MAAPARANDUSE KÄSIRAAMAT

MAAPARANDUSE ALUSED

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

B-1891 — (eus. pohr.)
vötta

B-1891 II

MAAPARANDUSE KÄSIRAAMAT

I

MAAPARANDUSE ALUSED

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

TALLINN 1962

631.6
K88

MAAPARANDUSE KÄSIRAAMAT
koosneb neljast köitest:

I — Maaparanduse alused
II — Arvutustabelid (ilmus 1959)
III — Nomogrammid ja kartogrammid (ilmus 1960)
IV — Projekteerimine, ehitamine ja ekspluatatsioon (ilmub 1962)

Käsiraamatu I köite koostaja: **J. Kurkus**

Käsiraamatu I köite autorid:

Hommik, K., tehn. tead. kand. — IV ptk.;
Kaljumäe, H., ins. hüdrotehn. — XIII ptk. (§ 13-9);
Kask, R., põllum. kand. — XII ptk. (§ 12-2, 3, 4);
Katus, A., metsamajand. ins. — IX ptk. (§ 9-1 . . .-7);
Kildemaa, K., geogr. kand. — XII ptk. (§ 12-1);
Kurkus, J., agr. — I ptk.;
Lippmaa, A., ins. hüdrotehn. — XIII ptk. (§ 13-3, 4, 7, 8);
Pant, R., õp. agr. — II ptk.;
Raig, V., ins. hüdrotehn. — XIII ptk. (§ 13-1, 2, 5, 6);
Remmel, A., ins. melior. — V ptk., VI ptk. (§ 6-1, 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18), VII ptk., VIII ptk., X ptk.;
Talpsepp, E., põllum. kand. — XI ptk.;
Soosaar, V., metsamajand. ins. — IX ptk. (§ 9-8);
Sternfeld, R., ehit. ins. — XIV ptk.;
Tomingas, E., ins. melior. — III ptk., VI ptk. (§ 6-2, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

Käsiraamatu II, III ja IV köite autorid ja koostajad on nimetatud nendes köidetes.

Käsiraamatu toimetuse kolleegium:

Karus, G., Kurkus, J., Pant, R., Remmel, A., Tomingas, E., Vei, E.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
62592

1. Kuivendussüsteemi võrk.

EESSÕNA

Põllumajandusliku toodangu ulatuslik suurendamine eeldab mulla viljakuse tõstmist, mis meie oludes on seotud laialdase maade parandamise vajadusega. Vastavalt maaparandustööde mahu suurenemisele tekib järjest suurem vajadus maaparanduse käsiraamatu järele, mis süstematiseeritult koondaks meie oludele sobivaid maaparandusalaseid andmeid.

Käesolev käsiraamat on määratud esmajoones melioraatoreile, kes projekteerivad või teostavad maaparandustöid, ning maaparanduse ehitiste korrashoiu ja ekspluatatsiooni teenistuse töötajaile. Samuti võib käsiraamat maaparanduse küsimustes abistavaks juhendiks olla kolhooside ja sovhooside juhtkonnale, üliõpilastele ja tehnikumide õpilastele kui ka õppejõududele maaparanduse õppimisel või õpetamisel.

Käsiraamatu koostamisel on kasutatud uuemaid kodumaiseid ja kättesaadavaid välismaiseid materjale, kusjuures esitatud materjali valikul on silmas peetud Eesti NSV tingimustes väljakujunenud nõudeid maaparanduse suhtes.

Käsiraamat on koostatud neljas osas:

I köide — Maaparanduse alused
II köide — Arvutustabelid
III köide — Nomogrammid ja kartogrammid
IV köide — Projekteerimine, ehitamine ja ekspluatatsioon

Käsiraamatu esimeses köites leiavad käsitlemist põhiliselt maaparanduse aluseid puudutavad küsimused, nagu mullad ja nende veerežiim, hüdroloogilised ja hüdraulilised arvutused, maade kuivendamise ja niisutamise alused, mulla omaduste parandamine ja agro-metsamelioratsioon. Täiendavalt käsitletakse hüdrotehnilisi ehitisi kuivendussüsteemil ja teedevõrku kuivendataval maa-alal.

Suhteliselt palju on käsiraamatus ruumi antud mulla kui maaparanduse objekti käsitlemisele. Seda on tinginud asjaolu, et mulla melioratiivsete omaduste tundmine on väga tarvilik maaparanduse vajaduse diagnoosimisel ja mulla omaduste parandamiseks õigete abinõude määramisel. Mullastiku üksikasjalisem käsitelu on seda põhjendatum, et maaparanduse projekteerimise praktikas on meie vabariigis juurdumas maade kuivenduse vajaduse määramise meetod, mis tugineb mulla geneetilistele erimitele ning kuivendatava maa-ala muldade liigniiskuse astmele. Mulla liigniiskuse aste on aga aluseks kuivenduse intensiivsuse määramisele ja sellega ühtlasi ka maaparandustööde maksumuse ja efektiivsuse kujunemisele. Kuivenduse vajaduse ja intensiivsuse määramine mulla geneesist sõltuvalt on maaparandusalases kirjanduses uudne ja sellepärast on ka selle ulatuslikum käsitlemine käesolevas käsiraamatus õigustatud.

Teadlikult on antud suhteliselt palju ruumi ka hüdroloogilistele ja hüdraulilistele arvutustele.

Kuivendussüsteemide hüdroloogilise arvutuse alused maaparanduslikus projekteerimises põhinevad Eesti NSV-s Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi uurimisandmetel ja -valemitel. Et need valemid on meie vabariigis kuivendussüsteemide projekteerimise

arvutustel ametlikult kehtestatud instruktsiooniks, on neid käsitletud üksikasjaliselt, kusjuures teiste autorite vastavaid valemeid (mis on koostatud teistsuguste tingimuste jaoks) pole käsiraamatus käsitletud või on käsitletud vaid riivamisi.

Hüdrauliliste arvutuste aluste osas on esitatud tähtsamad valemid, silmas pidades maaparandusliku projekteerimise vajadusi. Eestikeelse õpiku puudumine hüdraulika alal oleks ehk õigustanud aine ulatuslikumatki käsitlemist, kuid ruumi säästmise huvides on piirdutud ainult kõige vajalikumaga.

Käsiraamatu II köitesse on koondatud mullatööde, kõverike, tahhümeetrilised ja ristkoordinaatide tabelid, mida nende mahukuse tõttu polnud otstarbekohane paigutada käsiraamatu I ja IV köite lisade juurde. Nende tabelite eraldamine eri köitesse on seda põhjendatum, et neid ei kasutata mitte ainult teatmeallikana, vaid ka töövahendina ning et neid saab kasutada peale maaparanduse ka muudel aladel.

Samadel põhjustel osutus otstarbekohaseks koondada omaette köitesse (III) nomogrammid ja kartogrammid, mida kasutatakse mitmesugusteks hüdroloogilisteks, hüdraulilisteks ja muudeks arvutusteks maaparanduse projekteerimisel, kuid mida võib kasutada ka mõnesugusel muul veemajanduslikul või ehitusalasel projekteerimisel. Suuremalt osalt on nomogrammid uudsed ja avaldatakse maaparanduse käsiraamatus esmakordselt.

Käsiraamatu IV köitesse on koondatud küsimused, mis käsitlevad projekt-eelarvelise dokumentatsiooni tegelikku koostamist, maaparandustööde teostamist ja kuivendussüsteemide ekspluatatsiooni. Seoses sellega käsitletakse IV köites ka maaparandustöödel kasutatavaid mehhanisme ja ehitusmaterjale ning esitatakse andmeid maaparanduse maksumuse ja efektiivsuse kohta.

Käsiraamatu koostamisest võttis osa suur autorite kollektiiv. Enne käsiraamatu koostamisele asumist saadeti käsiraamatu sisukorra kava tutvumiseks ja seisukohavõtmiseks maaparandusega tegelevatele asutustele ja organisatsioonidele. Neilt laekus rida arvustusi paljude märkuste ja ettepanekutega käsiraamatu laadi ning sisu kohta. Saadud ettepanekuid ja arvamusi arvestades täiendati ning muudeti käsiraamatu esialgset kava.

Pärast käsikirja valmimist on mitmed asutused ning maaparanduse- ja põllumajandusala juhtivad töötajad selle läbi vaadanud ja aidanud oma kriitiliste märkustega käsiraamatu sisu parandada. Käsiraamatu toimetuse kolleegium tänab neid kõiki väärtusliku kaastöö eest.

Käsiraamatu koostamisel kerkis esile vajadus ühtlustada ja parandada erialaliste oskussõnade kasutamist. Senini pole veel välja kujunenud kindlat terminoloogiat kõigi maaparanduslike mõistete jaoks. Leidub mõisteid, mille kohta on kasutusel mitu terminit, ja selliseid, mis ei ole keeleliselt täpsed või mis on tõlkimise läbi saanud ebaõnnestunud kuju. Selliseid oskussõnu on püütud parematega asendada.

Kahtlemata esineb käsiraamatus puudusi sellest hoolimata, et paljud osad on mitmekordselt läbi vaadatud ja parandatud. Autorite rohkuse tõttu pole esitatud ainestiku proportsioonides kõikjal soovitud ühtlust saavutatud. Samuti esineb ka kirjutiste stiilis ebaühtlust, mida oli raske vältida. Toimetuse kolleegium on esmajoones silmas pidanud esitatava materjali sisulist ühtlust, püüdes ühtlasi kõige kohasemaks peetavaid termineid kasutada.

Käsiraamatu toimetuse kolleegium loodab, et käsiraamat aitab rikastada melioraatorite teadmisi ja annab maaparanduse alal töötajatele ja seda ala õppijatele vajalikku abi, aidates sel teel kaasa nende suurte ülesannete edukale täitmisele, mis meid maaparanduse alal ootavad.

Toimetuse kolleegium

ESIMENE PEATÜKK

MAAPARANDUSE ÜLESANNE JA ARENEMINE

§ 1-1. MAAPARANDUSE MÕISTE JA ÜLESANNE

Põllu- ja metsamajandusliku maaparanduse all mõistetakse neid põhiliselt püsiva mõjuga abinõusid, millega vahenditult luuakse eeldused mulla tootmisvõime suurendamiseks. Siia kuuluvad:

Hüdromelioratiivsed abinõud, mille ülesandeks on mulla vee- ja õhurežiimi parandamine, nimelt

a) maade kuivendamine;
b) maade niisutamine.

Agromelioratiivsed abinõud — põllumajanduslike maade mulla füüsikaliste ja keemiliste omaduste parandamiseks (laiemas mõttes), nimelt

a) turbamaade parandamine savi või liiva abil;
b) mineraalmaade parandamine turba abil;
c) maade parandamine muttimise, sügava kobestamise, pinna profileerimise või muude abinõudega;
d) happeliste muldade lupjamine.

Kultuurtehnilised ja agro-metsamelioratiivsed abinõud — põllumajanduslike maade ratsionaalset kasutamist takistavate tegurite kõrvaldamiseks, nimelt

1) kultuurtehnilised abinõud, nagu
   a) võsa ja metsa laastamine;
   b) juurimistööd;
   c) kivide koristamine;
   d) pinna tasandamine ja aukude täitmine;
   e) uudismaaküna;
2) agro-metsameliooratiivsed abinõud, nagu metsaribade rajamine jm.

Erinevalt agrotehnilistest või metsahooldamisabinõudest, mis samuti taotlevad saagi ja puidutoodangu suurendamise eesmärki, kuid mida rakendatakse korduvalt, jooksvalt või perioodiliselt, on maaparanduslikud abinõud pikemaajalise toimega, seejuures suurema algkulu ja pikema teostamisajaga, mistõttu nad oma loomult kuuluvad kapitaalsete abinõude kategooriasse.

Harva piisab maaparanduses ainult ühe mingisuguse abinõu rakendamisest. Enamasti tuleb komplekssel rakendada mitut abinõu, et kõrvaldada kõiki tegureid, mis takistavad maa tootmisvõime suurendamist.

Maaparanduse mõistest järeldub ka selle ülesanne. Nimelt seisneb maaparanduse ülesanne, nagu Karl Marx seda tabavalt määratleb, paranda-

tavale maale selliste omaduste andmises, mida maa, mis ei vaja parandamist, juba looduse poolest omab. Kaasaegsest mitšuurinlikust vaatekohast lähtudes ei piirdu maaparanduse ülesanne siiski mitte ainult nende põhjuste kõrvaldamisega, mis vähendavad maa looduslikku viljakust, vaid selle ülesannetesse kuulub ka looduse enda parandamine. Kui looduslike sademete veest ei piisa suurte saakide saamiseks, antakse kunstliku niisutamisega lisavett juurde, või kui pinnase looduslikud füüsikalis-keemilised omadused pole küllalt soodsad kultuurtaimede kasvuks, muudetakse neid soodsamaks.

§ 1-2. MAAPARANDUSE RAHVAMAJANDUSLIK TÄHTSUS

Tootmise arendamise seisukohalt on suure rahvamajandusliku tähtsusega kõigi niisuguste maade ülesharimine ja parandamine, millel nende loodusliku seisundi tõttu ei ole tavaliste maaviljelusvõtetega võimalik vajalikku tootmisvõime suurendamist saavutada.

Maaparanduslike abinõude rakendamisega:

a) laiendatakse taimekasvatuse tootmispinda;

b) likvideeritakse tootmispindade massiivistamise teel üksikute kõlvikute ja külvikorraväljade liigne tükeldatus;

c) soodustatakse külvikordade sisseviimist tootmispindadel ja kasutatavate agrotehniliste abinõude efektiivsuse tõstmist;

d) luuakse vajalikke eeldusi maaviljelustööde mehhaniseerimiseks;

e) pikendatakse tootmispindade aastast kasutamisperioodi, luuakse tingimused maa õigeaegseks ja kvaliteetseks harimiseks, lühendatakse külvi- ja koristusperioodi;

f) luuakse muldadele vajalik veerežiim ja sobivad füüsikalis-keemilised omadused.

Eelloetletud tingimustega luuakse vajalikud eeldused:

a) tootmispindade saagikuse ja maaviljelussaaduste kogutoodangu suurendamiseks;

b) tööviljakuse suurendamiseks;

c) tootmiskulude vähendamiseks ning ühtlasi tootmisest saadavate tulude suurendamiseks.

§ 1-3. MAAPARANDUSE SENISEST ARENEMISEST

Maaparandus on olnud Eestis kõigil aegadel tihedalt seotud maaviljeluskultuuri üldise arenemisega, moodustades maade kultuuristamise lahutamatu osa, sest siinsed kultuurmaad on tulnud üles harida metsastunud ja võsastunud maadest, puhastada kividest ja madalamatel paikadel vabastada liigveest.

Liigvee süstemaatilise ärajuhtimise küsimustele hakati suuremat tähelepanu pöörama siiski alles möödunud sajandi teisel poolel.

Põllumaa kuivendamisel hakati esmakordselt drenaaži kasutama Kaagjärve ja Vaida mõisas 1853. a. Järgmisel, 1854. a. rajati drenaaž Kooraste, Raadi ja Kuremaa mõisas ning sellest ajast alates hakati drenaaži ehitama ka paljudes teistes suurmajandites. Drenaaži projekteerimiseks ja ehitustööde järelevalveks kutsuti asjatundjaid välismaalt.

Suurmajandite (mõisate) maaparandusalaseks teenindamiseks asutati esimesed kultuurtehnilised bürood — Tartus 1897. a. ja Tallinnas 1901. a. Maaparandusprojekte koostasid nimetatud bürood ajavahemikus 1897—1910 mõisatele 1247 ja taludele 320 korral.

Väikemajandite (talude) teenindamiseks asutati põllumeeste keskseltside juurde maaparanduse bürood — Tartus 1912. a. ja Tallinnas 1913. a. Väikemajanditele looditi ajavahemikus 1907—1917 maad 10 900 ha, märgiti kraave 1950 km ja looditi peakraave 337 km.

Kodanliku valitsuse ajal (1918—1940) tegi riiklikke maaparandustöid Põllutööministeerium (Maaparanduse Amet, Asundusamet, Metsade Talitus).

Tehnilist abi taludele osutasid maaparanduse alal Põllumeeste Keskseltsi, Põllumajandusliidu ja mõnede maavalitsuste juurde loodud maaparanduse talitused. Põllutöökoja asutamisega 1932. a. koondati kõik maaparanduse talitused selle alla ja kogu maaparandustööde juhtimine, korraldamine ja abistamine talude osas toimus edaspidi Põllutöökoja kaudu.

1921. a. anti välja seadus vee juhtimise kohta läbi võõra maa maaparanduse otstarbel. 1925. a. kehtestati veeühingute seadus ja 1928. a. veejuhtmete korrashoiu seadus, millega suuremate veejuhtmete kaevamine ja korrashoidmine pandi veeühingute peale. 1939. a. lõpuks tegutses 776 veeühingut üle 30 000 liikmega.

1939. a. arvestusandmeil oli (praeguse Eesti NSV piirides) põllu- ja aiamaal kuivendusvõrku 256 000 ha, sellest drenaažiga 36 000 ha. Põllu- ja aiamaa osas suurenes kuivendusvõrk võrreldes 1929. a. 87 000 ha võrra, sellest oli drenaaži 11 000 ha.

1929. a. andmeil oli heina- ja karjamaadest kuivendatud 90 000 ha, sellest drenaažiga 9000. 1939. a. kohta puuduvad andmed, kuid kultuurrohumaid väljaspool põllukülvikordi arvestati 1939. a. 50 000 ha.

Kodanlikus Eestis tehti maaparandustööd peaaegu täies ulatuses käsitsi.

Nõukogude valitsuse poolt loodi Eestis väga soodsad tingimused maaparanduse arendamiseks. Eesti NSV. Ülemnõukogu 2. augusti 1949. a. seadusega «Soostunud maa-alade kuivendamise ja kasutuselevõtmise ning põldheina külvikordade rakendamise plaani kohta Eesti NSV-s suurte ja püsivate saakide kindlustamiseks ning loomakasvatusele kindla söödabaasi rajamiseks» kinnitati maaparandustööde maht vabariigis 1 miljoni hektari suurusel pindalal ning määrati tehnilised ja majanduslikud alused maaparandustööde läbiviimiseks.

Maaparanduse planeerimine ja juhtimine keskendati Põllumajanduse ministeeriumi kätte, tööde korraldamiseks kohtadel moodustati maaparanduse valitsused, projekt-eelarvelise dokumentatsiooni koostamiseks asutati riiklik projekteerimisorganisatsioon «Eesti Põllumajandusprojekt» ja maaparanduse valitsuste juurde projekteerimisgrupid.

Maaparandustööde tegelikuks läbiviimiseks organiseeriti kohtadel laialdane maaparandustöid teostavate jaamade võrk. Jaamad varustati rikkalikult moodsate maaparandusmehhanismidega. Vabariigi remondi- ja tehnikajaamades oli 1. I 1961. a. seisuga maaparandustöödeks 211 ühekopalist roomikekskavaatorit ja 120 mitmekopalist ekskavaatorit, 239 buldooserit, 185 juurijat-kogujat, 16 võsalõikajat, 34 skreeperit, 104 kraaviatra, 56 greiderit ja 318 traktorit.

Remondi- ja tehnikajaamade baasil kujundati 1961. a. vabariiklik koondis «Eesti Põllumajandustehnika» ja igasse rajooni selle osakond, kelle ülesandeks on ka maaparandustööde teostamine.

Maaparandustööde läbiviimiseks loodi soodsad majanduslikud alused. Nii koostatakse kolhoosidele selleks eraldatud riiklike limiitide arvel maaparandusprojektid tasuta. Majanditevahelised veejuhtmed kaevatakse, reguleeritakse ja hoitakse korras riiklike summadega. Peale selle kaetakse kolhoosidele kuni pool detailvõrgu ehitamise ja kultuurtehniliste tööde

kuludest riigi summadest ja kolhoosidele võimaldatakse vajaduse korral teise poole kulude tasumiseks kuni 10 aasta peale riiklikku laenu.

Loodud võimas tehniline ja majanduslik baas võimaldab ulatuslikke maaparandustöid. Kui 1940. a. ehitati drenaaži 900 ha, siis 1960. a. tehti seda 16 500 ha suurusel maa-alal. Koos kraavitusega kuivendati 1960. a. üle 30 000 ha põllumajanduslikke maid. Drenaažkuivenduse osatähtsus näitab aastate järgi pidevat kasvu. Peale selle tehakse palju kuivendustöid riigi metsafondi maadel.

1949.—1959. a. jooksul ehitati põllumajanduslikel maadel uut detailvõrku ja ehitati ümber suurmajandi nõuete kohaseks vana detailkuivendusvõrku kokku 275 000 ha. Peale selle kaevati uut kuivendusvõrku 77 000 ha metsamaadel.

1959. a. arvestati kuivendusvõrguga põllumajanduslikke maid 500 000 ha. Selle juures tuleb arvesse võtta, et sõja-aastatel laostus suur osa vanast taluoludele kohandatud kuivendusvõrgust ja muutus praegusele suurmajandile kõlbmatuks.

Kuivendussüsteemide ehitamise kõrval organiseeriti ja läksid laialdaselt hoogu niisugused mulla parandamise abinõud nagu happeliste muldade lupjamine ning turba kasutamine. Selleks korrastati kohapealseid nõrglubja- ja järvekriidilasundeid ning turbarabasid; organiseeriti lubja ja turba mehhaniseeritud kaevandamine (tootmine) ja väljavedu.

Maaparandusega on tihedalt seotud ka kultuurkarjamaade hoogne rajamine, millega kujundatakse odav ja kindel söödabaas meie jõudsalt arenevale loomakasvatusele. Sellel alal on Eesti kogemused laialdaselt tunnustust leidnud paljudes liiduvabariikides.

§ 1-4. MAAPARANDUSE EDASIARENDAMISE PERSPEKTIIVE

Maaparandus on viimastel aastatel võtnud erakordse ulatuse. Ülesanne seisneb selles, et muuta kõik meie põllumajanduslikud maad kultuurseks, s. o. suuresaagiliseks, kusjuures tootmine muutuks odavaks ja hästi tasuvaks. See ülesanne ei olnud jõukohane üksiktalupoegadele. Alles nõukogude võimu taaskehtestamine Eestis, maa eraomanduse kaotamine, talupoegade kolhoosidesse ühinemine ning see ülisuur abi, mida osutavad maaparandusele Kommunistlik Partei ja Nõukogude valitsus, võimaldasid asuda vabariigis ulatuslikule maaparandusele kaasaegsel võimsal tehnilisel baasil.

Vabariigi rajoonidele 1959. a. koostatud maaparanduse arendamisskeemide andmeil vajab meie põllumajanduslike majandite maadest parandamist 1 572 000 ha ehk 61,6%. Neist maadest võib parandada 359 000 ha ehk 32,8% kultuurtehniliste võtetega, kuna muu osa, 1 213 000 hektarit, on liigniiske ja vajab seetõttu kuivendamist. Liigniiskest maast vajab 861 000 ha ehk 71,0% uue kuivendusvõrgu ehitamist, kuna 352 000 ha suurusel pindalal on kuivendusvõrk varem ehitatud, kuid see on kas hävinenud või vajab ümberehitamist vastavalt suurmajandite nõuetele. Selle hulgas on palju kraavitust, mis tuleb drenaažiks ümber ehitada. Peale esitatud põllumajanduslike maade vajab kuivendamist veel umbes 300 000 ha riigimetsamaid.

Et maaparandustööde maht on väga suur, siis on suure tähtsusega ka tööde läbiviimise perspektiivne järjekord. Majanduslikult seisukohalt lähtudes näib olevat otstarbekohane niisugune järjekord:

a) seada maaparanduslikult korda senised põllu- ja kultuurrohumaad, ülesandega saada neilt saaki 2500—3000 söötühikut hektarilt;

b) soodustada pealtparandusega kultuurrohumaade, eriti aga kultuur-

karjamaade rajamist sobivatele looduslikele rohumaadele, mis ei vaja kuivendamist;

c) laiendada kultuurpinda sobivate soostunud mineraalmaade ja soomaade ülesharimise teel.

Kuivendussüsteemide ehituskuludest moodustab võrdlemisi suure osa peakraavide (resp. veevastuvõtjate) ehitamine. Peakraave on meil ehitatud palju. Seda tuleb nüüd ära kasutada ja esmajoones püüda maaparanduslikult korda seada need maad, mis asuvad olemasolevate peakraavide vesikondades.

Maaparanduse arendamisskeemides on kuivendamist vajavad maad jaotatud peakraavide olemasolu ja korrasoleku järgi. Kokkuvõte neist andmetest esitatakse tabelis 1-1.

Tabel 1-1

Kuivendamist vajavate põllumajanduslike maade jaotus peakraavide olemasolu ja korrasoleku järgi

	Peakraavide pikkus (km)	Nende vesikondades kuivendamist vajavate maade pindala	
		kokku (tuh. ha)	kesk. ühe km kohta (ha)
Olemasolevad peakraavid:			
1. Korrasolevad	3403	249	73
2. Korrastamisel olevad	1102	100	91
3. Korrastamist vajavad:			
I järjekorras	1928	160	83
II ja III — „ —	4134	289	70
Kokku olemasolevad peakraavid	10567	798	75
Kaevamist vajavad uued peakraavid, kokku	—	415	—
Neist I järjekorras	296	20	67

Esitatud (tab. 1-1) andmed näitavad, et ligemale kaks kolmandikku (65,8%) meie kuivendamist vajavatest põllumajanduslikest maadest asub olemasolevate peakraavide vesikondades. Neist maadest 43,7% asub korrasolevate ja korrastamisel olevate peakraavide vesikondades. On täiesti loomulik, et need maad tuleb maaparanduslikult esimeses järjekorras korda seada. Sääraseid maid on 349 000 ha.

Sellele järgneksid maad, mis asuvad korrastamist vajavate peakraavide vesikondades. Lõpuks toimuks maade parandamine, mille jaoks tuleb kaevata uued peakraavid.

Kergemini korrastatavatelt maadelt raskemini korrastatavatele järkjärgulise ülemineku korral tugevneb parandatud maade tulukuse suurenemise arvel maaparandusalane tehniline ja majanduslik baas, mis võimaldab kergemini jagu saada ka raskematest maaparanduse ülesannetest.

KIRJANDUST

1. Karma, O. Jooni maaparanduse arengust Eestis. Tallinn, 1959.
2. Kuum, J. Soode kuivendamine ja kasutamine põllumajanduses. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1954.
3. Kuum, J., Tomingas, E. Põllumajanduslik drenaaž. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1959.
4. Ratt, A. Maaparanduse tähtsusest ja tasuvusest Eesti NSV-s. Põllumajandusökonoomika küsimusi I. Tallinn, 1957.
5. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
6. Брудастов А. Д. Осушение минеральных и болотных земель. Сельхозгиз, Москва, 1955.
7. Костяков А. Н. Основы мелиораций. Сельхозгиз, Москва, 1960.
8. Маркс К. Капитал, т. III. Москва, 1949.
9. Писарьков Х. А. Мелиорация как средство повышения урожаев сельскохозяйственных культур в нечерноземной полосе. Ленинград, 1954.
10. Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Сельхозгиз, Москва, 1958.

TEINE PEATÜKK

MULLAD MAAPARANDUSE OBJEKTINA

§ 2-1. MULLA OMADUSTE TUNDMISE VAJADUS

Maaparanduse peamiseks sihiks on parandatava maa-ala mulla viljakuse parandamine suurte ja püsivate saakide saamise eesmärgil. Selleks tuleb mitmesuguste maaparandusvõtete ja agrotehniliste abinõudega luua parandatava maa-ala muldades taimekasvuks soodus vee- ja sellega seoses õhu-, toite- ning soojusrežiim. Vajaduse korral tuleb parandada ka mulla keemilisi ja neid füüsikalisi omadusi, mis ainult veerežiimi reguleerimisega vajalikul määral ei parane (näiteks happeliste muldade lupjamine reaktsiooni reguleerimiseks, turvasmullale mineraalmulla lisamine turvasmulla soojusrežiimi parandamiseks, savimuldade liivatamine ja liivmuldade savitamine mulla füüsikaliste omaduste parandamiseks jne.). Kõikide nimetatud maaparandusvõtete edukas läbiviimine eeldab antud maa-ala muldade omaduste põhjalikku tundmist.

Maaparandusalased küsimused, millele kõige põhjendatuma vastuse annab parandatava maa-ala mullastiku uurimine või millele õige vastuse saamiseks tuleb oluliselt arvestada parandatava maa-ala muldade omadusi, on järgmised:

a) missugune on antud maa-ala mullastiku potentsiaalne viljakus (kas parandatav maa-ala sobib mullastikuliselt kõige enam põlluna, rohumaana või metsana kasutamiseks või on antud maa-ala mullad nii põllukui ka metsamajanduslikuks kasutamiseks vähese väärtusega);

b) kas parandataval maa-alal on vaja mulla omadusi parandada või on sellelt võimalik saada maa kasutajat rahuldavaid saake ka ilma mulla omaduste parandamiseta (viimasel juhul piirduvad maaparanduse ülesanded ainult võsa laastamise, mätaste kõrvaldamise jt. võtetega, mis mulla omadusi oluliselt ei paranda);

c) missugused taimede kasvatamist või maa harimist takistavad tegurid (liigniiskus, põuakartlikkus, happeline reaktsioon, ebasoodsad füüsikalised omadused, peitkivisus, harimist takistava aluspõhja lähedus jne.) antud maa-ala muldades esinevad;

d) missugune on parandamist vajavatel maadel liigniiskete muldade niiskusrežiim* (kas mullad on lühemat või pikemat aega ajutiselt liigniisked või on nad alaliselt liigniisked);

e) missugune on muldade veega toitumise tüüp (pinnavesi, põhjavesi), järelikult ka liigniiskete muldade liigniiskuse põhjused;

---

* Mulla niiskusrežiimi all mõistetakse mulla veesisaldust ja selle dünaamikat.

f) missugused maaparandusvõtted on vajalikud, et luua eeldused antud maa-ala mulla viljakuse tõstmiseks;

g) missugust enamsaaki võib arvestada parandatavalt maa-alalt pärast maaparandust (loodetav saak ja selle omahind on vajalikud näitajad maaparanduse tasuvuse kalkuleerimisel).

§ 2-2. MULLA MÕISTEST JA TEKKEST

1. MULLA MÕISTE, SELLE ERINEVUS PINNASE MÕISTEST

Mulla all mõistetakse maa pindmist, mitmesuguse tüseduse ja viljakusega kihti, mida peamiselt taimed ja mikroorganismid nii füüsikalis-geograafilise keskkonna kui ka inimese mõjutuse tingimustes aktiivselt kasutavad ja ümber kujundavad. See ümberkujundav mõju avaldub kujundatava mulla koosseisus, struktuuris ja värvuses. Mulla all olevaid kihte nimetatakse kaasaegses nõukogude mullateadusalases kirjanduses enamasti mulla lähte- või aluskivimiks.

Mulla kujunemisel kuulub juhtiv koht bioloogilisele tegurile ning oma tähtsaima tunnuse — viljakuse tõttu kuulub muld eelkõige põllu- ja metsamajanduse valdkonda. Mulla mõiste ei ole samastatav pinnase mõistega.

Pinnase all mõistetakse kõiki kivimeid, mis on rakendusgeoloogilise uurimise või ehitustegevuse huvisfääris ja mida vaadeldakse tehniliselt seisukohalt. Selle juures tuntakse peamist huvi pinnase tehniliste omaduste (veeläbilaskvus, kandevõime, kaevandamise raskus jne.) vastu. Mulda (õigemini selle huumuskihti) vaadeldakse tehniliselt seisukohalt kui pinnase üht alaliiki kergesti deformeeruvate pinnaste grupis.

Mulla viljakus kujuneb, nagu teisedki mulla omadused, mullatekkeprotsessis paljude tegurite (sealhulgas ka taimkatte ja inimese tegevuse) mõjul. Näiteks mida jõulisem on põldheina kasv põllul, seda intensiivsemalt kulgevad bioloogilised protsessid mullas ja seda rohkem koguneb mulda huumust. Seega aitavad suurte saakide saamiseks rakendatavad abinõud kaasa ka mulla viljakuse suurenemisele.

Peale taimkatte ja inimese tegevuse sõltub mulla viljakus veel teistest teguritest, nagu mulla lähtekivimist, mulda kujundavate protsesside — leetumine, kamardumine, soostumine — iseloomust jne. Seda asjaolu tuleb maaparanduses, eriti aga uudismaade ülesharimisel arvestada. Toiteainetevaesel lähtekivimil (näiteks jämedal liival) tekkinud mullad on üldiselt väikese loodusliku viljakusega. Neilt rahuldavate saakide saamiseks tuleb tublisti orgaanilist väetist kasutada. Sellepärast on uudismaadena ülesharimiseks otstarbekam valida olemasolevatest suurema potentsiaalse viljakusega muldadega maad, mille kasutamine kultuurmaana annab paremaid tulemusi.

Maaparanduses tuleb mõlema eeltoodud mõistega — mulla ja pinnasega — kokku puutuda: mullaga — parandamist vajavate ja parandamist tasuvate maa-alade väljaselgitamisel, samuti ka vajalike maaparandusvõtete kavandamisel ja rakendamisel, pinnasega — maaparanduslike ehitiste projekteerimisel ja ehitustööde teostamisel, teede ehitamisel jne.

2. MULDADE TEKKEST

Mulla mõistest järeldub, et muldade tekkimisel ja kujunemisel on põhilise tähtsusega taimed ja mikroorganismid. Peale taimede ja mikroorganismide mõjustab mulla tekkimist ja arenemist hulk tingimusi, nagu kliima (temperatuur ja veerežiim), mulla lähtekivim (taimetoitaineterikas või -vaene, hästi või halvasti vett läbilaskev, hästi või halvasti õhustatud), reljeef (mõjutab mulla veerežiimi, loob tingimused muldade erosiooniks), muldade absoluutne ja suhteline vanus ja inimese tegevus (metsa kõrvaldamine, muldade reaktsiooni reguleerimine, kuivendamine ja kultuurtaimede kasvatamine).

Eesti NSV klimaatilistes tingimustes, kus sademed ületavad ligi 1,75 korda auramise, valgub suur osa sademete veest mulda, kus see liigub mulla- või põhjaveena jõgedesse või järvedesse. Seega kujuneb muldades, kus põhjavesi on sügaval, laskuv vee liikumine.

Metsaga kaetud aladel, kus vee auramiseks maapinnalt on tingimused ebasoodsad ja puude juured vähendavad veevarusid peamiselt sügavamatest mullakihtidest, avalduvad laskuva vee liikumisega kaasnevad nähtused muldade kujunemises kõige selgemini. Lahustades maapinnale ladestuva metsakõdu happelise reaktsiooniga laguprodukte, on mulda valguv vesi mulla mineraalse osa suhtes küllaltki suure lahustamisvõimega. Seetõttu toimub aja jooksul mulla ülemistest horisontidest lahustuvate ainete, sealhulgas ka taimetoitainete ümberpaiknemine alumistesse horisontidesse. Osa vees lahustunud aineid, mis ei sadestu alumistes horisontides, eemaldub mullast koos põhjavette valguva veega. Laskuva veega mulla mineraalosa lahustuvate ainete ülemistest horisontidest alumistesse horisontidesse ümberpaiknemist või mullast eemaldumist nimetatakse leetumiseks; selle protsessi tulemusena kujunevad leetmullad. Leetumise intensiivsust soodustab peale okaspuudest taimkatte veel kerge lõimisega lähtekivim; leetumist pidurdab mulla lähtekivimi lubjasisaldus, sest lubi neutraliseerib metsakõdust läbivalguva vee happelise reaktsiooni.

Teisiti kulgeb mulla kujunemine rohttaimestikuga aladel. Suurem osa rohttaimede juurtest asub mulla ülemistes kihtides, kust nad taimedele vajalikku vett võttes kutsuvad koos auramisega teatavatel perioodidel esile vee ülespoole tõusu ka sügavamatest kihtidest. Osa rohttaimede juurestikust tungib ka sügavamale, kust võtab taimedele vajalikku vett ja selles lahustunud soolasid perioodidel, kus mulla ülemistes kihtides on vähe vett. Pärast taimede elutegevuse lõppemist lagundub juurtemass mullas piiratud aeratsiooni tingimustes, kusjuures tekib huumus. Seoses huumuse tekkega rikastub mulla pealmine kiht lämmastikuga. Samuti rikastub mulla pealmine kiht taimejuurtes olnud kaltsiumi, magneesiumi, kaaliumi, fosfori ja teiste taimedele vajalike ainetega. Mulla pealmiste kihtide huumusega rikastumist rohttaimestiku mõjul, mille tulemuseks on huumuskihi teke mullas, nimetatakse kamardumiseks; muldasid, mille kujunemisel kamardumisprotsess on olulist osa etendanud, nimetatakse kamarmuldadeks. Kamardumist soodustab mulla toitaineterikas lähtekivim.

Liigniisketes* muldades, kus õhu puudusel valitseb anaeroobne keskkond, avaldab viimane tunduvat mõju ka muldade kujunemisele. Anaeroobses keskkonnas toimub elutegevuse lõpetanud taimeosade lagundumine aeglasemalt kui orgaanilist ainet lagundavatele mikroorganismidele soodsas, aeroobses keskkonnas. Selle tõttu koguneb liigniiskesse mulda parasniiskete muldadega võrreldes rohkem orgaanilist ainet. Liigniiskuse tugevamal esinemisel on orgaanilise aine lagundumine niivõrd aeglane, et elutegevuse lõpetanud taimede maapealsed osad ladestuvad mullapinnale ja tekib turvas.

Anaerobioosi tingimustes mullad gleistuvad. Gleistumiseks nimetatakse mullas anaeroobsetes tingimustes toimuvat biokeemilist protsessi, kus osa orgaanilise aine hapendumine toimub mulla mineraalosa taandamisvõimelistest ühenditest võetud hapniku arvel, mille tagajärjel viimased taanduvad. Seejuures muutub näiteks kolmevalentne raud kahevalentseks (Fe... → Fe...). Kahevalentne raud moodustab mulla alumosilikaatse osaga reageerides nn. gleimineraalid (alumoferrosilikaadid). Viimased on roheka või sinaka värvusega; nende esinemine tingib gleistunud või gleimuldadel huumuskihi all olevate horisontide sinaka või roheka värvuse.

Kahevalentne raud esineb mullas ka vees lahustuva ferrobikarbonaadina — $Fe(HCO_3)_2$ —, mis koos mulla veega kandub tekkekohast eemale.

Aeroobsesse keskkonda sattudes hapendub kahevalentne raud kolmevalentseks ja muutub taas liikumatuks. Kolmevalentse raua ühendid on kohvipruuni värvusega, mille tõttu nad põhjustavad mullas nn. roostetäppide ja -plekkide tekkimist.

Gleistumise mõjul väheneb mulla poorsus ja halveneb veeläbilaskvus.

Liigniiskusest tingitud orgaanilise aine puudulik hapendumine viib lõpptulemusena soode tekkimisele. Gleistunud ja gleimuldade üldnimetuseks on soostunud mineraalmullad. Soostumist soodustab raskesti vett läbilaskev lähtekivim, reljeef ja teised tingimused, mis põhjustavad liigniiskust mullas.

---

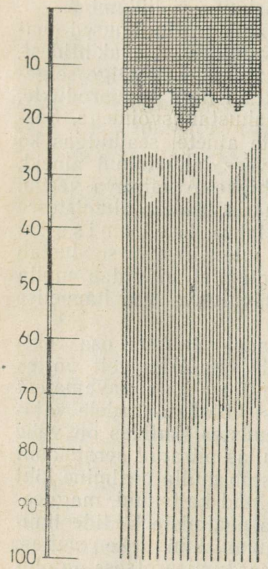
* Liigniiskuseks nimetatakse olukorda mullas, kus mulla veesisaldus on pikema aja jooksul suurem kui 70...80% maksimaalsest veemahutavusest (vt. 3. ptk.).

*

Eespool nimetatud kolm iseloomulikku protsessi — leetumine, kamardumine ja soostumine — võivad muldades esineda väga mitmesugustes kombinatsioonides. Nii leiame nõrgalt leetunud tugevalt gleistunud muldi, tugevalt leetunud nõrgalt gleistunud muldi jne.

§ 2-3. MULLA PROFIIL JA HORISONDID

1. MULLA PROFIIL



Joonis 2-1. Leetunud mulla profiili skeem.

Mullatekkeprotsessis väljakujunenud erineva värvuse, tüseduse ja struktuuriga (ka erinevate keemiliste ja füüsikaliste omadustega) kihid ehk horisondid moodustavad mulla profiili.

Mulla profiilis esinevate horisontide värvuse, tüseduse, ülemineku iseloomu, agrokeemiliste omaduste (reaktsioon, liikuvate toitainete sisaldus, taimedele kahjulike ühendite esinemine jne.) ja teiste tunnuste abil hinnataksegi põhiliselt mulla omadusi nii põllumajanduse kui ka maaparanduse praktikas.

2. MULLA PROFIILIS ESINEVAD HORISONDID

A_0 — mulla mineraalse osa peale ladestunud orgaanilise aine (kõduvõi turba-) **horisont***. Esineb leedemuldadel metsa- või samblakõduna, soostunud muldadel ja soomuldadel turbana (vt. joon. 2-2, profiilid 11 ja 12), mille lagundumisaste ja botaaniline koostis võivad olla väga mitmesugused. A_0-horisondi tüsedus on leedemuldadel kuni 10 cm, soostunud muldadel kuni 30 cm, soomuldadel aga ulatub turbahorisondi tüsedus sageli mitme meetrini.

Soostunud- ja soomuldadel saab turba botaanilise koosseisu ja lagundumisastme järgi otsustada mulla viljakuse üle. Hästi lagundunud rohuturbast koosneva A_0-horisondiga soomullad on viljakamad, halvasti lagundunud samblaturbast koosneva A_0-horisondiga soomullad on väikese loodusliku viljakusega.

A_1 — kuivadel ja parasniisketel mineraalmuldadel pindmisse kihti orgaanilise aine akumuleerumise tulemusena tekkinud horisont — **huumushorisont** (vt. joon. 2-2, profiilid 1, 2 jt.). Huumusesisaldus A_1-horisondis on olenevalt mullaerimist keskmiselt 1...5%, huumus-karbonaatmuldadel aga isegi üle 10%.

Huumuskihi tüsedus on Eesti NSV muldadel enamasti 17...25 cm. Vähem viljakail muldadel on huumushorisont õhem, väiksema huumusesisaldusega (heledama värvusega), viljakamatel muldadel aga tüsedam (30 cm ja üle selle) ja huumusrikkam (tumedama värvusega). Viimast ei tule ära vahetada soostunud muldade toorhuumusliku (ka tumeda) huumushorisondiga, mida ei saa enamasti viljakuse tunnuseks lugeda.

* Alluviaalmuldadel, deluviaalmuldadel ja mereäärsetel aladel esineb ka mineraalkihtide alla maetud A_0-horisondiga muldasid.

Soostunud mineraalmuldade pealmist, toorhuumuslikku huumushorisonti (vt. joon. 2-2, profiil 10) nimetatakse A_0A_1-horisondiks.

Värvuselt on A_0A_1-horisont mustjas, mis näitab suuremat orgaanilise aine sisaldust kui muldades, mis ei ole liigniisked. Pinnavee tõttu liigniiskel moreensavil tekkinud muldadel on toorhuumuslik huumushorisont mulla profiilis sageli ainukeseks soostumise tunnuseks.

A_2 — leethorisont on huumushorisondile või toorhuumuslikule huumushorisondile järgnev kõige heledam osa mulla profiilis (vt. joon. 2-2, profiilid 3, 9 jt.). Nõrgalt väljakujunenud leethorisont on värvuselt järgmisest, B-horisondist, vaevalt eraldatav või esineb üksikute heledamate räniliivapesakestena. Selle horisondi tähtsamaks tunnuseks on sõmeralise struktuuri ja karbonaatide puudumine. Tugeva leetumise puhul esineb leethorisont pideva valkja kihina, mille tüsedus võib ulatuda paarikümne sentimeetrini ja enamgi.

Tavaliseks nähtuseks, eriti moreenil tekkinud muldade puhul, on A_2-horisondi ulatumine soppide, keelte või taskutena leethorisondi all olevasse sisseuhtehorisonti. Mullaprofiilis nimetatakse sellist osa, milles esinevad vaheldumisi leet- (A_2) ja järgneva, sisseuhte- (B) horisondi tunnused, A_2B-horisondiks. Analoogiliselt nimetatakse huumushorisondi ja leethorisondi vahel olevat heledamat üleminekuala A_1A_2-horisondiks.

Valkja üksikteralise, jahuja struktuuriga A_2-horisondi esinemine mulla profiilis näitab mulla tugevat leetumist. Tugevalt leetunud mullad on happelise reaktsiooniga ja taimetoitainetevaesed.

B — sisseuhte- ehk illuviaalhorisont on A-horisondile järgnev mullaprofiili osa (vt. joon. 2-2, profiilid 2 ja 3), milles on märgata ülemistest horisontidest väljauhutud ainete kuhjumist. See avaldub horisondi värvuses, tiheduses ja struktuuris, samuti selle füüsikalistes ja keemilistes omadustes. Nõrgalt väljakujunenud B-horisont on mulla lähtekivimist vaevalt märgatavalt tumedam ja tihedam. Tugevasti väljakujunenud B-horisont, näiteks tugevalt leetunud liivadel, kujutab endast tumepruuni tsementeerunud nõrgkivi või pudedat nõrgliiva. B-horisondi tüsedus kõigub 20...40 (...60) cm piires.

Tugevalt väljakujunenud B-horisont (nõrgkivi) takistab taimejuuri sügavamale tungimast. Samuti võib ta vähese veeläbilaskvuse tõttu põhjustada muldade soostumist. Nõrgalt väljakujunenud B-horisont mulla viljakust oluliselt ei mõjuta.

C — mulla lähtekivim on mullatekkeprotsessi poolt oluliselt mõjutamata materjal — moreen või veesetteline materjal (sorteeritud liiv, savi). Paremaks mulla lähtekivimiks tuleb meil lugeda lubjarikast kerget ja keskmist liivsavi, millel on tekkinud meie viljakamad mullad.

Lähtekivimi all asuvat, lähtekivimist tekkelt erinevat materjali (moreenmaterjali all paas või liivakivi, moreen veesettelise materjali all) nimetatakse aluskivimiks ja tähistatakse mullaprofiili kirjeldamisel **D**-tähega. Paasi ja liivakivi nimetatakse ka geoloogiliseks aluspõhjaks.

G — gleihorisont on liigniiskete muldade profiili osa, milles gleistumisprotsessi tulemusena tekkinud värvimuutused (roostetäpid, sinakad laigud) võtavad enda alla üle poole horisondi vertikaallõikest (vt. joon. 2-2, profiilid 10, 11).

Kui gleistumistunnused (laigud ja tähnid) võtavad enda alla vähem kui poole mingisuguse horisondi (A_2, B, C) pinnast, nimetatakse seda horisonti gleistunud horisondiks ja märgitakse **g**-tähega vastava horisondi nimetuse juures (näit. Bg, BCg, Cg, A_2Bg, A_2g; vt. joon. 2-2, profiilid 4, 5, 6).

Selgemini avalduvad gleistumise tunnused (sinakashallid laigud, roostetäpid ja tähnid) muldades, milles on rohkem saviosakesi (liivsavi- ja

savimuldades). Jämedateralistes liivmuldades avalduvad gleistumise tulemusena tekkinud värvimuutused nõrgalt.

Et gleistumine toimub anaeroobses keskkonnas, mida põhjustab liigniiskus, annab gleistumistunnuste esinemine, nende intensiivsus ja paiknemine mulla profiilis kõige paremaid andmeid mulla liigniiskuse astme ja liigniiskuse põhjuste kohta (vt. § 2-4, p. 3). Gleistunud mullas esineb anaeroobne keskkond ja seega ka liigniiskus ainult ajutiselt. Gleihorisondiga mullad on kestvamalt liigniisked.

3. MULLA OMADUSTE MÄÄRAMISEST

Mulla omadusi määratakse:
a) mulla morfoloogiliste tunnuste abil;
b) taimkatte abil ja
c) mullast võetud proovide laboratoorsel analüüsimisel saadud andmete alusel.

Neist kaks esimest viisi on kasutatavad vahetult looduses, kolmanda jaoks on aga vaja vastavat laboratooriumi. Kasutades lihtsustatud meetodeid, on vahetult looduses võimalik määrata ka mõningaid mulla keemilisi omadusi (näiteks universaalindikaatori abil mulla reaktsiooni, 10%-lise soolhappe abil vabade karbonaatide esinemist jm.).

§ 2-4. MULLA OMADUSTE MÄÄRAMINE PROFIILI MORFOLOOGILISTE TUNNUSTE ABIL

Mulla suhtelise viljakuse, veerežiimi jt. omaduste määramine profiili morfoloogiliste tunnuste abil põhineb mulla profiilis esinevate horisontide väljakujunemise, mulla lähtekivimi tekkelaadi ja mehaanilise koosseisu, samuti teiste tunnuste analüüsil ja õigel tõlgendamisel. Sellele tuginedes on võimalik mulla profiili alusel kindlaks määrata ka mulla viljakuse suurendamiseks vajalikke abinõusid.

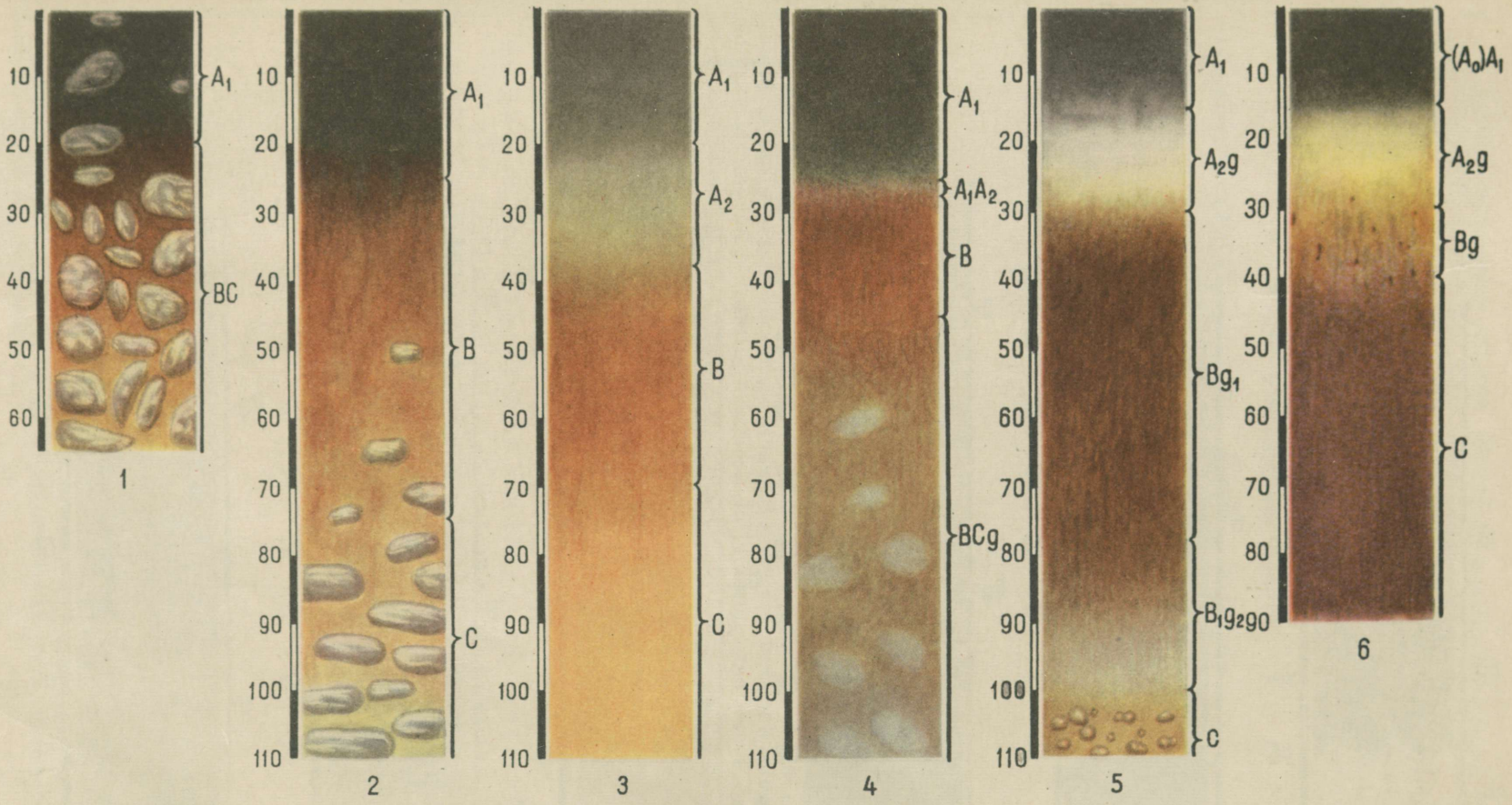
Kahjuks puuduvad mulla profiili morfoloogiliste omaduste hindamiseks instrumentaalsed meetodid. Sellepärast nõuab mulla profiili tunnuste «dešifreerimine» mullateaduse teooria tundmist ja süvenemist profiili «lugemisel».

1. VILJAKATE MULDADE PROFIIL

A_1-horisont on tüse (25 cm ja enam), huumusrikas, sõmerja struktuuri ja aeglase üleminekuga järgmiseks horisondiks. Viimane näitab, et taimejuured levivad ulatuslikult ka huumuskihi all olevasse profiiliossa, sest neid ei takista toitainetevaene A_2-horisont ega tihenenud B-horisont. Nii A_2- kui ka B-horisont on nõrgalt välja kujunenud. Gleistumistunnused puuduvad, mis näitab, et niiskusolud on soodsad. Sellistel muldadel ei esine pikemaaegset liigset lume- ega vihmavee kogunemist, põhjavesi on sügaval (vt. joon. 2-2, profiil 2). Mehaaniliselt koostiselt on viljakad mullad kerged kuni keskmised liivsavid.

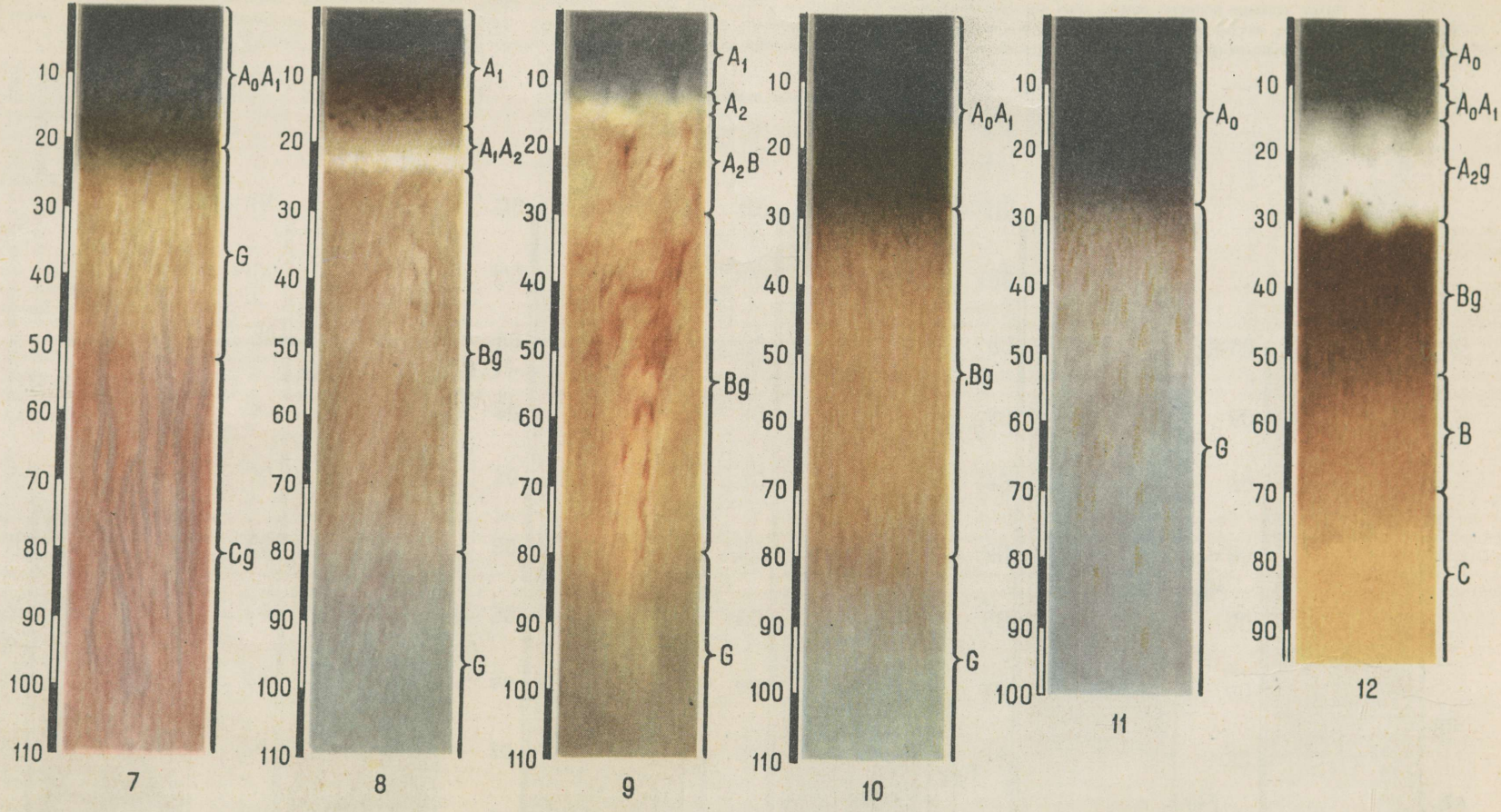
2. VÄHEVILJAKATE MULDADE PROFIIL

Huumushorisont on õhuke (15 cm või alla selle) ja väikese huumusesisaldusega. Leethorisont ja sellele järgnev sisseuhtehorisont on hästi välja kujunenud. Üleminekud üksikute horisontide vahel on selged kuni järsud, mis näitab, et kontakt üksikute mullakihtide vahel on puudulik. Kultuur-



Joonis 2-2,a. Mitmesuguste muldade profiile:

1 – keskmise sügavusega tüüpiline kamar-karbonaatmuld, rähkne liivsavi rähal (keskmise sügavusega rähkne liivsavimuld rähal); 2 – leostunud kamar-karbonaatmuld, saviliiv (leostunud saviliivmuld); 3 – keskmiselt leetunud kamar-leetmuld, liiv (keskmiselt leetunud liivmuld); 4 – gleistunud leostunud kamarmuld, saviliiv (niiske leostunud saviliivmuld); 5 – gleistunud tugevasti leetunud kamar-leetmuld, liiv (niiske tugevasti leetunud liivmuld); 6 – gleistunud kamar-leetmuld, liiv savil (niiske leetunud liivmuld savil).



Joonis 2-2,b. Mitmesuguste muldade profiile:

7 – küllastunud kamar-gleimuld, liivsavi (märg küllastunud liivsavimuld); 8 – leetunud kamar-gleimuld, liiv savil (märg leetjas liivmuld savil); 9 – kamar-leet-gleimuld, liiv (märg leetunud liivmuld); 10 – küllastunud kamar-gleimuld, liivsavi (märg küllastunud liivsavimuld); 11 – kõdu-kamar-gleimuld, liiv (turvastunud liivmuld); 12 – turvastunud gleistunud leetmuld, liiv (turvastunud leeteline liivmuld).

taimede juured ei tungi sellises mullas sügavale (vt. joon. 2-2, profiilid 5 ja 12). Väiksema viljakusega on ka ebasoodsa veerežiimiga mullad, nagu põuakartlikud liivad, liigniiskuse suhtes tundlikud savid või ebastabiilse veerežiimiga (väikese veemahutavusega) õhukesed paepealsed mullad.

3. LIIGNIISKETE MULDADE PROFIIL

Liigniiskuse mõju avaldub mulla profiili morfoloogilistes tunnustes ja nimelt:

a) profiili mineraalse osa gleistumises ja
b) huumushorisondi toorhuumuslikkuses või turvastumises.

Seejuures eristatakse profiili iseloomustamiseks:

a) lühiaegselt liigniiskeid muldi;
b) kestvamalt liigniiskeid muldi ja
c) alaliselt liigniiskeid muldi.

4. LÜHIAEGSELT LIIGNIISKETE MULDADE PROFIIL

Mullad, mille liigniiskus on tingitud pinnaveest*. Huumushorisont tume, kuivade ja parasniiskete muldadega võrreldes suurema orgaanilise aine sisaldusega, toorhuumuslik. Huumushorisondis, eriti selle alumises osas, esineb roostetäppe ja -terakesi, mille suurus piirdub sageli nööpnõelapea suurusega. Huumushorisondile järgnev leethorisont või sisseuhtehorisondi ülemine osa on gleistunud, roostetäpiline või seal esineb roostevärvi, kollakaid, hallikaid või sinakaid laike (vt. joon. 2-2, profiil 6). Selgemini kujunevad nimetatud tunnused välja kunagistes juurekäikudes, milles taimejuured on kõdunenud. Liivmuldades, milles gleistumisest tingitud värvimuutused (sinakad või rohekad laigud, roostetäpid) ei ole sageli nähtavad, avaldub pinnaveest tingitud lühemat aega kestva liigniiskuse mõju peamiselt B-horisondi ülemise osa eredas kohvipruunis värvuses.

Suurem huumusesisaldus mullas võib olla tingitud ka paremast väetamisest, liigestatud reljeefiga maadel pealeuhutud muldades aga reljeefilt kõrgemal asuvate muldade erosioonist. Liigniiskuse astme määramisel mullaprofiili järgi tuleb seda arvesse võtta. Eriti tähtis on see pealeuhutud muldade juures, mis on sageli ka ajutiselt liigniisked.

Mullad, mille liigniiskus on tingitud ajutiselt — lühikeseks ajaks kõrgele tõusvast põhjaveest. Huumushorisont ei erine oluliselt parasniiskete muldade huumushorisondist. Gleistumistunnused on märgatavad mullaprofiili alumises osas, Bg- ja Cg-horisondis, kus esineb kollakaid või sinakashalle laike ja roostetäppe kõdunenud taimejuurte ümbruses (vt. joon. 2-2, profiil 4). Õige nõrgalt liigniisketes muldades on mullaprofiili alumises osas märgata ainult üksikuid roostetäppe.

* Pinnaveena käsitletakse käesolevas peatükis nii maapinnale kogunevat vett (sademete vesi ja naaberaladelt kokkuvoolav vesi) kui ka nn. ülavett. Viimane koguneb mullas vett halvasti läbilaskvatele horisontidele (tihenenud sisseuhtehorisont) ja küllastab pealmised horisondid (huumushorisont, väljauhtehorisont) veega, põhjustades neis lühemat või pikemat aega liigniiskust.

5. KESTVAMALT LIIGNIISKETE MULDADE PROFIIL

Mullad, mille liigniiskus on tingitud pinnaveest. Huumushorisont toorhuumuslik. Looduslikel aladel esineb selle ülemises osas sageli turvastumise tunnuseid, kusjuures kuni 10 cm tüseduses niidukamarakihis võib olla orgaanilist ainet isegi rohkem kui mineraalainet. Metsamaadel moodustab pinnaveest tingitud kestvamalt liigniisketel muldadel pealmise horisondi turvastunud metsakõdu või väheviljakatel muldadel sfagnumiturvas. Huumuskihi all paiknevad horisondid on tugevasti gleistunud, moodustades mõnikord sinakashalli värvusega, lausalise õhukese gleihorisondi. Iseloomulik on seejuures aga gleistumistunnuste intensiivsuse nõrgenemine profiili sügavamates horisontides, 60 ... 100 cm sügavusel või sügavamal (vt. joon. 2-2, profiil 7).

Kui sügavale gleistumistunnused pinnaveest tingitud kestvamalt liigniisketel muldadel ulatuvad, see oleneb mitmest tegurist, peamiselt aga mulla lähtekivimi omadustest ja bioloogiliste protsesside kulgemisest mullas. Rasketes savides, kus bioloogilised protsessid ei ulatu kuigi sügavale, on ka gleistunud osa õhem. Nii leidub mõnel juhul isegi alaliselt liigniisketel muldadel — soomuldadel — turba all lausalist gleihorisonti ainult 20 ... 30 cm tüseduselt. Sellele järgneb punakaspruun puhtafooniline savi, kus gleistumistunnuseid üldse ei ole märgata.

Mullad, mille liigniiskus on tingitud ajutiselt kõrgele tõusvast põhjaveest. Huumushorisondi all paiknevad horisondid on tugevasti gleistunud, kusjuures allapoole gleistumise intensiivsus suureneb. Tavaliselt esineb profiili alumises osas lausaline gleihorisont. Vahetult huumushorisondi all olevad kihid on kollakashallide laikudega või roostetäpilised. Huumushorisont on toorhuumuslik, turvastumise tunnused on tavaliselt nõrgemad kui pinnaveest põhjustatud kestvama liigniiskuse puhul (vt. joon. 2-2, profiil 8).

6. ALALISELT LIIGNIISKETE MULDADE PROFIIL

Pealmise kihi moodustab turvas, mis võtab enda alla tavaliselt üle poole A-horisondist. Õhema turbakihiga alaliselt liigniiskeid muldasid tuleb ette veekogude (järve, mere) vahetus läheduses. Turvastunud horisondi all esineb lausaline gleihorisont (vt. joon. 2-2, profiil 11).

Gleistumistunnuste intensiivsuse järgi on ka alaliselt liigniisketes muldades võimalik vahet teha pinnaveest või kõrgest põhjaveest tingitud liigniiskuse vahel (vt. joon. 2-2, profiil 11, mille juures on peamiseks liigniiskuse põhjuseks kõrge põhjavesi, sest gleistumise intensiivsus suureneb profiili sügavamas osas).

*

Et liigniiskuse põhjused esinevad looduses tihti kombineeritult (ühel ja samal maa-alal nii pinnavesi kui ka kõrgele tõusev põhjavesi), siis on ka liigniiskete muldade profiili ehitus toodud skeemidest tavaliselt keerulisem (vt. joon. 2-2, profiilid 5 ja 9). Sageli segab gleistumistunnuste avaldumist mullaprofiilis ka mulla lähtekivimi värvus (porsunud paerähk on hallikaskollaka värvusega ka gleistumata muldade profiili C-horisondis, samuti on muldasid valkjashallil väljapestud liival, mis ei tarvitse olla liigniisked).

Teatava vilumuse juures on aga mullaprofiili uurimisega kerge kindlaks määrata nii mulla liigniiskuse astet kui ka liigniiskuse põhjusi.

§ 2-5. MULLA OMADUSTE MÄÄRAMINE TAIMKATTE ABIL

Mulla omaduste määramine taimkatte järgi põhineb asjaolul, et mõned taimed on kasvukoha ühe või teise tingimuse — mulla reaktsiooni, taimetoitainete sisalduse, veerežiimi jt. — suhtes küllaltki tundlikud. Sellised taimed, nn. indikaatortaimed, esinevad ainult aladel, kus vastavad tingimused on neile soodsad. Nende esinemise järgi hinnataksegi mulla omadusi.

Väärtuslikumaid andmeid saab taimkatte abil mulla omaduste hindamisel looduslikku taimkatet jälgides. Kultuurtaimed on pikka aega kestnud valiku ja sordiaretuse teel inimese poolt oluliselt mõjutatud ega peegelda kasvukoha mulla omadusi küllaldase selgusega. Mõningal määral on siiski ka kultuurtaimede järgi võimalik mulla omadusi hinnata. Laialdaselt kasutatakse kultuuristatud aladel mulla omaduste hindamiseks põlluumbrohtusid, jälgides nende liigilist koosseisu.

Mulla omaduste määramine taimkatte järgi eeldab taimede kasvukohanõuete tundmist. Siinjuures tuleb arvestada, et taimede suhtumine mingisse mulla omadusse oleneb paljudest teguritest. Näiteks leiame mulla reaktsiooni suhtes tundlikke taimi toitainterikkamatel aladel ka niisuguse reaktsiooniga muldadelt, kus nad tavaliselt ei kasva. Toitainete küllus nagu aitaks leevendada reaktsiooni ebasoodsat mõju. Seepärast ei tule üksikute taimeliikide esinemist mulla omaduste määramisel üle hinnata. Mullastiku uurimisel kasutataksegi taimkatet abiteguriina mulla profiili morfoloogiliste tunnuste abil väljaselgitatud mullaerimi levikupiiride kindlaksmääramisel.

1. MULLA HAPPELIST REAKTSIOONI NÄITAVAID TAIMI

Põldudel: põldkaderohi (*Scleranthus annuus*), põld-nälghein (*Spergula arvensis*), põldrõigas (*Raphanus raphanistrum*) ja väike oblikas (*Rumex acetosella*) (vt. joon .2-3a). Viimane esineb sagedasti, näiteks üleskünttud soodes, ka neutraalsetel muldadel. Põldudel on ta aga tüüpiline happeliste muldade taimi. Eriti sageli esineb ta põldheinapõldudel, kus levib ristikusse tekkinud tühikutes. Põldrõigast võib kohata sageli koos põldsinepiga, mis näitab, et muld on alumistes horisontides lubjarikas.

Looduslikel aladel (vt. joon. 2-3b), rohumaadel: jussheina (*Nardus stricta*), ka maarjaheina (*Anthoxanthum odoratum*) ja hariliku kasteheina (*Agrostis tenuis*) hulgalisel esinemisel on muld tavaliselt happelise reaktsiooniga. Happelistel muldadel esineb rohumaadel mätastel alati kanarbikulisi (kanarbik, pohl). Soodes ja metsades kukemarja (*Empetrum nigrum*), enamikku kanarbikulisi (*Ericaceae*), nagu kanarbik (*Calluna vulgaris*), hanevits (*Chamaedaphe calyculata*), sinikas (*Vaccinium uliginosum*), sookail (*Ledum palustre*) ja jõhvikas (*Oxycoccus quadripetalus*), ja teisi rabataimi.

Lubjarikastel, neutraalse või leelisese reaktsiooniga muldadel tuleb nimetatud taimi harvem ette, nende esinemisel aga algab mulla happeliseks muutumine, mis algstaadiumis avaldub ainult huumuskihi ülemises osas.

2. MULLA LEELISEST REAKTSIOONI NÄITAVAID TAIMI

Põldudel: põld-kukekannus (*Delphinium consolida*), põldsinep (*Sinapis arvensis*), ussikeel (*Echium vulgare*), kollane karikakar (*Anthemis tinctoria*) ja põldmurakas ehk põldmari (*Rubus caesius*) (vt. joon. 2-4). Viimane levib eriti põllupeenardel olevates kiviaedades.

Looduslikel aladel, kuivematel rohumaadel: humallutsern (*Medicago lupulina*), varretu ohakas (*Cirsium acaule*), mägitarn



Joonis 2-3a. Happeliste muldade taimi:

1 — **põldkaderohi**; *2* — põldnälghein; *3* — põldrõigas; *4* — väike oblikas.



Joonis 2-3b. Happeliste muldade taimi:
5 – maarjahein; *6* — jusshein; *7* — harilik kastehein.



Joonis 2-4. Lubjarikaste muldade taimi (põldudel):
1 — põld-kukekannus; *2* — põldsinep; *3* — ussikeel; *4* — kollane karikakar; *5* — põldmurakas.

(*Carex montana*), varvastarn (*Carex ornithopoda*) ja lubikas (*Sesleria coerulea*). Lubikas muide ei ole mulla niiskuse suhtes tundlik, ta esineb ka märgadel lubjarikastel niitudel ja isegi madalsoodes (vt. joon. 2-5a). Niisketel niitudel: vesihaljas-tarn (*Carex diversicolor*), pung-kirburohi (*Polygonum viviparum*), seakapsas (*Cirsium oleraceum*) ja ääristarn (*Carex hostiana*). Turvastunud muldadel raudtarn (*Carex davalliana*), soodes roostepruun sepsikas (*Schoenus ferrugineus*).

Ka madal mustjuur (*Scorzonera humilis*) armastab levida vähemalt küllastunud muldadel asuvatel niisketel niitudel (vt. joon. 2-5b).

3. LIIGNIISKETE MULDADE TAIMI

Põldudel ja sööti jäänud põldudel: roomav tulikas (*Ranunculus repens*), kraaviluga (*Juncus bufonius*), sootulikas (*Ranunculus flammula*), soo-õisluht (*Triglochin palustre*) ja kirburohud (*Polygonum sp.*). Ka paiselehte (*Tussilago farfara*) ja hanijalga (*Potentilla anserina*) peetakse liigniiskete maade taimeks, kuigi neid mõlemat võib kohata ka kuivadel kasvukohtadel (paiselehte näiteks kraavivallidel, raudteemuldel jm.). Hanijala ja paiselehe hulgalisel esinemisel põldudel on tegemist siiski liigniiskete muldadega.

Sööti jäänud põldudel ja märgadel 2. või 3. a. põldheina põldudel: harilik kamaras (*Odontites serotina*), põlvjas rebasesaba (*Alopecurus geniculatus*), silmarohud (*Euphrasia sp.*) ja keraluga (*Juncus conglomeratus*) (vt. joon. 2-6).

Rohumaadel: Kestvamalt liigniisketel muldadel valitsevad rohttaimestikus lõikheinalised (*Cyperaceae*) — tarnad, villpead ja kõrkjad.

Maaparanduses on väga oluline kõrgest põhjaveest tingitud liigniisketel aladel eraldada survelise põhjaveega alad, s. o. allikalised alad. Survelise põhjaveega alade taimkattes armastab levida laialehine villpea (*Eriophorum latifolium*, vt. joon. 2-7a), mis hõlbustab nende alade kindlaksmääramist. Kõige kergemini on survelise põhjaveega alad niisketel ja märgadel arurohumaadel eraldatavad juunikuus, millal laialehise villpea valged pähikud eristuvad selgesti muude taimede foonil.

4. TOITAINETERIKASTE SOODE TAIMI

Toitaineterikkaid soid iseloomustavad järgmised taimed: põistarn (*Carex vesicaria*), padutarn (*C. buxbaumii*), kallastarn (*C. riparia*), sale tarn (*C. gracilis*), lünktarn (*C. disticha*), pikk tarn (*C. elongata*), ääristarn (*C. hostiana*), raudtarn (*C. davalliana*), laialehine villpea (*Eriophorum latifolium*), soo-seahernes (*Lathyrus palustris*), pääsusilm (*Primula farinosa*), roostepruun sepsikas (*Schoenus ferrugineus*), lubikas (*Sesleria coerulea*) ja lemmelill (*Tofieldia calyculata*) (vt. joon. 2-7).

5. KULTUURTAIMED LIIGNIISKUSE NÄITAJATENA

Taliviljad jäävad liigniisketel aladel hõredamaks kui parasniisketel aladel ja neisse tekivad umbrohud (rukkiluste). Kevadel on orased liigniisketel muldadel parasniiskete muldadega maadel kasvavate orastega võrreldes kahvatumad. Viljade arenemine on aeglasem. Seetõttu on vahaküpsuse ajal parasniiskel mullal kollaseks tõmbuva vilja kõrval liigniiskel mullal vili veel roheline.



Joonis 2-5a. Lubjarikaste muldade taimi (looduslikel rohumaadel):
1 — varretu ohakas; *2* — humallutsern; *3* — mägitarn; *4* — varvastarn; *5* — lubikas.



Joonis 2-5b. Lubjarikaste muldade taimi (looduslikel rohumaadel):
6 — pung-kirburohi; *7* — seakapsas; *8* — ääristarn; *9* — raudtarn; *10* — roostepruun sepsikas; *11* — madal mustjuur.



Joonis 2-6a. Liigniiskete muldade taimi põldudel (ka sööti jäänud põldudel):
1 — roomav tulikas; *2* — kraaviluga; *3* — sootulikas; *4* — soo-õisluht.



Joonis 2-6b. Liigniiskete muldade taimi põldudel (ka söötijäänud põldudel):
5 — harilik kirburohi; *6* — paiseleht; *7* — hanijalg; *8* — põlvjas rebasesaba; *9* — keraluga.



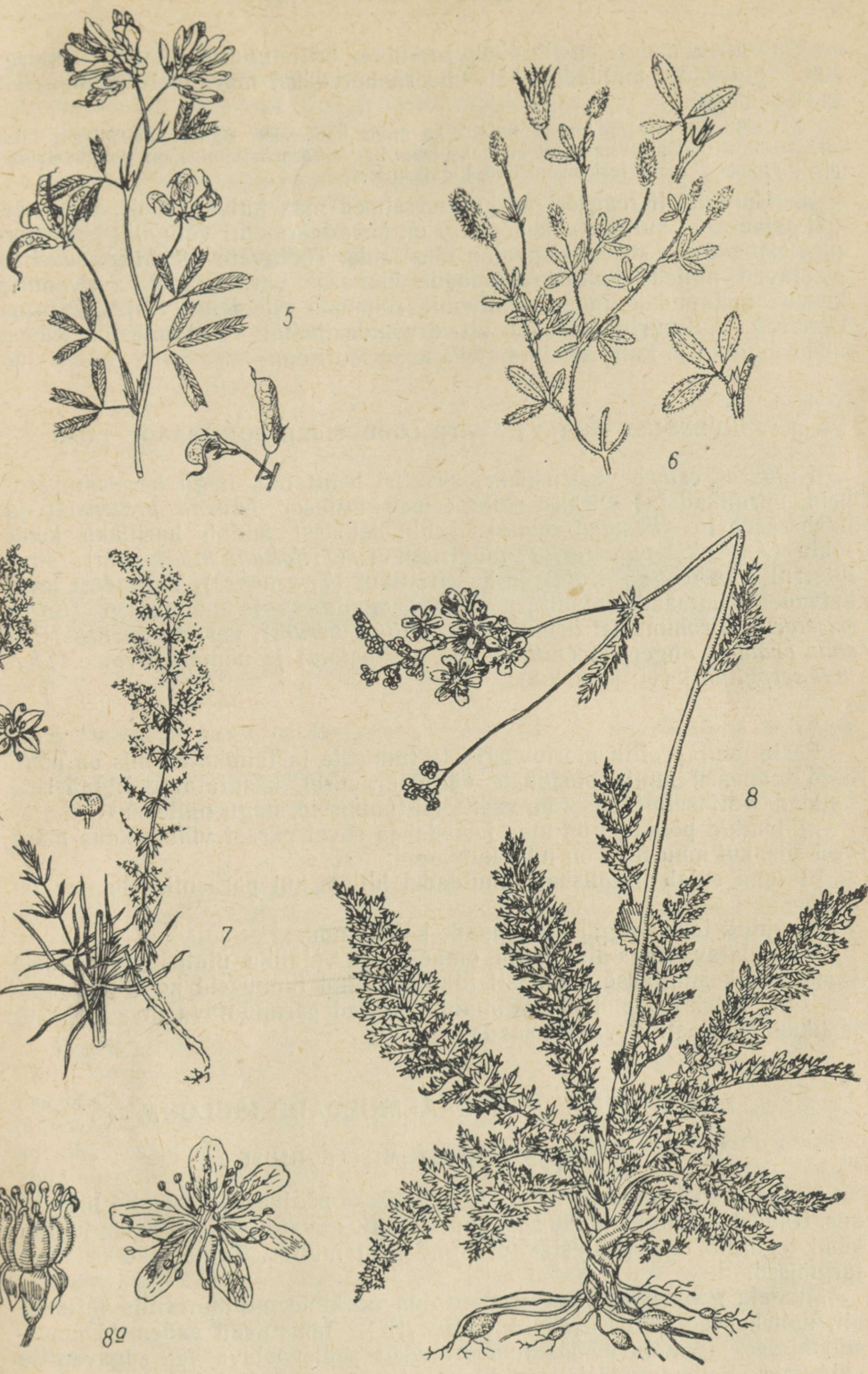
Joonis 2-7a. Toitaineterikkamate soode taimi:
1 — kallastarn; *2* — põistarn; *3* — laialehine villpea; *4* — soo-seahernes.



Joonis 2-7b. Toitaineterikkamate soode taimi:
5 — sale tarn; *6* — lünktarn; *7* — pääsusilm; *8* — lemmelill.



Joonis 2-8a. Kuivade looduslike rohumaade taimi:
1 — arukaer; *2* — lamba-aruhein; *3* — koldrohi; *4* — mägiristik.



Joonis 2-8b. Kuivade looduslike rohumaade taimi:
5 — sirplutsern; *6* — kassiristik; *7* — hobumadar; *8* — angerpist.

Kultuurtaimedest on liigniiskuse suhtes eriti tundlik lutsern. Lühiaegselt liigniisketel muldadel jääb lutsern hõredaks, märgadelt põlluosadelt kaob ta hoopis.

Peale liigniiskuse on lutsern tundlik ka mulla happesuse suhtes. Sellepärast tuleb lutsernipõllul tühikute esinemisel kindlaks teha, kas lutserni hävimine on tingitud lutsernile ebasoodsast mulla reaktsioonist või liigniiskusest.

Kuivõrd hästi reageerivad kultuurtaimed maa kuivendusele, seda näitab asjaolu, et kultuurtaimede järgi on kevadperioodil võimalik isegi normaalselt töötava dreeni asukohta üles leida. Töötavate dreenide asukohad paistavad näiteks kultuurrohumaade kamaras varakevadel veel mitte kasvu alustanud koltunud põhifoonil roheliste ribadena välja. Vanema kamaraga kultuurrohumaadel on dreenide kohal rohttaimestik vähem ümbrohtunud ja kultuurheintaimede kasv jõulisem.

6. KUIVENDUST MITTEVAJAVATE LOODUSLIKE ROHUMAADE TAIMI

Kamaras esineb väärtuslikke kõrrelisi heintaimi, nagu kerahein, aruhein, nurmikad jne. Lisaks neile esineb arukaer (*Avena pratensis*) ja lamba-aruhein (*Festuca ovina*). Liblikõielistest leidub harilikku koldrohtu (*Anthyllis vulneraria*), mägiristikut (*Trifolium montanum*), sirplutserni (*Medicago falcata*) ja kassiristikut (*T. arvense*). Tarnadest levib kuivadel rohumaadel mägitarn (*Carex montana*) ja nõmmtarn (*Carex ericetorum*), rohundeist hobumadar (*Calium verum*), varretu ohakas (*Cirsium acaule*), angerpist (*Filipendula hexapetala*) ja nõmme-liivatee (*Thymus serpyllum*) (vt. joon. 2-8).

*

Peale mullaprofiili morfoloogiliste tunnuste ja taimkatte, mis on põhilised tunnused mulla omaduste välimääramisel, kasutatakse liigniiskete muldade väljaselgitamisel ka veel teisi tunnuseid, nagu näiteks:

a) küntud põldudel on maa kevadel ja suvel pärast vihma kaua märg veel siis, kui muu maa on juba kuivanud;

b) lumi sulab liigniisketel muldadel hiljem kui parasniisketel muldadel ja

c) õhtuti tekib liigniiskete maade kohale udu.

Parandatava maa-ala mulla omadustest vajaliku ulatusega ülevaate saamiseks kasutatakse enamasti ülalnimetatud tunnuseid koos, sest vastastikku üksteist täiendades võimaldavad nad parandatava maa-ala mullastikust hõlpsasti ülevaadet saada.

§ 2-6. LIIGNIISKETE MINERAALMULDADE ISELOOMUSTUS

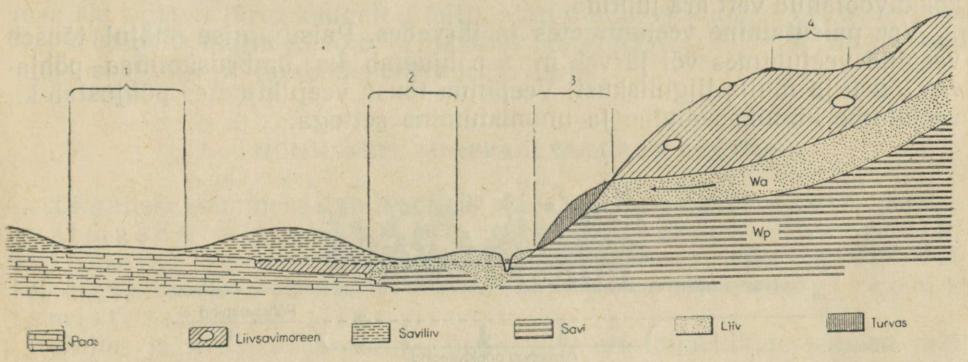
1. MULDADE SOOSTUMISE PÕHJUSI

Muldade soostumise otseseks ja peamiseks põhjuseks on mulla liigniiskus. Kaudselt võib muldade soostumist põhjustavate tegurite hulka lugeda kõiki tegureid, mis põhjustavad liigniiskust mullas. Tähtsamad neist on järgmised.

Maa-ala geoloogiline ehitus. Vettpidavad kihid mullaprofiilis või selle all, näiteks veesettelised savid (viirsavi) — takistavad sademete, lumesulamisvee ja pinda mööda naaberaladelt pealevoolava vee sügavamale valgumist. Selle tagajärjel mulda kogunev vesi põhjustab liigniiskust ja seega ka soostumist (sellistes tingimustes soostuvate muldade esinemine on iseloomulik Lääne-Eesti settealadele). Liigniiskust põhjustab ka mulla

vettpidav aluskivim, kui see asub maapinna lähedal. Näiteks tekitab Põhja- ja Lääne-Eestis õhukese mullakihiga paealadel nii sajuvesi, lumesulamisvesi kui ka naaberaladelt pealevalguv pinnavesi mullakihi väikese veemahutavuse tõttu seiskuvat vett seal, kus paes puuduvad praod, mis võimaldaksid koguneval veel sügavamale valguda.

Maa-ala hüdrogeoloogilised tingimused. Kõrge põhjaveeseis või põhjavee valgumine vettjuhtivaid kihte mööda kaugemalt naabrusest. Veekoguäärsetel aladel on põhjaveeseis otseselt seotud veepinna kõrgusega veekogus. Liigestatud reljeefiga aladel võivad vettandvad kihid vettpidavate kihtidega vaheldudes avaneda reljeefi mitmesugustes osades ja põhjustada põhjavee väljakiildumist surveta või surve all olevate allikatena. Sellistes tingimustes soostunud muldasid esineb isegi küllalt järskudel nõlvakutel, kuigi pinnavee äravool on seal hea (vt. joon. 2-9).



Joonis 2-9. Maade soostumist põhjustavate geoloogiliste ja hüdroloogiliste tingimuste skemaatiline näide:

1 — liigniiske muld vettpidaval aluspõhjal; *2* — kõrge põhjaveega maa-ala; *3* — väljakiilduvast põhjaveest põhjustatud liigniiskuse all kannatav maa-ala; *4* — naaberaladelt pealevalguvast veest põhjustatud liigniiskuse all kannatav maa-ala; W_a — vettandev kiht; W_p — vettpidav kiht.

Väljakiilduva põhjavee poolt põhjustatud liigniiskuse tingimustes soostuvad mullad küllastatakse enamasti põhjavees lahustunud kaltsiumi arvel. Sel teel tekkinud soodes on turvas suure tuhasisaldusega ja sisaldab sageli nõrglupja, ookrit või muid konkretsioone. Väljakiilduva põhjavee poolt põhjustatud soostumist tuleb sagedamini ette Kesk-Eestis (Pandivere kõrgustiku äärealadel ning voorealadel) ja Lõuna-Eestis.

Maa-ala reljeef. Liigestatud reljeefiga aladel nagu Kesk- ja Lõuna-Eesti moreenmaastikul on sulglohud naabrusest pealevalguva vee seiskumiskohaks, sest reljeefi suurte kallete tõttu ei valgu kogu sademete ja lumevesi mulda, vaid osa voolab maapinda mööda nõgudesse. Selle tõttu on nõod enamasti liigniisked. Taimekasvuks soodus veerežiim kujuneb nõgudes ainult sellisel juhul, kui mulla aluskihid on eriti hea veeläbilaskvusega. Pinnavee kogunemise ohu tõttu kuivendatakse nõlvaaluseid kuni 20% tihedama võrguga kui niisamasuguse niiskusastmega muldasid reljeefi teistel osadel.

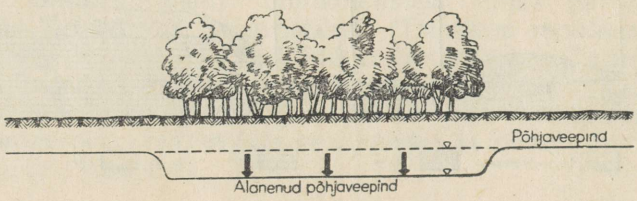
Deluviaalsete protsesside tõttu on liigestatud reljeefiga aladel nõod tüseda huumuskihiga ja vähem kivised kui nende naabruses asuvad erodeeritud mullad. Liigestatud reljeefiga alade sood on üldiselt tuharikkamad kui liigestamata reljeefiga alade ja Põhja- ning Lääne-Eesti sood.

Vee puudulik äravool. Liigniiskuse ja soostumise põhjusena tuleb vee puudulik äravool arvesse eelkõige tasastel, ilma kaldeta aladel, kust mulla-

või pinnavesi väga aeglaselt edasi valgub või koguni seiskub ning kus maa-ala vabaneb liigveest alles pärast vee äraauramist või pinnase sügavamatesse kihtidesse valgumist (iseloomulik Lääne-Eesti settealadele).

Üleujutused (tulvad). Üleujutused on liigniiskuse põhjuseks ja muldade soostumist põhjustavaks teguriks vähese läbilaskevõimega veejuhtmete (jõgede, ojade ja kraavide-) äärsetel aladel. Üleujutused tekivad enamasti jõgede alamjooksul, kus on väike kalle ja jõesängi ristlõige on setete kogunemise ning voolusängi kinnikasvamise tõttu vähenenud. Jõe või oja alamjooksul tulvavee poolt pealekantud setete tõttu on jõekaldad sageli kõrgemaks kasvanud kui kõrval asuv lammiala. Niisuguse reljeefiga aladel on tulvavee jõkke tagasi valgumine takistatud, kuigi veepind jões langeb. Üleujutusi võivad põhjustada ka kuivendatud maa-alade vääralt dimensioneeritud peakraavid, mis ei suuda kuivenduskraave mööda kokkuvoolanud vett ära juhtida.

Vee paisutamine veejuhtmetes ja järvedes. Paisutamise mõjul tõuseb veepind veejuhtmes või järves ning põhjustab ka ümbruskonnas põhjavee tõusu ja mulla liigniiskust. Veepinna tõusu veejuhtmetes põhjustab ka veejuhtme kinnikasvamine ja ummistumine settega.



Joonis 2-10. Põhjavee pinna alanemine metsa mõjul (prof. dr. ins. K. Juva järgi).

Auramise vähenemine. Auramise vähenemise põhjuseks võib olla näiteks metsa kui suure transpiratsioonivõimega taimkatte hävitamine. Niiskevõitu kasvukohtades ei suuda järelejäänud taimkate koguneva vee auramisele küllaldaselt kaasa aidata ja muld jääb mõneks ajaks liigniiskeks (vt. joon. 2-10). Et metsaaladel on ka teised tingimused (mulla reaktsioon jne.) turvastumisprotsessi tekkimiseks soodsad, algab sellistel raiesmikel niiskusastme suurenedes hõlpsasti turvastumine, mis omakorda soodustab vee kogunemist ja seega soostumisprotsessi edasiarenemist.

Muldade leetumine. Leetumisprotsessis, eriti liivmuldadel, mulla profiilis kujunev sisseuhtehorisont muutub juurdetoodud ainete tõttu tihedaks; sagedaseks nähtuseks on sisseuhtehorisondi tihedaks nõrgkiviks tsementeerumine. Viimase veeläbilaskvus on väike, mis põhjustabki pinnavee kogunemist, liigniiskust pindmistes horisontides ja seega mulla soostumist (vt. joon. 2-2, profiil 12). Taimetoitainetest vaesunud pealmine mullakiht, nn. väljauhtehorisont, on rohttaimedele ebasoodsaks kasvukohaks. Sinna asuvad vähem nõudlikud taimed — samblad. Need omakorda soodustavad turvastumisprotsessi arenemist, sest orgaanilise aine lagundumine pidurdub vastavatele mikroorganismidele vajalike mineraaltoitainete vähesuse tõttu. Taimetoitainete poolest vaestel lähtekivimitel arenevad leedemullad rabastuvad suhteliselt kiiremini kui toitaineterikkamail lähtekivimeil arenevad mullad.

Teatavail tingimustel võib ka taimkate muldade soostumist põhjustada. Eriti soodustavad soostumist samblad, mis on võimelised endas

suurt hulka vett kinni hoidma. Tüsedama samblakihi puhul põhjustab samblakihti kogunenud vesi mulla liigniiskust, anaerobioosi ja aitab sellega ka soostumisprotsessi arenemisele kaasa.

*

Muldade soostumise põhjusena esinevad looduses ülalnimetatud tegurid harva üksikult. Enamikul juhtudel esineb mitu tegurit koos (näiteks kõrge põhjavesi ja üleujutus, kõrge põhjavesi ja naaberaladelt pealevalguv vesi jne.).

Kuigi soostunud mineraalmaad, s. o. maa-alad soostunud mineraalmuldadega esinevad enamasti reljeefilt madalamatel kohtadel, kuhu koguneb pinnavesi ja kus põhjavesi on kõrgel, aga samuti üleujutatavates luhtades ja raskesti vett läbilaskvatel tasastel, ilma kaldeta aladel, ei saa maa-ala reljeefi järgi kaugeltki mitte alati mulla soostumise üle otsustada. Nagu eespool nägime, võib teatavates tingimustes esineda liigniiskeid muldasid küllaltki järskudel nõlvadel ja mujal.

2. LIIGNIISKETE MINERAALMULDADE LIIGITUS

Liigniiskete mineraalmuldadega alade, s. o. liigniiskete mineraalmaade all mõistame mineraalmaid, kus põllu- või metsamajandusliku produktsiooni tõstmist, viljeldavate kultuuride hooldamist või saagi koristamist takistab liigniiskus.

Põllu- ja metsamajanduses viljeldavate eri taimeliikide nõuded muldade niiskusrežiimi suhtes kõiguvad küllaltki suurtes piirides. Maa-alade tootmiseks korraldamise seisukohtalt on seetõttu otstarbekohane vaadelda liigniiskust kõlvikute lõikes, mis haaravad enam-vähem ühesuguste nõuetega taimede gruppe (põld, rohumaa ja mets).

Erineval määral liigniisked mullad, mis looduses moodustavad pideva üleminekurea lühiaegselt liigniisketest muldadest kuni alaliselt liigniiskete turvastunud muldadeni, on käsitluse hõlbustamiseks kolme gruppi* liigitatud:

a) lühiaegselt liigniisked (gleistunud) mullad;
b) kestvamalt liigniisked (glei-) mullad ja
c) alaliselt liigniisked (turvastunud ja soo-) mullad.

Nii veerežiimi reguleerimise kui ka agronoomiliste omaduste poolest moodustavad omaette grupi üleujutatavad (lammi-) mullad, mis võivad olenevalt üleujutuse kestusest olla lühiaegselt, kestvamalt või alaliselt liigniisked.

Kuivenduse ülesandeks on kõrvaldada mullast liigniiskus ning luua maa kasutamise laadile vastav niiskusrežiim. Sellest ülesandest lähtudes on otstarbekohane valida kuivenduse intensiivsus vastavalt kuivendatava maa-ala muldade liigniiskuse astmele.

Alaliselt liigniisketel muldadel rakendatakse tavaliselt lauskuivendust, kus kuivenduskraavide või dreenide vahekaugus määratakse vastavalt dreenide või kraavide sügavusele, muldade veeläbilaskvusele ja äravooluhulgale.

Ajutiselt (lühiaegselt või kestvamalt) **liigniisketel muldadel** on otstarbekohane kasutada valikkuivendust või harvendatud lauskuivendust. Just ajutiselt liigniiskete muldade kuivendamisel esitab

* Melioratiivse ja viljelusväärtuse hinnangu andmisel grupeeritakse muldasid detailsemalt.

ökonoomika maaparandajatele kõige teravamalt nõude: projekteerida ja ehitada niisugune kuivendusvõrk, mis tagab maa-alal kavandatud kasutusele vastava veerežiimi, olles samal ajal antud kuivendusviisi puhul (drenaaž, kraavitus) minimaalsete kuludega teostatav.

Lühiaegselt liigniiskete muldadega maad moodustavad Eesti NSV-s parandatavatest maadest küllaltki suure osa. Näiteks RPI «Eesti Põllumajandusprojekti» poolt aastail 1952...1956 ligikaudu 100 000 ha suurusel maa-alal läbiviidud maaparandusliku mullastiku uurimise andmeil oli lühiaegselt liigniiskeid muldasid, olenevalt maaparandusobjekti suurusest, 19,5...26,9%, keskmiselt 23,2%. Võttes kuivendusvõrgu harvendamise astmeks ajutiselt liigniisketel maadel 15%, võib öelda, et mullastiku uurimisele toetudes on detailkuivenduse maksumust võimalik küllaltki suurel parandamist vajaval ajutiselt liigniiskete muldadega maa-alal, maade kultuuristamise tingimusi kahjustamata, 15% võrra vähendada, rääkimata parandatavatel maadel esinevate kuivendamist mittevajavate muldadega alade väljaselgitamisest. Saavutatav kokkuhoid on eriti tähelepanuväärne drenaaži kui kallima kuivendusviisi puhul.

3. LÜHIAEGSELT LIIGNIISKED (GLEISTUNUD) MULLAD

Gleistunud mullad kujunevad lühemaaegse, ajutise liigniiskuse tingimustes. Liigniiskuse põhjuseks võib olla pinnavesi või ajutiselt kõrgele tõusev põhjavesi.

Põldudena kasutamisel annab liigniiskus gleistunud muldadel end mitmeti tunda: kevadised põllutööd hilinevad, orased arenevad eriti jahedal kevadel aeglasemalt ja maad on «külma põhjaga». Sügisel on saagi koristamine liigniiskuse tõttu sageli raskendatud. Sademeterikkamal suvel jäävad ka põllukultuuride saagid parasniisketelt aladelt saadavate saakidega võrreldes väiksemaks, vili on hõre ja umbrohtunud.

Kuivadel suvedel on põllukultuuride saagid ajutiselt kõrgele tõusva põhjavee mõjul gleistunud muldadega maadelt isegi paremad, võrreldes põuakartlikelt aladelt saadavate saakidega, kuid ei ületa koguselt ega kvaliteedilt põuakindlatelt parasniisketelt muldadelt saadavaid saake. Selle põhjuseks on asjaolu, et kevadisest aeglasest tahenemisest tingitult jääb külv gleistunud muldadel hiljemaks kui parasniisketel aladel. Külvi hilinemisest tingitud saagi vähenemisele lisanduvad sageli raskused saagi koristamisel ja otsene saagi riknemine.

Saakide ebakindluse likvideerimiseks vajavad gleistunud mullad põlluna kasutamisel, olenevalt reljeefist, gleistumise iseloomust ja intensiivsusest, samuti paiknevusest naabermullaerimite suhtes, valikkuivendust või harvendatud lauskuivendust.

Valikkuivendust kasutatakse liigestatud reljeefiga aladel, kus liigniiskus annab end tunda reljeefi mikronõgudes. Liigestamata reljeefiga aladel — tasandikel — on otstarbekas kasutada gleistunud muldadel harvendatud lauskuivendust. Olenevalt gleistumise intensiivsusest ja parandatava maa-ala edaspidisest kasutamisest võib kuivendusvõrku harvendada kuni 30% (nõrkade gleistumistunnuste esinemisel rohkem — kuni 30%, tugevamal gleistumisel, kui muld läheneb oma omadustelt juba gleimuldadele, vähem — 10...15%).

Pinnavee all kannatavad gleistunud mullad (gleistumistunnused esinevad profiilis vahetult huumushorisondi all) vajavad kuivendust pinnavee ärajuhtimiseks.

Ajutiselt kõrgele tõusva põhjavee all kannatavad mullad vajavad kuivendust ka põlluna kasutamisel alles siis, kui gleistumistunnused esinevad profiilis kõrgemal kui 80 cm. Juhul kui gleistumistunnused on 80...120 cm sügavusel, vajab muld kuivendust ainult viljapuuaiana kasutamise korral.

Tasase reljeefiga maadel gleistunud muldade kuivendamisel on suur tähtsus agromelioratiivsetel võtetel, nagu vesivagude ajamisel ja pinna profileerimisel, eriti raskema lõimisega aladel. Samuti aitab raske lõimisega muldade niiskusrežiimi parandada sügava, struktuurse künnikihi loomine. Koos spetsiaalsete agromelioratiivsete võtete rakendamisega soovitatakse niisugustel muldadel künnikihti süvendada 30 cm-ni ja enamgi. Ilma agromelioratsioonita vajavad gleistunud savimullad tiheda lausvõrguga kuivendust.

Kui gleistunud mullad asuvad väikeste, 0,5...1,0 ha suuruste lappidena glei-, turvastunud või soomuldade massiivides ja viimased kuivendatakse, paraneb ka nende veerežiim ümbruses põhjavee alanemise tagajärjel ja neid saab ilma kuivendüseta kultuuristada. Vastupidi, kui gleistunud mullad asuvad väiksemate lappidena gleistumata profiiliga, kuivade ja parasniiskete muldade keskel, vajavad nad põlluna kasutamisel tingimata kuivendust. Viimasel juhul kujutavad nad endast tavaliselt halvema veelabilaskvusega alasid või mikronõgusid, kuhu pinnavesi kokku valgub.

Rohumaadena ja metsana kasutamisel ei jää gleistunud mullad viljakuselt maha parasniisketest muldadest (erandiks on tugevalt leetunud gleistunud mullad, kus taimed on happelise reaktsiooni tõttu ka ebasoodsa veerežiimi suhtes tundlikumad).

Nõrgalt gleistunud muldadega aladel ei vaja rohumaad kuivendust. Gleistunud muldadel levivad parasniisked kuni niisked arurohumaad, mille saake on enamasti võimalik suurendada pealtparandamise teel.

Ainult tugevasti gleistunud muldadega aladel, mida soovitakse kultuurkarjamaa alla võtta, tuleb olenevalt reljeefist kasutada kas valikkuivendust või 25...30% harvendatud lauskuivendust. Samuti vajavad gleistunud mullad karjamaana kasutamisel kuivendust, kui nad asuvad väikeste lappidena parasniiskete muldade keskel, sest nad kujutavad endast sel juhul pinnavee kogunemise kohti.

Heinamaana kasutamisel võib valikkuivendus ainult tugevasti gleistunud muldadega aladel erandjuhtudel arvesse tulla.

Keerulisem on paepealsete gleistunud muldade kuivendamine. Paepealsetel muldadel esineb liigniiskuse kõrval ajutiselt ka niiskusepuudust. Selle tõttu kujunevad saagid kuivendatud õhukestelt paepealsetelt muldadelt ilma täiendava niisutuseta ebakindlaks. Täielik veerežiimi reguleerimine kuivendus- ja niisutussüsteemide ehitamise näol teeb maaparanduse neil aladel kalliks ja on tasuv ainult maade väga intensiivse kasutamise juures. Õhukeste paepealsete muldade kuivendamine tuleb kõne alla alles viimases järjekorras.

Lubjarikaste ja rähksete muldade teiste erimite veerežiimi reguleerimine ei tee raskusi.

Gleistunud lubjarikaste ja rähksete muldade parandamisel tuleb arvestada, et oma peamisel levikualal, Põhja-, Loode- ja Lääne-Eestis ning saartel, moodustavad need nimetatud piirkondade suhteliselt vähese põllumaa laiendamise peamise reservi. Lõuna-Eestis, kus põllumaa osatähtsus on suurem, on gleistunud mullad otstarbekam karjamaaks jätta.

Peale kuivendamise vajavad lühiaegselt liigniisketest muldadest gleistunud leetunud mullad viljakuse suurendamiseks ka lupjamist.

Metsana kasutamisel ei vaja gleistunud mullad kuivendamist, sest gleistunud muldadel levivad meie paremad puistud.

4. KESTVAMALT LIIGNIISKED MULLAD (GLEIMULLAD)

Gleimullad kujunevad pikemaaegse liigniiskuse tingimustes, kusjuures liigniiskuse põhjuseks võib olla nagu gleistunud muldadegi puhul kas pinnavesi või kõrgele tõusev põhjavesi. Ainult sademetest pärinevast pinnaveest tingitud liigniiskuse puhul kujunevad leetunud gleimullad, põhjaveest tingitud liigniiskuse puhul aga küllastunud gleimullad.

Gleimuldade *põlluna* kasutamine ei tule ilma kuivendamiseta arvesse. Looduslikest rohumaadest levivad gleimuldadel nõrgalt soostunud rohumaad, mis annavad olenevalt toiterežiimist kuni rahuldavaid saake. Väikesi saake annavad rohumaad märgadel leetunud muldadel, kus taimed kannatavad ebasoodsa reaktsiooni tõttu liigniiskuse kõrval ajutiselt ka niiskusepuuduse all, sest taimede juured levivad ainult pealmises õhukeses mullakihis.

Põlluna kasutamisel vajavad gleimullad *lauskuivendust*, välja arvatud juhud, kus nad asuvad väikeste, kuni 0,5 ha suuruste lappidena soomuldade või turvastunud muldade massiivides, mis kuivendatakse põlluna kasutamiseks.

Kultuurkarjamaana kasutamisel vajavad gleimullad *lauskuivendust*, kusjuures *kuivendusvõrku* võib *harvendada* kuni 15%, kui gleimullad sarnanevad tugevasti gleistunud muldadega (orgaanilise aine sisaldus A_0A_1-horisondis alla 10%). Tugevasti toorhuumusliku huumushorisondiga (orgaanilise aine sisaldus A_0A_1-horisondis 10...20%) märgade mineraalmuldade kuivendamisel kultuurkarjamaa rajamiseks võiks kuivendusvõrku harvendada ainult 5...10%.

Lauskuivendust vajavad gleimullad karjamaana kasutamisel siis, kui nad asuvad väiksemate lappidena gleistunud muldade massiivides. Vastupidi, turvastunud või soomuldade massiivides asuvaid väiksemaid (0,5 ha) gleimullalappe saab karjamaaks edukalt kasutada ka kuivendamata, kui ümbrus kuivendatakse.

Kultuurheinamaa rajamiseks vajalike eelduste loomiseks vajavad gleimullad kuivendamist, kusjuures liigestatud reljeefiga aladel piisab *valikkuivendusest*, lausiku, liigestamata reljeefi puhul tuleb aga kasutada *lauskuivendust* kuni 30% *harvendatud võrguga*. Oma omaduselt turvastunud muldadele lähenevate gleimuldade kuivendamisel kultuurheinamaade rajamiseks ei tohiks kuivendusvõrgu harvendamisega üle 20% minna.

Heinamaana kasutamisel ei vaja gleimullad kuivendamist, kui nad asuvad väiksemate (0,5...1,0 ha suuruste) lappidena soomuldade või turvastunud muldade massiivides ja kui ümbrus heinamaaks kuivendatakse. Väiksemate lappidena gleistumata profiiliga või gleistunud muldade massiivides asudes vajavad gleimullad ka heinamaadena kasutamisel kuivendamist.

Metsana kasutamisel ei vaja gleimullad praktiliselt kuivendamist, õigemini, nende kuivendamine ei ole ökonoomne, sest neil kasvavad ka ilma kuivendamiseta keskmise ja üle keskmise boniteediga puistud ja kuivendamise tagajärjel saadav puidu juurdekasvu suurenemine on üsna tagasihoidlik.

Peale drenaaži või kraavituse tuleb gleimuldadel, eriti Lääne-Eestis, tasasest reljeefist ja raske lõimisega lähtekivimist tingitult kasutada veerežiimi reguleerimiseks ka *agromelioratiivseid võtteid*. Sellisteks võteteks on esmajoones pinna profileerimine ja vesivagude ajamine pinnavee ärajuhtimiseks.

Teistest maaparandusvõtetest vajavad kamar-leet-gleimullad ning mõnikord ka leetunud kamar-gleimullad ja küllastumata kamar-gleimullad lupjamist. Leetunud kamar-gleimuldade ja küllastumata kamar-gleimuldade lupjamisel piisab vähendatud annustest.

Vastava intensiivsusega kuivendatuna sobivad gleistunud ja gleimullad kasutada kõikide kõlvikutena juhul, kui reljeefist tulenevad mikroklimaatilised tingimused (ja pinnavee kogunemise oht) ei piira kultuuride valikut. Põllumajanduslikuks kasutamiseks on perspektiivsemad gleimullad settelistel saviliivadel ja liivsavidel. Tugevasti rähksel moreenil ja kruusadel kujunenud gleistunud ja gleimullad võivad pärast kuivendamist põuakartlikuks osutuda.

5. ALALISELT LIIGNIISKED (TURVASTUNUD) MULLAD

Turvastunud mullad on oma omadustelt mineraalmuldade ja soomuldade vahepealsed. Looduslikus seisundis on nad praktiliselt alaliselt liigniisked. Liigniiskuse põhjused väljenduvad mõningal määral ka mulla omadustes; kõrgest põhjaveest põhjustatud liigniiskuse puhul on turvastunud mullad enamasti küllastunud, ent sademete- ja mineraalainetevaesest pinnaveest põhjustatud liigniiskuse puhul on turvastunud mullad enamasti küllastumata. Kuivendamist vajavad turvastunud mullad mis tahes põllumajandusliku kõlvikuna kasutamise korral. Metsana kasutamisel võib liigestatud reljeefiga aladel gleistunud turvastunud ja kõdumuldade puhul valikkuivendusega läbi saada.

Oma omadustelt sobivad turvastunud mullad peamiselt rohumaadeks — heinamaaks või karjamaaks. Paremaid tulemusi saadakse turvastunud kergete liivsavi- ja saviliivmuldade kultuuristamisel, sest turvastunud liivmullad on tavaliselt toitainetevaesed. Turvastunud glei-leetmullad on soovitatav metsa alla jätta, sest need vajavad rahuldavate saakide saamiseks peale kuivendamise veel tugevat väetamist ja lupjamist.

6. ÜLEUJUTATAVAD MULLAD

Üleujutatavate muldadena esinevad Eesti NSV-s alluviaalmullad. Samas rühmas on käsitletud ka deluviaalmuldasid, sest mõned deluviaalmuldade erimid (turvastunud deluviaalmullad) sarnanevad oma omadustelt alluviaalmuldadega (üleujutus, naaberaladelt pealekantud setete akumulatsioon).

Alluviaalmullad kujunevad jõe-, väiksemal määral ka mere- ja järveäärsetel aladel. Neile on iseloomulikud: a) korduvad üleujutused ja b) üleujutusvee poolt kaasatoodud setete akumulatsioon (alluviaalsus).

Olenevalt üleujutuse kestusest jagunevad jõeluhad:

a) lühiaegse üleujutusega luhtadeks (kuni 15 päeva),
b) keskmise „ „ (15...30 „) ja
c) pikemaaegse „ „ (üle 30 „).

Üleujutuse kestus ja veega kaasatoodud setete hulk olenevad paljudest teguritest. Tähtsamad neist on jõe vesikonna reljeef, metsasus, mulla lõimis jt. Kestvamaid üleujutusi esineb jõgede suudmealadel, samuti luhtades harujõgede suubumise kohal, kui jõe suurvesi paisutab harujõgede vett. Tulvaveega kaasatoodud uhtmed on seda väärtuslikumad, mida suurem osa jõe vesikonnast on põldude all. Metsaga kaetud aladelt saabuv vesi on uhtmete- ja toitainetevaene ega suuda üleujutatavaid alasid uhtmetega oluliselt rikastada. Nii on näiteks Saku ja Teenuse jõe keskjooksul jõega piir-

nevates madalsoodes turba tuhasus madalavõitu (ca 8...10%), vaatamata sellele, et jõgi selle maa-ala igal aastal üle ujutab.

Et tulvavee voolu kiirus ei ole kogu üleujutatava ala ulatuses ühtlane, kogunevad ka lammi eri osadele erineva mehaanilise koostisega setted. Jõesängi vahetus läheduses, samuti lammi kitsamates kohtades, kus voolu kiirus on suurem, setivad suurema läbimõõduga uhtmed ning seal kujunevad suhteliselt liivakamad lammimullad. Jõesängist kaugemal, s. o. kohtades, kus voolu kiirus on väiksem, setivad väiksema läbimõõduga uhtmed, mistõttu neile aladele kujunevad savikamad lammimullad.

Uhtmete poolest rikkam on liigestatud reljeefiga aladelt saabuv tulvavesi. Seetõttu on Lõuna-Eestis juba suhteliselt väikeste ojade lammialadel tüsedad alluviaalsed setted. Tüsedaid peeneteralisi alluviaalseid setteid leidub ulatuslikumalt ka Kasari jõe lammil.

Tulvavesi on hapnikurikas (sisaldab umbes kaks korda rohkem hapnikku kui jõevesi madalseisu ajal). Selle tõttu on üleujutatud mullad hapnikurikkamad kui naabruses asuvad põhjaveega küllastatud mullad.

Üleujutused lühendavad mõnevõrra vegetatsiooniperioodi, kuid loovad soodsad tingimused rohttaimede arenemiseks pärast suurvee alanemist (väetamine, mulla rikastamine hapnikuga).

Tulvavee suurema hapnikusisalduse tõttu talub suur osa rohttaimi lühemaaegseid üleujutusi kohtades, kuhu vesi ei jää seisma. Sellisteks aladeks on jõekäärudes olevad teralise lammi alad. Tulvaveega kaasatoodud uhtmetega väetamise tagajärjel on teralistel lammidel kujunenud Eesti NSV saagirikkamad looduslikud rohumaad (20...30 ts kuivheina hektarilt), kusjuures kamaras domineerivad väärtuslikud heintaimed (aas-rebasesaba, harilik aruhein ja paelrohi).

Kohtades, kuhu tulvavesi *jääb seisma pikemaks ajaks* ja kus põhjavesi pidevalt kõrgel seisab, kaovad looduslikust kamarast väärtuslikumad heintaimed ja tekivad tarnaluhad (mätastarn, luhatarn ja sale tarn). Tarnaluhtade saagikus on 6...15 ts kuivheina hektarilt. Veel vesisematel aladel levivad väikese saagiga tarnaluhad (pudeltarn jt.).

Lammimuldade *veerežiimi reguleerimine* on seotud jõe reguleerimisega.

Teralised lammi-kamarmullad ei vaja rohumaadena kasutamisel kuivendamist, üksikjuhtudel on kraave vaja vee ärajuhtimiseks teraliste lammimuldade alal leiduvatest lohkudest (vanadest jõesängi kooludest).

Lammi-kamar-gleimullad vajavad kuivendamist, kusjuures karjamaana kasutamisel piisab 10...15% võrra ja heinamaana kasutamisel 15...20% võrra harvendatud võrguga kuivendamisest. Soostunud mudajad lammimullad ja lammi-madalsoomullad vajavad lauskuivendust.

Lammimuldadega alasid on otstarbekohaseim heinamaana kasutada. Karjamaana kasutamist raskendab asjaolu, et sageli ei ole lammialasid võimalik drenaažiga kuivendada, tihedalt kraavitatud maid on aga tülikas karjamaana kasutada.

Kultuurrohumaad on teralistele lammi-kamarmuldadele otstarbekohane rajada pealtparanduse teel. Turvastunud (mudajatele) lammimuldadele ja lammi-madalsoomuldadele on kultuurheinamaad võimalik rajada ainult põhjaliku paranduse teel. Seejuures vajab maa tugevasti mätastunud aladel enne kündi tasandamist mätaste maharullimise või freesimise teel. Neil aladel levivad peamiselt lagedad mätastarna ja luhatarna koosluseg a niidud, mis võimaldab edukalt mullafreesiga mättaid hävitada.

Kultuurrohumaade rajamisel lammimuldadele tuleb eelvilju kasvatada võimalikult lühikest aega (vajaduse korral ainult 1 aasta). Kui pind on tasane, ei ole eelkultuuride kasvatamine üldse vajalik ega soovitatavgi,

eriti kui jõe vesikonnas, kust tulvavesi pärineb, on palju põldusid, sest põldudelt pärinev tulvavesi toob endaga kaasa palju umbrohtude seemneid. Umbrohtunud lammimulda on hiljem raske heinaseemnega seemendada.

Deluviaalmullad kujunevad pinda mööda valguva vee poolt kaasatoodud setete akumulatsiooni tingimustes. Gleistunud kamar-deluviaalmullad on lühemat aega ajutiselt liigniisked, glei-kamar-deluviaalmullad pikemat aega ja turvastunud deluviaalmullad alaliselt liigniisked.

Deluviaalmuldade kuivendamisel on otstarbekohane kasutada drenaaži, sest kraavituse puhul esineb mitmesuguseid raskusi: liigestatud reljeefiga maastikus ei ole võimalik kraave nii paigutada, et kraavide vahele jääksid korrapärase kujuga väljakud; samuti ummistuvad kraavid kergesti deluviaalsetetega. Deluviaalmuldades võib drenaaži asetada 10 . . . 15 cm madalamale kui tavaliselt.

Pealevalguva vee poolt põhjustatava üleujutusohu tõttu on glei- ja turvastunud deluviaalmuldasid otstarbekam r o h u m a a d e n a k a s u t a d a; samal põhjusel kuivendatakse turvastunud deluviaalmuldasid 10% . . . 20% tihedama võrguga.

§ 2-7. SOODE JA SOOMULDADE ISELOOMUSTUS

1. SOO MÕISTE, SOODE TEKKIMINE

Maaparanduse seisukohalt mõistetakse soode all liigniiskeid maa-alasid, kus vähemalt 30 cm tüseduse pealmise pinnasekihi moodustab turvas.* Turbaks nimetatakse soostumisele spetsiifilistes lagundumistingimustes ladestunud orgaanilist massi, mille mineraalainete sisaldus on alla 50%.

Soode osatähtsus Eesti NSV territooriumil on küllaltki suur. Kaasa arvatud ka väiksemad (1 . . . 100 ha suurused) sood, mis kuuluvad maaparandajate tegevussfääri, on soode all Eesti NSV territooriumist üle 20%.

Soo on tekkinud: a) veekogude kinnikasvamise teel (arvult enamik Eesti NSV soodest) ja b) mineraalmaa soostumise teel.

Veekogude kinnikasvamise teel tekkinud soode tunnuseks on sapropeeli (järvemuda) esinemine turbalasundi põhjas.

Sapropeel tekib vees leiduvate ainete ja surnud organismide põhja settimise teel. Olenevalt orgaanilise aine sisaldusest jaguneb sapropeel: a) orgaanilise aine rikkaks ja b) orgaanilise aine vaeseks. Sapropeel laseb halvasti vett läbi, halvendades turba ja soo mineraalpõhja vahelist kontakti. Sapropeelikihi tüsedus on Eesti NSV turbalasundeis mitmesugune, ulatudes mõnekümnest sentimeetrist kuni 5 meetrini ja enamgi. (Tunnused sapropeelide määramiseks on toodud tab. 2—8.)

Mineraalmaade soostumise teel tekkinud soodes puudub sapropeel. Metsamaade soostumisel tekkinud soode turbakihi all olevas mineraalkihis võib täheldada leetkihi olemasolu.

Soode teket iseloomustab ka turbalasundi stratigraafia.

---

* Antud määranguga on püütud kokku viia soo mõistet mullateaduses kasutatava soomuldade levikuala mõistega, mille kohaselt soomuldadeks loetakse kõiki muldi, milles turbahorisondi tüsedus on üle 30 cm. Alla 30 cm tüseduse turbahorisondiga muldi loetakse soostunud mineraalmuldade hulka. Sooteadusealases kirjanduses nimetatakse 1934. aasta Üleliidulise Sookatastri konverentsi määrangu järgi soodeks liigniisket maad, mille pealispind on kuivendamata olekus kaetud vähemalt 30 cm ja kuivendatud olekus vähemalt 20 cm paksuse turbakihiga, milles mineraalainete sisaldus on alla 50%.

Vastavate uurimiste andmeil on turba vajumine soode kuivendamisel umbes 10 . . .30% turbalasundi tüsedusest, mille kohaselt 30 cm tüseduse turbakihiga sood vajuvad kuivendamisel 3 . . . 10 cm. Kui käsitada sood sookatastri määrangu järgi, suureneks seega kuivendamise tulemusena mõnel juhul soo pindala, mis ei ole loogiline.

2. SOODE ÜLDLIIGITUS

Soid liigitatakse väga mitmesuguste põhimõtete ja tunnuste järgi. Lihtsaim ja levinuim on soode jaotamine: a) madalsoodeks, b) siirdesoodeks ja c) rabadeks, missugused jaotused kujutavad endast õieti soode arenemise eri staadiume.

Madalsoodeks nimetatakse soid, milles turbakihi või vähemalt selle 30 cm paksuse pealmise osa moodustab toitaineterikkale keskkonnale iseloomulik (eutroofne) turvas. Looduslike madalsoode taimkattes domineerivad madalsooturvast moodustavad taimerühmad, nagu enamik tarnu, pilliroog ja teised kõrrelised, osjad, eutroofsed samblad (enamikus lehtsamblad), puudest sanglepp, kuusk ja kask.

Madalsood asetsevad nõgudes, üleujutatavatel lammidel, nõlvakute alumisel osal ja jalamil ning järvenõgudes, s. o. kohtades, kus esineb üleujutusi, põhjavee kõrget seisu või põhjavee väljakiildumist.

Kultuurpindade rajamiseks on madalsood soodest kõige sobivamad.

Rabadeks ehk **kõrgsoodeks** nimetatakse soid, milles vähemalt 30 cm paksuse pealmise turbakihi moodustab toitainetevaesele keskkonnale iseloomulik (oligotroofne) turvas. Looduslike alade taimkattes esinevad rabaturvast moodustavad taimed, nagu enamik sfagnumsamblaid, rohttaimedest tupp-villpea, kanarbikulised (kanarbik ja sookail) ja puudest mänd.

Rabad tekivad soo arenemise protsessis, kui turbalasund kasvab niivõrd paksuks, et toitaineterikas põhjavesi ei ulatu enam turbalasundi pealmisse kihti. Ilma eelneva madalsoostaadiumita tekivad rabad aladele, mis toituvad otseselt sademetest.

Kultuurpindade rajamiseks ja ka metsamaaks on rabad sobimatud.

Siirdesoodeks nimetatakse soid, mis on oma omadustelt kahe eeltoodu vahepealsed. Taimkattes on esindatud nii rabataimed (mätastel) kui ka madalsootaimed (mätaste vahel). Tarnadest kasvavad siirdesoodes vähenõudlikumad liigid, nagu mudatarn, niitjas tarn ja mõned teised. Rohkesti esineb kanarbikulisi (sookail, sinikas jt.).

Siirdesoodele on iseloomulik keskmise toitainete sisaldusega (mesotroofse) turba esinemine turbakihis, vähemalt selle pealmises osas.

Eesti NSV soodest moodustavad A. Truu andmeil madalsood 54,6%, siirdesood 8,8% ja rabad 36,6%.

3. TÄHTSAMATE MADALSOODE LIIGITUS

(H. Trassi järgi)

Tabel 2-1

Veerežiim	Sooliik	Valitsevaid ja iseloomulikke taimeliike	Viljelusväärtus**
a) Enam-vähem püsiv kõrge põhjaveetase, toitesoolade sisaldus kõrge —	Lubika-madalsoo	Lubikas, pääsusilm	
pärismadalsood	Liigirikas tarna-madalsoo	Ääristarn, raudtarn, padutarn, laialehine villpea, hirsstarn, harilik tarn, kollane tarn	5/5 4/4 4/5
(sageli põõsastunud — põõsassood)	Sepsika-madalsoo	Roostepruun sepsikas, harilik võipätakas, lemmelill, hiilakas, porss	5/4
	Pilliroo-madalsoo	Pilliroog, niittarn, konnaosi	4/2

Tabel 2-1 (järg)

Veerežiim	Sooliik	Valitsevaid ja iseloomulikke taimeliike	Viljelusväärtus**
	Liigivaene tarna-madalsoo	Niittarn, luhatarn, sale tarn, eristarn, ümar tarn	3/4
	Sinihelmika-madalsoo *	Sinihelmikas, sootulikas	4/4
b) Aasta jooksul muutuv veerežiim (üleujutused), toitesoolade sisaldus keskmine kuni kõrge — luhasood	Tarna-luhasoo	Luhatarn, sale tarn, põistarn, kallastarn, mätastarn, konnaosi	4/3
	Kastevarre-luhasoo *	Luha-kastevars, roomav tulikas	4/4
c) Survelise põhjaveega toituvad sood, toitesoolade sisaldus keskmine kuni kõrge — allikasood	Tarna-allikasoo	Raudtarn, kahekojaline tarn, mätastarn	4/4
d) Liikuv kõrgeseisuline põhjavesi, toitesoolade sisaldus madal kuni keskmine — õõtsiksood	Sepsika-õõtsiksoo	Roostepruun sepsikas, pikaleheline huulhein	4/3
	Tarna-õõtsiksoo	Niittarn, ümartarn, ubaleht, soopihl	3/2

4. RABADE EHK KÕRGSOODE LIIGITUS
(V. Masingu järgi)

Tabel 2-2

Raba iseloomustus		Lagerabad (puudeta või ainult põõsasjate mändidega)	Puisrabad (üksikute puudega või puude gruppidega)	Viljelusväärtus**
Turbakihi paksus alla 1 m Mikroreljeef tasane või nõrgalt mätlik		Nõmmrabad		
		Lage nõmmraba, esineb harva***	Puisnõmmraba, esineb harva***	1/2
Turbakihi paksus vähemalt 1 m (enamasti üle 2 m)	Vähekomplekssed rabatüübid. Mikroreljeef mätlik, harvem tasane, älved ja laukad puuduvad	Valitseb rohurinne (peamiselt tupp-villpea)	Rohuraba (villpearaba)	—	1/1
		Valitseb puhmarinne (kanarbikulistest)	Puhmarabad		
			Lage puhmaraba (kanarbikurabad), osalt***	Puis-puhmaraba (älvedeta puisraba, männipuisraba), osalt***	1/1

* Sekundaarsed, kuivendamise tagajärjel kujunenud sootüübid.

** Viljelusväärtus on antud murruna: lugejas põllumajanduslikul, nimetajas metsamajanduslikul kasutusel (viiepallise skaala järgi). Arvude tähendus: 5 — kõige parem, 1 — kõige halvem.

*** Esinevad Eesti NSV tingimustes sekundaarsetena (tekistüüpidena), põlemise või raie tagajärjel tekkinutena. Sulgudes on toodud tüübinimede tavalisemad sünonüümid.

Tabel 2-2 (järg)

Raba iseloomustus			Lagerabad (puudeta või ainult põõsastega mändidega)	Puisrabad (üksikute puudega või puude gruppidega)	Viljelusväärtus
Turbakihi paksus vähemalt 1 m (enamasti üle 2 m)	Kompleksed rabatüübid. Mikroreljeef tugevasti liigestatud, esinevad älved ja laukad	Vahelduvad älved ja mättad või mätaspeenrad	Älverabad: Lage älveraba (älveline lageraba)	Puisälveraba (älveline puisraba)	1/1
		Vahelduvad älved, laukad ja mätlikud alad	Laukarabad: Lage laukaraba (laukaline lageraba)	Puislaukaraba (laukaline puisraba)	1/1

5. PUISSOODE JA SOOMETSADE LIIGITUS

(A. Karu ja A. Ilvese järgi)

Tabel 2-3

Kasvukohatüüp	Turbakihi paksus	Puissood (puud üksikult või grupiti, täius kuni 0,3)	Soometsad ehk metsasood (kuivendamata, looduslikult uuendunud, täius üle 0,4)		Kuivendatud soometsad (tekistüübid, looduslikult uuendunud või kultiveeritud, täius üle 0,5)
Lodu	alla 1 m	Kuuselodu (4/4—5)	Lodukuusik (Ku, Lm, Ks+Mä), III ... IV bon.		
		Lepalodu (5/5)	Lodu, (sang-), lepik (Lm, Ku, Ks+Sa), II ... III bon.		Kuivendatud lodukaasik, I ... II bon.
		Kaselodu (4/4)	Lodukaasik (Ks, Lm+Ku), III ... IV bon.		Kuivendatud lodukuusik, I ... II bon.
Madalsoo	üle 1 m	Kase-madalsoo (3/3—4)	Madalsookaasik (Ks+Lm), IV ... V bon.		Kuivendatud sookuusik, I ... III bon. Kuivendatud sookaasik, I ... III bon.
Siirdesoo	üle 1 m	Männi-siirdesoo (2/3)	Siirdesoomännik (Mä, Ks), V bon.	Metsana esinevad harva, puistu tiheneb enamasti alles kuivendamise mõjul	Kuivendatud (siirde-) sookuusik (padukuusik), II ... III bon. Kuivendatud (siirde-) sookaasik (padukaasik), II ... IV bon. Kuivendatud (siirde-) soomännik (padumännik), II ... III bon.
		Kase-siirdesoo (2/3)	Siirdesookaasik (Ks+Lm), IV ... V bon.		

Tabel 2-3 (järg)

Kasvukohatüüp	Turbakihi paksus	Puissood (puud üksikult või grupiti, täius kuni 0,3)	Soometsad ehk metsasood (kuivendamata, looduslikult uuendunud, täius üle 0,4)	Kuivendatud soometsad (tekistüübid, looduslikult uuendunud või kultiveeritud, täius üle 0,5)
Raba	üle 0,5 m alla 1 m alla 0,5 m	Puisrabad (1/1—2) (Vt. «Raba- ehk kõrgsootüüpide liigitus»)	Rabamännikud (Mä+Ks): a) mustikarabamännik, III ... IV bon. b) nõmmrabamännik (kanarbiku-rabamännik), Va bon. c) sookailu-rabamännik, V ... Va bon.	Kuivendatud rabamännik, III ... IV bon. Kuivendatud rabakaasik, IV ... V bon.

Märkus. Puistu liigiline koostis on näidatud lühenditena sulgudes: Ku — kuusk, Lm — sanglepp, Ks — sookask, Hb — haab, Mä — mänd ja Sa — saar. Rooma numbritega on märgitud boniteet. Puissoode kohta on sulgudes näidatud soode viljelusväärtus murruna — lugejas põllumajanduslikul kasutamisel, nimetajas metsamajanduslikul kasutamisel.

6. TURBA BOTAANILINE KOOSTIS JA TURBALIIK

Turba botaanilise koostise all mõistetakse turbas esinevate taimejäänuste liigilist vahekorda. Turba botaanilisest koostisest sõltuvad suurel määral soomulla meliratiivsed ja taimekasvatuslikud omadused, turba veeläbilaskvus, soomulla põllu- ja metsamajanduslik viljelusväärtus jne.

Enam-vähem ühesuguse botaanilise koostisega turbaid, mille suhteliselt sarnased füüsikalised ja keemilised omadused näitavad ühiseid tekketingimusi, nimetatakse turbaliikideks (näiteks tarnaturvas, pillirooturvas jne.). Lähedaste omadustega turbaliike käsitletakse enamasti koos, ühise grupina. Nii kuulub näiteks pillirooturvas ja tarnaturvas rohuturvaste, lehtsamblaturvas ja sfagnumsamblaturvas samblaturvaste, männi-, kase-, lepa-, kuuse- jt. puude turvas puuturvaste gruppi, rohttaimede ja sammalde jäänustest koosnevad turbad kuuluvad rohu-samblaturvaste gruppi jne.

Kõige suuremaks ühikuks turvaste süstemaatikas on turbatüüp. Turbatüüpe eristatakse kolm: a) madalsooturvas, b) siirdesooturvas ja c) rabaturvas.

Tabel 2-4

Turbatüüpide eristamise alused

Turbatüübi nimetus	Madalsootaimede jäänuseid	Rabataimede jäänuseid
Madalsooturvas	95% või enam	kuni 5%
Siirdesooturvas	10 ... 90%	90 ... 10%
Rabaturvas	kuni 5%	95% või enam

Tabel 2-5

Turbagruppide eristamise alused

Turbagrupi nimetus	Puujäänuseid %	Rohttaimede jäänuseid %	Sammalde jäänuseid %
Puuturbad	üle 40	kuni 60	
Rohuturbad	kuni 10	üle 60	kuni 30
Samblaturbad	kuni 10	kuni 20	üle 70
Puu-rohuturbad	15 . . . 35	Sammalde jäänustest enam	Rohttaimede jäänustest vähem
Puu-samblaturbad	15 . . . 35	Sammalde jäänustest vähem	Rohttaimede jäänustest enam
Rohu-samblaturbad	kuni 10	Sammalde jäänustest enam	Rohttaimede jäänustest vähem
Puu-rohu-samblaturbad	15 . . . 20	Rohttaimede ja sammalde jäänuseid on peaaegu võrdselt	

Turbaliigi määramine. Turbaliikide määramisel on aluseks erineva botaanilise koostisega turvastele iseloomulikud otsesed ja kaudsed tunnused.

Otsesteks tunnusteks turbaliigi määramisel on turbas säilinud taimefragmendid, mille järgi määratakse turvast moodustavad taimerühmad.

Kaudseteks tunnusteks on turba värvus, lagundumisaste, struktuur, asukoht turbalasundis ja mõnel turbaliigil ka lõhn.

Tegelikul määramisel on otstarbekohane kasutada nii otseste kui ka kaudsete tunnuste kompleksi.

Turbaliikide määramine nõuab küllaltki suurt vilumust. Mõne turbaliigi (näiteks siirdesooturvaste) määramine makroskoopiliste tunnuste järgi on ka vilunud inimesele raske. Välimääramiste kontrollimiseks kasutatakse sel puhul laboratoorseid meetodeid. Laboratooriumis määratakse turbaliik turbas säilinud taimeosade mikroskoopilise uurimisega.

Tunnused turbaliikide määramiseks välitöödel on toodud tabelis 2-7.

Turbaliike nimetatakse nende taimede nimedega, mille jäänustest turbad on tekkinud. Et turbas leidub sageli paljude taimede jäänuseid, kujunevad turbaliikide nimetused küllaltki pikaks. Seepärast kasutatakse soode uurimisel turvaste märkimiseks leppemärke (mis on õieti turbaliikide rahvusvaheliste nimetuste lühendid).

Tabel 2-6

Leppemärke tähtsamate turbaliikide märkimiseks

Turbaliigi nimetus		Leppemärk turbaliigi märkimiseks
eestikeelne	rahvusvaheline	
Sfagnumiturvas	*Sphagnetum*	*S*
Lehtsamblaturvas	*Hypnetum*	*H*
Tarnaturvas	*Caricetum*	*C*
Pillirooturvas	*Phragmitetum*	*Phr*
Villpeaturvas	*Eriophoretum*	*Er*
Puuturvas	*Lignetum*	*L*

Mitmest taimerühmast koosneva turba märkimiseks kasutatakse mitme lühendi kombinatsiooni, milles põhilise taimerühma nimetus asetatakse viimasele kohale, lisandrühmade nimetused sellest ettepoole. Lühendis näidatakse ära kõige enam kolm taimerühma. Nii oleks lehtsambla-tarna-pillirooturba tingmärgiks *HCPhr* (*Hypneto-Cariceto-Phragmitetum*). Kui turvas koosneb taimerühmadest, mis võivad olla nii madalsoo-, siirdesoo- kui ka rabaturba moodustajaks (männi-siirdesooturvas, männi-rabaturvas),

7. TUNNUSEID TÄHTSAMATE TURBALIIKIDE MÄÄRAMISEKS

Tabel 2-7

(Ruumi kokkuhoiu mõttes on tabelist välja jäetud harva esinevad turbaliigid, nagu madalsoo-männiturvas, madalsoo-sfagnumiturvas jt.)

Turbagrupp	Üldiseloomustus	Turbaliik	Tunnused välimääramiseks: otsesed: Nähtavate taimeosade iseloomustus	Tunnused välimääramiseks: kaudsed: Värvus, lagundumisaste, struktuur, lasumistingimused jt.
1	2	3	4	5
		I tüüp — Madalsooturbad		
Puuturbad	Metsaturvaste lagundumisaste on tavaliselt üle keskmise (40...65, harvem kuni 70%). Muredad, mustjad, mõnikord pruuni värvusega	Lepaturvas	Nähtavaid taimejäänuseid peaaegu ei ole, mõnikord leidub punakaspruune, näppude vahel kergesti muljutavaid püütükikesi	Punakaspruun, tavaliselt tänu heale lagundumisastmele väga määriv (50...70% lagundunud)
		Kaseturvas	Turbas palju selgesti nähtavaid valgeid kasekoore- ja puutükikesi	Tumepruun, peaaegu must. Lagundumisaste 40% ja enam
		Kuuseturvas	Nähtavad küllalt hästi säilinud kuusepuidu tükid ja kõvad, näpuga raskesti puruks muljutavad, punaka varjundiga kooretükid	Tumepruun. Lagundumisaste enamasti 35...45%
Puurohuturbad	Metsaturvastest mõnevõrra madalama lagundumisastmega (30...34%). Seetõttu maskeerib amorfne mass vähem säilinud puutükikesi, mis on tavaliselt tunduvalt kõvemad kui metsaturvastel	Puu-tarnaturvas	Hästi näha valged kasekoore tükikesed, mis on põimitud heledate hallikate või pruunikate tarnajuurtega	Tumehall kuni tumepruun või must
		Puu-pilliroo-turvas	Muljumisel kõvana tunduvate puutükikeste kõrval selgesti eristatavad hallikad tarnajuured ja rohekad pilliroojuured, sageli leidub ka jämedaid pilliroojuurte ja rohekaskollakaid pillirooepidermise tükke	Esineb üleujutatavate soode lasundeis alumise kihina, samuti järvesetteil paikneva lasundi alumise kihina
Puusamblaturbad		Puulehtsamblaturvas	Puutükikeste ja tarnajuuretükikeste kõrval on märgata pronkspruune lehtsammalde varretükke	Värvuselt sarnaneb puutarnaturbaga
Rohuturbad	Tavaliselt kuni keskmiselt lagundunud (25...35%), vähe (5...20%) lagundununa on kiulise struktuuriga. Turbakiudude põhimassi moodustavad rohttaime-	Osjaturvas	Esineb rikkalikult musti läikivaid osjavõsundite tükke ja musti kooretükke	Tumepruun kuni must. Enamasti hästi lagundunud. Lasundis esineb põhjakihis ja järvesettekihtidel
		Pilliroo-turvas	Hästi määratav rohekate lapikute pilliroojuurte ja heleroheliste juureepidermise fragmentide	Tumehall. Teistest rohuturvastest mõnevõrra paremini lagundunud.

Tabel 2-7 (järg)

1	2	3	4	5
	de juurekesed või leht- ja sfagnumsammalde lehed ja varred		esinemise järgi. Halvasti lagundunud pillirooturbas leidub jämedaid, õõnsaid pilliroojuurikaid	Sageli vääveivesiniku lõhnaga
		Pilliroo-tarna-turvas	Pillirooturbast erineb tunduva heledate tarnajuurekeste jäänuste sisalduse tõttu	Luhasoode lasundeis, samuti sapropeelidel
		Ubaleheturvas	Teistest rohuturvastest kergesti eristatav läikivate võsundi-epidermise fragmentide ja läikivate punakaskollaste ümmarguste ubaleheseemnete sisalduse tõttu	Helehall. Leidub õhemate kihtidena madalsoolasundeis
		Madal-soo-tarna-turvas	Kergesti eristatav hallide ja valkjate juurekeste järgi. Koostiselt ühtlane	Kiulise struktuuriga. Hall, õhu käes kiiresti hapenduv, mille tõttu lagundumisaste tundub olevat tegelikust kõrgem. Lasundi põhjast võetud tarnaturba värv on hele-roostepruun, õhu käes muutub kiiresti tumehalliks
Rohu-samblaturbad		Tarna-leht-samblaturvas	Tarnajuurekeste massi kõrval leidub turbas ka pronksivärvilisi lehtsamblavarrekesi ja -lehekesi	Hallikaspruun
		Madal-soo-tarna-sfagnumi-turvas	Sama. Lehtsamblafragmentide asemel leidub turbas sfagnumsammalde varretükikesi	Helehall
Samblaturbad		Leht-samblaturvas	Lehtsammalde fragmendid lehtede ja peenikeste, pruunide, leheasemete jälgedega varretükikeste näol selgesti tuntavad. Sageli on varretükikeste küljes leheosasid	Lasundi sügavamatest kihtidest väljavõtmisel on pronksivärvi, õhu käes muutub kiiresti tumehalliks kuni peaaegu mustaks. Madala lagundumisastme tõttu kergesti määratav
		II tüüp — Siirdesooturbad		
Puuturbad	Siirdesooturbaid leidub turbalasundeis õhema kihina madalsoo- ja rabaturvaste vahel, harvem	Siirdesoo-puu-turvas	Struktuuri säilitanud jäänustel näha valkjaid kasekoore tükke ja pruune männikoore tükke	Turba lagundumisaste kõrge. Tumeda värvusega, väga elastne ja massilt homogeenne

Tabel 2-7 (järg)

1	2	3	4	5
	iseseisva lasundina. Makroskoopiliste tunnuste abil otseselt raske määrata, enamasti juhtudel saab eristada ainult kaudsete tunnuste abil. Peaaegu alati on vajalik mikroskoopiline kontroll	Siirdesoo-tarnaturvas	Eristatavad tarnajuurekesed, puutükikesed ja sfagnumsammalde fragmendid	Väliselt sarnane madalsoo-tarnasfagnumiturbaga. Tehakse kindlaks lasuvuse järgi — tavaliselt paikneb madalsoo- ja rabaturba vahel
		Siirdesoo-rabaka-turvas	Väga selgelt eristatav rabaka epidermise ja läikivate lüliliste juurikate esinemise tõttu	Värvuselt siirdesoo-tarnaturbast heledam. Moodustab lasundeid rabade äärtel vesistel aladel
		III tüüp — Rabaturbad		
Puuturbad	Rabaturbad erinevad madalsooturvastest värvuselt ja struktuurilt. Vähe lagundunud rabaturbad (sfagnumiturbad) on harilikult kollased või kollakaspruunid ning õlgja struktuuriga. Hästi lagundunud rabaturbad on värvuselt tumepruunid, väga plastilised, pigistamisel seebitaoliselt libedad	Rabamännikoore-turvas	Taimejäänustest hästi märgatavad punakad männikoore- ja puutükid	Värvuselt tumepruun, plastiline, tugevasti määriv mass. Tavaliselt hästi lagundunud. Tekib männipuhmasrabas ja rabade äärealadel
Puu-rohu-turbad		Männi-villpea-turvas	Murdekohal selgesti näha villpea jõhvjad niidid ja männikoore punakad tükid	Tumepruun, plastiline. Männi-villpeaturvast leidub turbalasundeis õhukeste vahekihtidena, õhukeste rabalasundite põhjas või piirhorisondis
Puu-samb-laturbad		Männi-sfagnumi-turvas	Peale männipuidu jäänuste turbas ka sfagnumsammalde varrefragmente	Eelmistest madalama lagundumisastmega (35...45%)
Rohu-turbad		Villpea-turvas	Murdepinnal hästi näha villpea jõhvjaid jäänuseid, mis kohati moodustavad puntra	Värvuselt tumepruun. Lagundumisaste tavaliselt kõrgem (40...60%). Lasundeis õhukeste kihtidena
		Rabaka-turvas	Tavaliselt hästi näha rabaka jämedad võsundid, millel on hästi säilinud sõlmed ja peenikesed läikivad varretükid	Lasundist võttes oliivrohelise tooniga, tumeneb suhteliselt kiiresti pruuniks. Kiuline. Humifitseerunud mass rasvaläikega
Rohu-samb-laturbad		Villpea-sfagnumi-turvas	Koosneb selgesti nähtavaist sfagnumsammalde vartest, mille vahel villpeakiudude kihid	Värvuselt helepruun. Tavaliselt vähem lagundunud kui villpeaturvas. Lasundeis õhukeste vahekihtidena

Tabel 2-7 (järg)

1	2	3	4	5
Sambla-turbad		Rabaka-sfagnumi-turvas	Hästi märgatavate rabakavõsundite kõrval näha heledad haprad sfagnumsammalde varred	Värvuselt kollane kuni helepruun. Rabakaturbast, millel ta tavaliselt lasub, erineb madalama lagundumisastme poolest
		Mediumi-turvas	Selgesti märgatavad *Sph. medium*'i varte ja nende harude tükid, suurte katusekivitaoliselt asuvate lehtedega. Kiududes mõnevõrra villpead	Lagundumisaste 5...30%. Iseloomulik õlgjas struktuur
		Fuskumi-turvas	Koosneb punakas-pruunidest habrastest ligistunud harudega *Sph. fuscum*'i varretükkidest. Lisandina villpeakiude ja männikoore tükikesi	Lagundumisaste tavaliselt 5...25%, õlgjas struktuur. Värvuselt helekollane või helepruun. Piirhorisondi all lasuv fuskumturvas on tumepruun
		Sfagnumi-älves-turvas	Turbas kiud älvesammaldest, milles silma järgi kergesti eristatavad koredad varreosad	Värvuselt helepruun, õlgja struktuuriga. Tekib älve- ja laukarabas
		Rabakompleks-turvas	Turbas leida jämedaid *Sph. medium*'i, heledaid *Sph. cuspidatum*'i varrekesi ja peenikesi punakaspruune *Sph. fuscum*'i varrekesi	Helepruun, õlgja struktuuriga. Tekib älve- ja laukarabades

Märkus. Kanarbikuliste (*Ericaceae* — kanarbik, sookail, sinikas) fragmentidest moodustunud turvast nimetatakse puhmaturbaks (*Ericetum* — Ec). Puhmaturba osatähtsus üldises turbamassis on suhteliselt väike ja teda märgitakse ainult lisandliigina. Nii on rabaturvastest eraldatud näiteks puhma-sfagnumturvas. Puhmaturvas üksikuna esineb tavaliselt hästilagundununa ja teda on välimääramistel raske eraldada.

või mille ühed liigid on madalsooturba, teised siirdesooturba moodustajaks (madalsoo-tarnaturvas, siirdesoo-tarnaturvas), siis märgitakse soode uurimisel turbaliigi lühendi juurde vastavalt m, s või r. Näiteks märgitakse madalsoo-tarnaturvas mC, siirdesoo-tarnaturvas sC.

8. TUNNUSEID TURBALASUNDITE ALL OLEVATE ENAM ESINEVATE JÄRVESETETE (SAPROPEELIDE) MÄÄRAMISEKS

Tabel 2-8

Orgaanilise aine poolest rikkad sapropeelid		Orgaanilise aine poolest vaesed sapropeelid	
Sapropeeli-liik	Sapropeeli koostis ja iseloomulikud tunnused	Sapropeeli-liik	Sapropeeli koostis ja iseloomulikud tunnused
Peendetriitne sapropeel	Eriti sültjas, ei määri kätt. Koosneb peamiselt orgaanilisest massist, mis mikroskoobi all näib amorfsete helvestena. Mineraalset lisandit vähe. Värvuselt mitmesugune: rohekas, kollakas, roosakas	Liivakas sapropeel	Sisaldab silmaga nähtavas ja «sõrmeprooviga» kindlaksmääratavas ulatuses liiva. Mineraalosakeste läbimõõt >0,2 mm. Liivadest erineb suurema veesisalduse, murdepinnal selgesti ilmneva orgaanilise aine sisalduse ja roheka värvuse poolest. Viimane avaldub nõrgalt, kuid on märgatav
Jämedetriitne sapropeel	Sültjas struktuur mitte nii selge nagu eelmisel. Põhimassi moodustavad taimede, sammalde ja vetikate jäänused vähese mineraalse lisandiga. Värvuselt pruunikasroheline. Käsi ei määri	Sävikas sapropeel	Koosneb mudajast savist. Mineraalaineosakeste läbimõõt < 0,2 mm. Savidest erineb suurema veesisalduse, erakordse plastilisuse ja pehmusega, mille tõttu puur läbib sapropeelikihi kergelt. Orgaanilise aine sisaldus kergesti tuntav murdepinnal. Värvuselt harilikult hall või väävelraua sisalduse tõttu must
		Lubisapropeel	Iseloomulik suur lubjasisaldus, milles teatav hulk orgaanilist detriiti. Lubisapropeeli värvus oleneb orgaanilise aine sisaldusest. Värvus varieerub helehallist (orgaanilise aine poolest vaene) kuni tume-oliivroheliseni (orgaanilise aine poolest rikas). Lubisapropeelile on iseloomulik heledamate ja tumedamate kihikeste vaheldumine. «Keeb» soolhappega
		Järvemergel	Erineb eelmisest selle poolest, et ei sisalda peaaegu orgaanilist detriiti, värvuselt helehall. «Keeb» soolhappega
		Diatomiit	Välimuselt lubisapropeeli sarnane. Sisaldab palju ränivetikate kodasid, mis on kergesti määratavad mikroskoobi all. Kõrgema rauasisalduse puhul pruun. Ei «kee» soolhappega

9. TURBA LAGUNDUMISASTE

Turba lagundumisastme all mõistetakse lagundunud amorfse turbamassi osa kogu turbamassist %-des.

Turba lagundumisaste iseloomustab teataval määral soo viljelusväärtust, turba tehnilisi omadusi, turba veeläbilaskvust ja mutt-dreenide püsivust soomuldades. Seega on turba lagundumisaste oluline näitaja soode kuivendamisel kuivendusviisi valikul, kraavide vahekauguse, sügavuse ja nõlvuse valikul ning soopinna ettevalmistamiseks vajalike abinõude kind-

TRU Raamatukogu

laksmääramisel. Samuti aitab turba lagundumisaste määrata turbalasundi kasutamise perspektiive (kas alus- või kütteturba tootmiseks).

Olenevalt lagundumisastmest jaotatakse turbad põllumajandusliku kasutamise seisukohalt järgmiselt: lagundumisastmega kuni 20% — halvasti ehk vähe lagundunud, 25...50% — keskmiselt lagundunud ja üle 50% — hästi lagundunud turvas.*

Turba lagundumisastme kindlaksmääramiseks kasutatakse välitingimustes järgmisi tunnuseid:

a) turbaproovi pind lükatakse puurilusikas siledaks ja hinnatakse silma järgi, kui suure protsendi moodustab lagundunud amorfne mass kogu turbamassist;

b) turba värske murdepinna iseloom ja turba värvus;

c) vee eraldumine turbast turbaproovi pigistamisel ja eralduva vee värvus;

d) turbaproovi pigistamisel pihku jääva turba välimus;

e) turba elastsus ja määrivus proovi pigistamisel.

Tähtsamad tunnused turba lagundumisastme määramiseks on kokkuvõtlikult esitatud tabelis 2-9.

Tabel 2-9

Tunnuseid turba lagundumisastme määramiseks välitöödel

(V. Masingu ja H. Trassi järgi)

Lagundumisaste	Madalsooturbad			Rabaturbad		
	Lagundamata taimejäänuste osa (T) turbaproovis ja nende ilme	Turba ja väljapigistatud vee värvus	Muud tunnused	Lagundumata taimejäänuste osa (T) turbaproovis ja nende ilme	Turba ja väljapigistatud vee värvus	Muud tunnused
	Vähe lagundunud turvas					
10%	T 9/10; viltjas tarnajuurestik; näha lehtsammalde varsi ja lehekesi	Enamik turbaliike helehallid, vahel kahvatupruunikad, lehtsamblaturvas pronksjas, vesi hele, eraldub kergesti	Sõrmede vahel pigistades ei määri, on veidi vetruv	T üle 9/10; vähem kui 10% lagundunud turba puhul turbasamblad peaaegu muutumata (saab määrata liigini); 10% juures ilmnevad esimesed lagundumistunnused, lehekesed on eraldunud vartest, viimaste pikkus 1...3 cm	Turvas helekollakas kuni kollakaspruun, vesi hele, nõrgalt sogane, eraldub väga kergesti	Turvas viltjas, väga elastne, murdepind kare
20%	T 8/10... 9/10; turvas viltjas, tarnade ja lehtsammalde ning teiste turbamoodustajate (pilliroo-) jäänused hästi eristatavad	Turvas hall või pruunikas, vesi helepruun, veidi sogane, eraldub kergesti	Nagu 10% puhul	T 8/10...9/10, viltja turba sees on turbasambla- ja villpeajäänused hästi märgatavad, osalt varjatud peene humifitseerunud osaga	Turvas helepruun, vesi hele, veidi sogane, eraldub kergesti	15% lagundunud turvas tunduvalt elastne (vetruv); 20% lagundunud — nõrgalt elastne, ei määri

* I. Eisen on EMMTUI Tooma katsebaasis tehtud uurimiste andmeil teinud ettepaneku jaotada turbad lagundumisastme järgi ainult kaheks: halvasti ja hästi lagundunud turbad.

Tabel 2-9 (järg)

Lagundumisaste	Madalsooturbad			Rabaturbad		
	Lagundumata taimejäänuste osa (T) turbaproovis ja nende ilme	Turba ja väljapigistatud vee värvus	Muud tunnused	Lagundumata taimejäänuste osa (T) turbaproovis ja nende ilme	Turba ja väljapigistatud vee värvus	Muud tunnused
	Keskmiselt lagundunud turvas					
30%	T 7/10 ... 8/10; tarnajuurekesed tumedamas turbamassis kaunis hästi nähtavad, samblajäänused märgatavad vaid väga tähelepanelikul vaatlemisel	Turvas tume-pruunikashall; vesi sogane, hallikas või pruunikas, eraldub keskmisel pigistamisel	Sõrmede külge jääb veidi pruunni massi	T 7/10 ... 8/10; taimejäänused väikesed, aga selgesti märgatavad, esinevad turbasamblavarred (kuni 1 cm pikkused), tihti näha hästi säilinud villpeakiudusid ja -tuppesid	Turvas pruun, vesi heledamavärvilisem kui turvas, sogane, eraldub võrdlemisi kergesti	Turvas nõrgalt kleepuv ja mõnevõrra määriv, elastsust peaaegu pole
40%	T 6/10 ... 7/10; humifitseerunud osa varjab taimejäänuseid, neist näha puutükikesi, pilliroo-, osjade jt. juurekesi	Turvas tumehallikaspruun; vesi hall või pruun, eraldub raskesti	Määrib mõnevõrra sõrmi, vetruvust ei ole tunda	T 5/10 ... 7/10; taimejäänuseid (villpeakiude, puutükikesi) vähe näha	Turvas tumepruunikas, vesi kohvipruun, veidi tumedam kui turvas, tugevasti sogane, eraldub kergesti	Turvas kleepuv, määriv ja tunduvalt plastiline
50%	T 5/10 ... 6/10; taimejäänustest näha silmaga vaid puutükikesi	Turvas pruunikasmust, vesi tumehall või pruun, eraldub tugeval pigistamisel tilkadena	Turvast hakkab pigistamisel sõrmede vahelt läbi tulema, määrib	T 4/10 ... 5/10; taimejäänused (villpea- ja puutükid) humifitseerunud massi sees vaevumärgatavad	Turvas tumepruun, vesi sogane, kohvipruun, eraldub vaid tilkadena tugeval pigistamisel	Turvas määrib tugevasti sõrmi, pigistamisel tuleb sõrmede vahelt läbi, väga plastiline
	Hästi lagundunud turvas					
60%	T 3/10 ... 5/10; taimejäänuseid peaaegu pole näha, puutükikesed purunevad kergesti sõrmede vahel.	Turvas pruunikasmust, vett pigistamisel peaaegu üldse ei eraldu	Turvas tuleb kergesti sõrmede vahelt läbi, määrib tugevasti	T 3/10 ... 4/10; taimejäänuseid pole ühtlase määriva turbamassi sees näha (vahel vaid villpeakiude ja puutükikesi)	Turvas tumepruun, vesi tumepruun, eraldub tilkadena vaid väga tugeval pigistamisel	Nagu 50% puhul
70%	T 2/10 ... 3/10; silmaga pole lagundumata taimeosad üldse märgatavad	Turvas mustjas, vahel tumepruunika varjundiga; vesi ei eraldu	Nagu 60% puhul	T 2/10; sitke määriv mass; taimejäänuseid pole näha	Nagu 60% puhul	Nagu 50% puhul

Turba lagundumisastet saab kindlaks määrata ka nn. «äigejäljendi» tõmbamisega paberilehele ja jäljendi võrdlemisega varem koostatud skaalaga. Turba lagundumisastme skaalat võib igaüks ise valmistada turvastest, mille lagundumisaste on teada. Äigejäljendi saamiseks võetakse turbaproovist umbes 0,5 cm^3 turbamassi ja tõmmatakse sellega paberile umbes 10 cm pikkune ja 1 cm laiune turbajäljend. Missuguse skaala astmega jäljend kõige enam sarnaneb, selle järgi võetakse lagundumisprotsent.

Varem kasutati uurimistöödel ja maaparanduseprojektides turba lagundumisastme määramiseks L. Posti 10-astmelist skaalat (vt. tab. 2-10).

Tabel 2-10

Turba lagundumisastme määramine L. Posti skaala järgi

Turba lagundumisaste	Tunnused turbaproovi peos pigistamisel	
	Sõrmede vahelt läbituleva vee või muda värvus ja hulk	Pihku jääva turba välimus
H_1 (täiesti lagundumata)	Vesi värvita ja selge	Taimede struktuur selge
H_2 (peaaegu lagundumata)	Vesi nõrgalt kollakaspruun, peaaegu selge	Sama
H_3 (väga vähe lagundunud)	Vesi pruun, vähese muda-osakeste lisandiga	Taimede struktuur ebaselge
H_4 (vähe lagundunud)	Vesi tugevasti mudane	Turvas pisut pudrutaoline
H_5 (mõningal määral lagundunud)	Koos veega tuleb sõrmede vahelt läbi ka pisut turbamuda	Turvas pudrutaoline, taimede ehitus on veel äratuntav, kuid tuhm
H_6 (keskmiselt lagundunud)	1/3 turbast tuleb sõrmede vahelt läbi	Turvas peaaegu pudrutaoline, taimejäänuste struktuur ebaselge
H_7 (tugevasti lagundunud)	1/2 turbast tuleb sõrmede vahelt läbi	Pudrutaolises massis on mõnede taimede jäänused veel äratuntavad
H_8 (väga tugevasti lagundunud)	2/3 turbast tuleb sõrmede vahelt läbi	Pihku jäävad peamiselt juured ja muud paremini säilinud taimeosad
H_9 (peaaegu täiesti lagundunud)	Peaaegu kogu turbamass tuleb sõrmede vahelt läbi	Turbas võib vaevalt veel märgata mingisuguste taimede jäänuseid
H_{10} (täiesti lagundunud)	Kogu turbamass tuleb sõrmede vahelt läbi	Taimejäänuseid pole üldse enam märgata

P. Varlõgini järgi määratud turba lagundumisastme arvulise näitaja ja L. Posti järgi määratud turba lagundumisastme omavahelisel võrdlemisel tuleb L. Posti järgi saadud näitajat korrutada 7-ga. Saadud korrutis on ligikaudne turba lagundumisaste %-des P. Varlõgini järgi.

Turba lagundumisastme järgi on võimalik määrata umbkaudu ka turba tuhasust, s. o. turba kuivaines leiduvat mineraalainete hulka %-des. On leitud, et turba tuhasuse ja turba lagundumisastme vahel on seos, mis väljendub järgmistes valemites —

$$\text{rabaturvastes: } A_r = 1{,}5 + 0{,}07\,R \text{ ja}$$
$$\text{madalsooturvastes: } A_m = 3{,}0 + 0{,}2\,R,$$

milles A — turba tuhasus %-des ja
R — turba lagundumisaste %-des.

Tavaliselt määratakse turba tuhasust siiski laboratoorsete meetoditega.

Mutt-dreenide püsivuse seisukohalt jaotatakse turbad järgmistesse rühmadesse:

a) turba lagundumisaste kuni 30% — mutt-dreenid püsivad,
b) „ „ 30 ... 50% — „ püsivad või mittepüsivad,
c) „ „ üle 50% — „ mittepüsivad.

10. TURBA KÄNNUSUS (TURBASSE MATTUNUD PUIT)

Turba kännususe all mõistetakse turbasse mattunud kändude ja puutüvede mahulist hulka. Arvesse tuleb seejuures ainult see puit, mis on püsinud kõvana ja takistab kraavide kaevamist ning kündmist. Turbas leiduvat puitu, mis on küll säilitanud oma esialgse struktuuri, kuid on sel määral lagundunud, et teda on võimalik labidaga lõigata, turba kännususe hulka ei arvata.

Turbasse mattunud puidu hulk määratakse sondeerimise teel. Sondeerimiseks valitakse uurimislapil kaks 50 m pikkust üksteisega risti olevat käiku, millel tehakse vastava sondeerimisoraga iga meetri tagant üks mineraalkihini ulatuv torge. Torgetes saadud tabamused (ora satub turbasse mattunud puidusse) märgitakse üles, kusjuures näidatakse ära ka tabamuse sügavus. Saadud andmeil arvutatakse keskmine tabamuste % järgmise valemi alusel:

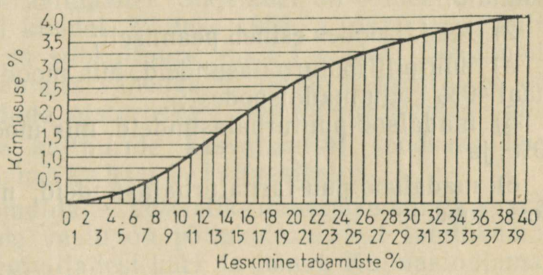
$$P = \frac{k}{s} 100,$$

milles P — keskmine tabamuste %;
k — tabamuste arv ja
s — sondeerimisel tehtud torgete summa meetrites.

Tabamuse protsendi alusel arvutatakse kännususe protsent joonisel 2-11 esitatud M. I. Pavlovi graafiku järgi.

Kui näiteks 1,5 m sügavuse turbalasundi sondeerimisel saadi 100 sondeerimise kohta 10 tabamust, siis on tabamuste % ülaltoodud valemi alusel: $P = \frac{10 \times 100}{150} = 6{,}66\%$ ja kännususe protsent graafiku järgi 0,45%.

Et kännud paiknevad soodes enamasti kihiliselt, on otstarbekohane kännusust arvutada eraldi ülemise, 0 ... 50 cm sügavusel asuva kihi ja eraldi 50 ... 200 cm sügavusel asuva kihi kohta.



Joonis 2-11. Turba kännususe % (M. I. Pavlovi järgi).

Turba kännusust väljendatakse %-des, kusjuures seda hinnatakse vastavalt kändude sisaldusele järgmiselt:

Kännususe %	Iseloomustus
kuni 0,5	madal
0,5 ... 1,0	keskmine
1,0 ... 2,0	üle keskmise
2,0 ... 3,0	kõrge
üle 3,0	väga kõrge

11. TURBALASUND

Turbalasundi all mõistetakse antud sooalal leiduvat turbamassi tervikuna selle kogu sügavuse ja pindala ulatuses. Vastavalt sellele, kas antud turbalasundist moodustavad suurema osa madalsoo-, siirdesoo- või rabaturbad, jaotatakse turbalasundid tüüpideks: a) madalsoo-, b) siirdesoo- ja c) rabalasundid. Mitmesuguste turbatüüpide enam-vähem võrdsel esinemisel on tegemist segalasundiga.

Madalsoolasundeiks arvatakse lasundid, mis kas:

a) koosnevad ainult madalsooturbast, või

b) on lasundi alumises osas madalsooturvas ja selle peal siirdesooturvas, kuid mitte üle poole lasundi kogu tüsedusest, või

c) on lasundi alumises osas madalsooturvas ja selle peal rabaturvas, mille tüsedus on alla 0,5 m, või

d) on madalsooturvas kaetud siirdesoo- ja rabaturbaga, kusjuures viimaste kogutüsedus on alla poole lasundi tüsedusest ja rabaturba tüsedus on alla 0,5 m.

Rabalasundiks nimetatakse lasundit, mis koosneb kas ainult rabaturbast või on rabaturba tüsedus üle poole lasundi tüsedusest.

Siirdesoolasundiks nimetatakse lasundit, mis koosneb kas ainult siirdesooturbast või milles on siirdesooturvast üle poole turbalasundist, kusjuures rabaturba esinemise korral on selle tüsedus alla 0,5 m.

Segalasundiks nimetatakse lasundit, mille alumise osa moodustavad madalsoo- või siirdesooturbad või mõlemad koos, ja pinnal on rabaturvas. Rabaturbakihi tüsedus on üle ühe kolmandiku lasundi kogutüsedusest, kuid ei ületa poolt sellest.

Vastavalt sellele, missugused turbaliigid või turbaliikide rühmad domineerivad turbalasundis, jaotatakse turbalasundid alltüüpideks. Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi andmeil domineerivad Eesti NSV soodes järgmised lasundid.

1) Rabades on levinumad fuskumturbalasundid ja raba-kompleks-lasundid.

2) Madalsoodes esineb peamiselt:

a) puu-pillirooturbalasundeid, mis moodustavad Kagu-Eestis ja Saaremaal 40% kogu madalsoodest;

b) madalsoo-puuturbalasundeid, mis moodustavad Lõuna-Eesti soodest 30%, ja

c) madalsoo-puu-tarnaturbalasundeid, mis on iseloomulikud Põhja-Eesti soodele.

12. SOOMULDADE PÕLLUMAJANDUSLIKUST KASUTAMISEST

Põllumajanduslikuks kasutamiseks on rohusoodest paremad lubika-madalsoo ja sepsika-madalsoo, kui viimane ei toitu survelise põhjaveega. Madalama viljelusväärtusega on liigivaene tarna-madalsoo (taimkatteks niittarn, eristarn ja ümartarn) ja tarna-õõtsiksoo. Muid rohusoid tuleb lugeda keskmise väärtusega soodeks.

Puissoodest tuleb lugeda paremaks lepalodu. Ka kase- ja kuuselodud on hea viljelusväärtusega sood, kuid jäävad mõnevõrra maha lepalodust.

Siirdesood on põllumajanduslikuks kasutamiseks alla keskmise kuni madala väärtusega, rabad on eranditult madala väärtusega.

Korraliku kuivenduse ja vajaliku agrotehnika juures on võimalik ka rabadelt suurt saaki saada. Nii on Kostivere sovhoosis saadud lagedast

puhmarabast ülesharitud soo-uudismaalt kuni 80 ts ristikheina hektarilt, kusjuures sovhoosi keskmine kultuurheina omahind oli 1958. aastal tunduvalt madalam kui sovhooside keskmine kultuurheina omahind.

Enamikult looduslikelt soodelt saadakse madalakvaliteedilist tarnaheina 50...500 söötühikut hektarilt. Erandi moodustavad mõned luhasood, mille saak on mõnevõrra suurem. Metsa juurdekasv on kuivendamata soometsades samuti väike, piirdudes 0,5...1 tm/ha.

Väikese saagi põhjuseks on liigniiskus ja sellest tingitud õhupuudus kuivendamata soomullas. Õhupuudusel on takistatud mikroorganismide elutegevus. Samuti toimuvad taandamisprotsessid, mille tõttu mullavette koguneb kultuurtaimedele kahjulikke ühendeid ning kultuurtaimede juured ei suuda kuivendamata soomullas taimi ei toitainete ega veega varustada.

Soode kultiveerimise eeltingimuseks on aeratsiooni parandamine liigniiskuse kõrvaldamise teel. Nagu näitavad I. Eiseni EMMTUI Tooma Katsebaasis teostatud uurimised, peab põhjavesi olema viidud vähemalt 75 cm sügavusele maapinnast.

Ülesharitud soodelt saadakse vastava agrotehnika rakendamisel küllaltki suurt saaki — 2000 ja enam söötühikut hektarilt.

Soode ülesharimisel tuleb arvestada turvasmuldade iseärasusi. Tähtsamad neist on järgmised.

Turvas on halb soojusjuht. Halva soojusjuhtivuse tõttu külmub turvas sügisel hiljem ja madalamalt kui mineraalmullad. Kevadel sulavad ja soojenevad turvasmullad aeglasemalt kui mineraalmullad. Kuivendamise tulemusena väheneb turba soojusjuhtivus. Põllutööde hilinemise vältimiseks tehakse turvasmuldadel põllutööd keltsal, mis võimaldab teha neid töid soomaadel ajaliselt isegi varem kui mineraalmaadel.

Väikese soojusmahutavuse tõttu on temperatuuri ööpäevane kõikumine kuivendatud turvasmuldadel suurem kui mineraalmuldadel. Ekstensiivselt kuivendatud soodes on see väiksem.

Mikroklimaatilised tingimused on soodes karmimad kui mineraalmaadel. Öökülmad esinevad sagedamini, kevadel hiljem ja sügisel varem kui mineraalmaadel. Sooaladel on esinenud öökülmi vegetatsiooniperioodi kõigil kuudel. Näiteks 1958. a. näpistas öökülm Eesti NSV põhjaosas kartulit ja silokultuure juuli I poolel. Öökülmade ohtu ei ole kuivendamisega võimalik vähendada. Teataval määral on öökülmade ohtu võimalik vähendada otstarbekalt rajatud metsaribade abil.

Turvasmuld on üheaastaste kultuuride kasvatamisel soodsaks levikupinnaks mõnedele tülikatele umbrohtudele (vesihein).

Toodud põhjustel ei ole soomuldadel võimalik ühesuguse eduga kasvatada kõiki kultuure. Öökülmade vastu on põllukultuuridest tundlikumad kartul, suhkrupeet ja mais, köögiviljadest kurk ja tomat. Külmakindlamad on talirukis, söödakapsas, päevalill, kaalikas, naeris, söödapeet, porgand, sibul ja hernes. Otstarbekam on turvasmuldadel kasvatada mitmeaastasi heintaimi, sest:

a) heintaimed ei ole sooalade karmide mikroklimaatiliste tingimuste suhtes tundlikud;

b) mitmeaastaste heintaimede kasvatamisel on pidurdatud soopinna umbrohtumine ja turba struktuuri halvenemine;

c) heintaimed suudavad hästi ära kasutada soomulla suuri lämmastikuvarusid ja

d) heintaimed on suhteliselt suure veenõudlusega ja sellepärast sobib neile niiske kasvukoht.

Soosse rajatud kultuurrohumaid on otstarbekohane kasutada heinamaadena, sest eriti vihmasel ajal kipub kamar karjatamiseks nõrgaks

jääma. Sobivate heinasegude kasutamisel ja korralikul hooldamisel annavad soo-kultuurrohumaad suurt heinasaaki — 40...50 ts kuivheina hektarilt. Korraliku väetamise puhul on saak veelgi suurem.

§ 2-8. MULDADE MELIORATIIVNE JA VILJELUSVÄÄRTUSE HINNANG

Järgnevalt on mullad antud koondkokkuvõtetena viljelusväärtuse, veerežiimi reguleerimise vajaduse ja põllumajandusliku kasutamise otstarbekuse seisukohalt. Muldade kivisust, mida enamasti ei saa siduda kasutusel oleva muldade nimestikuga, on märgitud ainult iseloomulikumate muldade juures. Kokkuvõtlikult on muldade kuivendamise vajadus nende eri kõlvikutena kasutamise korral toodud tabelis 2-13.

1. KUIVENDAMIST MITTEVAJAVAD MULLAD

(Mullad, mille kuivendamisega saagi suurendamist praktiliselt ei saavutata)

Tabel 2-11

Mullaerimi või erimite rühma nimetus	Mulla aluskiht 50...100 cm sügavusel	Suhteline viljelusväärtus (skaala: I kl. — parim, X kl. — halvim)	Vajalikud meliоratiivsed abinõud põlluna või rohumaana kasutamisel	Märkused
Kuivad ja põuakartlikud mullad				
(Juba lühemaaegse põuaperioodi puhul esineb niiskusepuudus. Suurte saakide saamiseks vajavad niisutamist. Madala potentsiaalse viljakuse tõttu intensiivseks kasutamiseks vähesobivad)				
a) Nõrgalt kuni keskmiselt leetelised liivmullad	Kruus, liiv, saviliiv	X...IX	—	Metsamaad. Põlluks väga kuivad ja suure väetusvajadusega
b) Nõrgalt kuni keskmiselt leetunud liivmullad	Sama	IX...VI	Lupjamine	
c) Väga õhukesed paekruusakad või rähksed mullad	Rähk, veeris, rähkne või veeriseline materjal	X...VIII	—	Sageli väga kivised. Sobivaim kasutusviis metsamaana või rohumaana (lutserni kasvatamiseks)
d) Õhukesed kuni keskmise sügavusega paekruusakad või rähksed mullad	Sama	IX...VI	—	
e) Lubjarikkad liivmullad	Sama	IX...VI	—	
f) Nõrgalt kuni keskmiselt erodeeritud lubjarikkad ja leetunud liiv- või saviliivmullad	Kruus, liiv või saviliiv	IX...VIII	Vt. ptk. «Agro-metsameliorat-sioon»	
g) Tugevasti ja väga tugevasti erodeeritud liiv- või saviliivmullad	Kruus, liiv, saviliiv, liivsavi või savi	X...VIII	„	Sobivaim kasutusviis metsamaana

Tabel 2-11 (järg)

Mullaerimi või erimite rühma nimetus	Mulla aluskiht 50 ... 100 cm sügavusel	Suhteline viljelusväärtus (skaala: I kl. — parim, X kl. — halvim)	Vajalikud melioratiivsed abinõud põlluna või rohumaana kasutamisel	Märkused
h) Tugevasti ja väga tugevasti erodeeritud liivsavi- ja savimullad	Liivsavi	X ... VIII*	Vt. ptk. «Agro-metsamelioratsioon»	
		IX ... VII		
i) Leostunud ja leetjad liiv- ja saviliivmullad	Kruus, kruusakas liiv või saviliiv	VIII ... V	Lupjamist ei vaja	

Parasniisked mullad

(Eelmise grupi muldadest suurema veemahutavusega. Niiskusepuudust on märgata ainult pikematel põuaperioodidel. Intensiivsel kasutamisel on võimalik veerežiimi reguleerida niisutamisega)

a) Nõrgalt kuni keskmiselt leetunud liivsavi- ja savimullad	Liivsavi või savi	VIII ... III (hea kultuuristatuse puhul ka II)	Lupjamine	Põllumaad
b) Keskmise sügavusega rähksed liivsavimullad	Rähkne liivsavi	VI ... III	—	
c) Sügavad lubjarikkad ja leostunud liivsavimullad	Sama	V ... I	—	
d) Leetjad liivsavi- ja savimullad	Sama	VII ... II	—	
e) Leostunud ja leetjad saviliivmullad	Sama	VII ... III	—	
f) Nõrgalt kuni keskmiselt erodeeritud liiv-, saviliiv-, liivsavi- ja savimullad	Liivsavi	VIII ... IV	Vt. ptk. «Agro-metsamelioratsioon»	
g) Kamar-deluviaalmullad	Saviliiv	VII ... III	—	Tavaliselt vähe kivised metsamaad. Põllumajanduslikul kasutamisel vajavad tugevat väetamist orgaaniliste ja mineraalväetistega
		VI ... II		
h) Nõrgalt leetelised liiv- ja saviliivmullad	Liivsavi ja savi	IX ... VIII	Lupjamine	
i) Nõrgalt leetunud liiv- ja saviliivmullad	Liivsavi või savi	VIII ... IV	Lupjamine	Sama

* Murru lugejas on märgitud mulla suhteline viljelusväärtus põlluna kasutamisel, nimetajas rohumaana kasutamisel.

2. KUIVENDAMIST VAJAVAD MULLAD *

Tabel 2-12

Mullaerimi või erimite rühma nimetus	Mulla aluskiht 50...100 cm (paepealsetel muldadel 10...50 cm) sügavusel	Suhteline viljelusväärtus X-kl. skaala järgi	Vajalikud melioratiivsed abinõud			Märkusi
			põlluna kasutamisel	rohumaana kasutamisel	metsamaana kasutamisel**	
1	2	3	4	5	6	7
Muutliku niiskusrežiimiga (ajuti liigniisked, ajuti kuivad) mullad						
(Liigniiskuse likvideerimisel jääb neil muldadel saak endiselt sõltuvusse sademete ühtlasest jaotumusest vegetatsiooniperioodil. Väheste sademetega perioodidel esineb niiskusepuudust. Intensiivseks majandamiseks enamikus sobimatud)						
a) Keskmiselt kuni tugevasti leetelised liivmullad	Tihenenud liiv, saviliiv, liivsavi või savi	X...IX	Valikkuivendus. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja	Sobivaim kasutada metsamaana
b) Paepealsed mullad	Paas	X...VII	Veerežiimi reguleerimine on raskendatud	Kuivendamist ei vaja	Sama	Sobivaim kasutada rohumaana. Tüsedama (üle 20 cm) huumushorizondiga puhul ka põlluna
c) Niisked paepealsed mullad	Sama	X...VIII	Sama	Karjamaaks valikkraavitus, heinamaaks kuivendamist ei vaja	Sama	Sobivaim kasutada rohumaana
d) Märjad paepealsed mullad	Sama	X...VIII	Sama	Lauskraavitus 20...30% harvendatud võrguga	Sama	Põlluna kasutamine raskesti reguleeritava veerežiimi tõttu ebaökonoomne
e) Tugevasti leetunud liiv- ja saviliivmullad	Tihenenud liiv või saviliiv	IX...VI	Valikkuivendus. Tasase reljeefi puhul 30% harvendatud võrk. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja. Lupjamine	Sama	

* Kuivendusvajadus on antud juhuks, kui käsitletav erim levib üle 2 ha suurusel pindalal. Kuivendusvajaduse sõltuvust mullaerimi väiksema pindala puhul selle asendist naabruses asuvate erimite suhtes vt. § 2-6.

** Metsamaade kuivendusvajaduse määramisel tuleb peale mullaerimi arvestada ka kasvava metsa vanust ja liigilist koosseisu.

Tabel 2-12 (järg)

1	2	3	4	5	6	7
f) Niisked leetunud liivmullad	Liiv, saviliiv	IX...VI / VIII...V	Valikkuivendus. Tasase reljeefi puhul 20...30% harvendatud võrk. Lupjamine	Sama	Sama	
g) Väga niisked leetunud liivmullad	Sama	IX...VI / VIII...VI	Lauskuivendus 10...15% harvendatud võrguga. Lupjamine	Karjamaaks lauskuivendus 20..30% harvendatud võrguga; heinamaaks erandjuhtudel valikkuivendus, tasase reljeefi puhul 30% harvendatud võrk. Lupjamine	Sama	

Lühiaegselt liigniisked mullad

(Niiskusepuudust tavaliselt ei esine. Sademeterohkel suvel jäävad põllukultuuride saagid neil muldadel madalamaks kui parasniisketel muldadel. Rohumaade saagikust liigniiskus ei mõjuta)

a) Niisked leetunud liivmullad	Liivsavi, savi	VIII...V / VIII...IV	Valikkuivendus; tasase reljeefi puhul 15..25% harvendatud võrk. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja (karjamaaks erandjuhtudel valikkuivendus). Lupjamine	Kuivendamist ei vaja	Punkt a, b, g ja h all näidatud muldade liigniiskuse peamiseks põhjuseks on sademete ja naaberaladelt pealevalguv vesi, punktide d ja f all näidatud muldadel lisandub eelmistele veel ajutiselt kõrgele tõusev põhjavesi
b) Niisked leetunud liivsavimullad	Sama	VIII...III / VIII...III	Sama	Sama	Sama	
c) Niisked lubjarikkad leostunud ja leetjad liiv- ja saviliivmullad	Kruusakas või rähkne liiv või saviliiv	IX...V / IX...IV	Valikkuivendus; tasase reljeefi puhul 20...30% harvendatud võrk. Lupjamist ei vaja	Kuivendamist ega lupjamist ei vaja	Sama	
d) Niisked küllastunud liiv- ja saviliivmullad	Veesetteline, sageli tolmjas saviliiv	VI...IV / VII...III	Sama	Sama	Sama	
e) Niisked lubjarikkad leostunud ja leetjad liivsavimullad	Rähkne liivsavi	VI...III / VI...II	Sama	Sama	Sama	

Tabel 2-12 (järg)

Mullaerimi või erimite rühma nimetus	Mulla aluskiht 50...100 cm (paepealsetel muldadel 10...50 cm) sügavusel	Suhteline viljelusväärtus X-kl. skaala järgi	Vajalikud melioratiivsed abinõud: põlluna kasutamisel	Vajalikud melioratiivsed abinõud: rohumaana kasutamisel	Vajalikud melioratiivsed abinõud: metsamaana kasutamisel**	Märkusi
1	2	3	4	5	6	7
f) Niisked küllastunud liivsavimullad	Liivsavi kuni savi	VII...III / VI...II	Sama	Sama	Sama	
g) Keskmiselt kuni tugevasti leetunud saviliivmullad	Sama	VIII...V	Valikkuivendus. Tasase reljeefi puhul 30% harvendatud võrk. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja. Lupjamine	Sama	
h) Tugevasti leetunud liivsavimullad	Sama	VIII...V	Sama	Sama	Sama	
Kestvamalt liigniisked mullad						
(Vajavad kuivendamist ka rohumaana — kultuurkarjamaana — kasutamisel. Põllukultuuride kasvatamine ilma kuivendamata on võimalik ainult väheste sademetega aastatel)						
a) Väga niisked leetunud liivmullad	Liivsavi	IX...V / VIII...IV	Kuivendus 5...15% harvendatud võrguga	Heinamaal erandjuhtudel valikkuivendus või 30% harvendatud lauskuivendus; karjamaaks 20...30% harvendatud lauskuivendus. Lupjamine	Kuivendamist ei vaja	Punkt a ja b all näidatud muldadel on liigniiskuse peamiseks põhjuseks naaberaladelt pealevalguv pinna- või mullavesi ja sademete vesi, punktide c ja d all märgitud muldadel ka ajutiselt kõrgele tõusev põhjavesi või surveline põhjavesi
b) Väga niisked leetunud liivsavimullad	Liivsavi kuni savi	VIII...IV / VII...III	Sama	Sama	Sama	
c) Väga niisked lubjarikkad, leostunud, leetjad ja küllastunud liivmullad	Kruusakas või rähkne saviliiv või liivsavi, veesetteline liiv, liivsavi või savi	IX...V / VIII...IV	Kuivendus 10...20% harvendatud võrguga	Heinamaal erandjuhtudel valikkuivendus, karjamaadel 25...30% harvendatud lauskuivendus. Lupjamist ei vaja	Sama	

Tabel 2-12 (järg)

1	2	3	4	5	6	7
d) Väga niisked lubjarikkad, leostunud, leetjad ja küllastunud liivsavi- ja savimullad	Kruusakas või rähkne liivsavi, veesetteline liivsavi või savi	IX...III / VIII...II	Sama	Sama	Sama	
e) Niisked ja väga niisked lammimullad mitmesuguse mehaanilise koostisega	Sorteeritud setted, kihitatud	VIII...III / VII...I	Valikkuivendus või 10...20% harvendatud lauskuivendus. Agromelioratiivsed abinõud	Kuivendamist ei vaja Erandjuhtudel valikkuivendus või heinamaadeks 30%, karjamaadeks 20...30% harvendatud lauskuivendus	Sama	Sobivaim kasutada rohumaana. Liigniiskuse põhjusteks on üleujutus ja kõrge põhjavesi, aga ka naaberaladelt pealevalguv vesi
Märjad mineraalmullad (Kultuuristamisel vajavad kuivendamist mis tahes kõlvikutena kasutamisel. Rohumaadena kasutamisel piisab harvendatud võrguga kuivendamisest, pealtparandatavatel rohumaadel erandjuhtudel ka ainult valikkuivendusest)						
a) Märjad leetunud liiv- ja saviliivmullad	Liiv, saviliiv	IX...VI / VIII...V	Lauskuivendus	Karjamaal 10...15%, heinamaal 15...20% harvendatud võrk	Kuivendamist ei vaja. Erandjuhtudel valikkuivendus	
b) Märjad küllastunud, leostunud ja küllastumata saviliivkuni savimullad	Liiv ja saviliiv kuni savi	VIII...IV / VII...III	Lauskuivendus. Lupjamist ei vaja	Kuivendus heinamaaks 15...20%, karjamaaks 10...15% harvendatud võrguga	Sama	Liivsavi- ja savimuldadel, samuti tolmjatel saviliivadel tuleb pinnavee kõrvaldamiseks rakendada agromelioratiivsete abinõude kompleksi, eriti põlluna ja karjamaana kasutamisel
c) Sama, liivmullad	Liiv	IX...VI / VIII...V	Sama	Sama	Sama	

Tabel 2-12 (järg)

Mullaerimi või erimite rühma nimetus	Mulla alus-kiht 50...100 cm (pae-pealsetel muldadel 10...50 cm) sügavusel	Suhteline viljelusväärtus X-kl. skaala järgi	Vajalikud melioratiivsed abinõud: põlluna kasutamisel	rohumaana kasutamisel	metsamaana kasutamisel**	Märkusi
1	2	3	4	5	6	7
d) Märjad leetunud liivsavi- ja savimullad	Liivsavi kuni savi	IX...V / VIII...IV	Lauskuivendus. Lupjamine	Sama	Sama	Liigniiskuse põhjustena on iseloomulikud naaberaladelt pealevalguv vesi, kõrge põhjavesi ja sademete vesi, lubjarikaste küllastunud muldade puhul ka allikad
e) Märjad lubjarikkad või rähksed liiv- kuni savimullad	Rähkne saviliiv kuni liivsavi, rähk	IX...V / VIII...IV	Lauskuivendus kuni 5% harvendatud võrguga, lupjamist ei vaja	Karjamaal 10...20%, heinamaal 15...25% harvendatud võrguga lauskuivendus	Sama	
f) Märjad lammimullad	Liiv kuni savi	VIII...IV / VI...III	Lauskuivendus. Lupjamist ei vaja	Sama	Sama	Liigniiskuse põhjuseks üleujutused ja kõrge põhjavesi
g) Märjad pealeuhtemullad	Liiv, saviliiv, liivsavi	VIII...V / VI...III	Sama	Sama	Sama	Liigniiskuse põhjuseks naaberaladelt pealevalguv pinnavesi ja kõrge põhjavesi
Alaliselt liigniisked mullad (Kultuurmaadena kasutamine ilma kuivendamiseta ei ole võimalik)						
a) Turvastunud leetelised liiv- ja saviliivmullad	Liiv, kerge saviliiv	X...VIII / IX...VI	Lauskuivendus, lupjamine	Lauskuivendus, lupjamine	Kuivendus kuni 20% harvendatud võrguga	Punktide a...h all näidatud muldadel on liigniiskuse põhjused väga mitmesugused (kõrge põhjavesi, pealevalguv vesi, sademed, surveline põhjavesi). Neist punkt a ja c all näidatud muldi on sobiv kasutada metsamaana
b) Küllastunud ja küllastumata turvastunud liiv- ja saviliivmullad	Sama	IX...VI / VIII...IV	Lauskuivendus, vajaduse korral lupjamine	Lauskuivendus, vajaduse korral lupjamine	Sama	
c) Turvastunud leetelised liivsavimullad	Liivsavid	IX...VII / VIII...VI	Lauskuivendus. Tugev lupjamine	Lauskuivendus. Tugev lupjamine	Sama	
d) Küllastunud ja küllastumata turvastunud liivsavimullad	Sama	IX...V / VII...IV	Lauskuivendus. Vajaduse korral lupjamine	Lauskuivendus. Vajaduse korral lupjamine	Sama	

Tabel 2-12 (järg)

1	2	3	4	5	6	7
e) Õhuke halvasti lagundunud madalsooturvas	Liiv kuni savi	X...VIII* / IX...VI	Lauskuivendus. Kui pH<5,0, siis ka lupjamine	Lauskuivendus. Kui pH<5,0. siis ka lupjamine	Lauskuivendus	Sobivaim kasutada heinamaana
f) Õhuke keskmiselt lagundunud madalsooturvas	Sama	IX...VII / VIII...IV	Sama	Sama	Sama	Sama
g) Õhuke hästi lagundunud madalsooturvas	Sama	IX...VI / VIII...III	Sama	Sama	Sama	Sama
h) Sügav madalsooturvas	Sama	X...VII / IX...IV	Sama	Sama	Sama	Sama
i) Õhuke halvasti lagundunud siirdesooturvas	Sama	X...VIII / IX...VII	Lauskuivendus. Tugev lupjamine	Lauskuivendus. Tugev lupjamine	Sama	Punktides i...l näidatud mullad toituvad sademete veest Sobivaim kasutada metsamaana
j) Õhuke hästi lagundunud siirdesooturvas	Sama	IX...VIII / IX...VI	Sama	Sama	Sama	
k) Sügav siirdesooturvas	Sama	X...VIII / X...VII	Sama	Sama	Sama	
l) Rabaturbad	Sama	X	Sama	Sama	Sama	Alusturba tootmiseks
m) Turvastunud lammimullad	Liiv kuni savi	— / VII...IV	Lauskuivendus	Lauskuivendus	Lauskuivendus	Liigniiskuse põhjuseks üleujutused ja kõrge põhjavesi. Sobivaim kasutada heinamaana
n) Lammimadalsooturbad	Sama	— / VIII...IV	Sama	Sama	Sama	
o) Soolakulised rannikumullad	Sama	— / X...VII		Valikkuivendus või lauskuivendus, vajaduse korral lupjamine		Liigniiskuse põhjuseks merepinnast tingitud kõrge põhjaveeseis. Mere mõju tõttu on kuivendamine raskendatud

* Suhteline viljelusväärtus on antud soode kohta, mille kuivendamisel ei ole raskusi. Sulglohkudes asuvad sood, mida praktiliselt ei saa kuivendada, kuuluvad põllumajanduslikul kasutamisel viljelusväärtuselt X klassi, olenemata turba lagundumisastmest; samuti on väiksem ka õõtsiksoode viljelusväärtus.

3. MULLAERIMITE SKEMAATILINE JAOTUS LIIGNIISKUSE ASTME JA KUIVENDUSVAJADUSE JÄRGI

Tabel 2-13

Mullaerimi šiffer		Niiskusaste ja kuivendusvajadus				
		viljapuu-aiana	põlluna	kultuur-karjamaana	kultuurheina-maana	metsana
		kasutamisel				
L_I, L_{II}, L_{kI}, L_{kII}, K′, K″, K‴, K⁗, $K_{(o)}$, K_I, K_o		Kuivendamist ei vaja				
L_{III}, L_{kIII}, $L_{k(g)}$, $K_{(g)}$, $K_{o(g)}$, $K_{I(g)}$, $K_{(o)(g)}$		Valikkuivendus, tasase reljeefi puhul 20% harvendatud võrk	Valikkuivendus. Erandjuhtudel tasase reljeefi puhul 30% harvendatud võrk	Kuivendamist ei vaja		
K_{gI}, K_{ogI}, K_{IgI}, L_{gI}, $_{o)gI}$	A_k	10 ... 15% harvendatud võrk	Valikkuivendus või 15 ... 30% harvendatud võrk	Kuivendamist ei vaja, erandjuhtudel valikkuivendus	Kuivendamist ei vaja	
K_{gII}, K_{ogII}, $_{o)gII}$, L_{gII}, K_{IgII}, $K_{(I)gII}$		Täielik kuivendus	5 ... 20% harvendatud võrk	20 ... 30% harvendatud võrk	Erandjuhtudel valikkuivendus või 30% harvendatud võrk	Kuivendamist ei vaja
G_k, G_o, $G_{(o)}$, LG, G_I, $G_{(I)}$, GD, $G_{(o)}D$, L_{gI}, L_{g3}, AG		Täielik kuivendus	Täielik kuivendus kuni 5% harvendatud võrk	10 ... 20% harvendatud võrk	15 ... 25% harvendatud võrk	Erandjuhtudel valikkuivendus
LG_1, $LG_{(o)1}$, G_o, $G_{(o)3}$, $G_{(I)1}$, $G_{(I)3}$, A_m, AM, M, S, R		Täielik kuivendus				

Mullaerimite šifrite tähendus:

K — kamar-karbonaatmullad; indeksite tähendus: ′ — väga õhukesed; ″ — õhukesed; ‴ — keskmise sügavusega; ⁗ — sügavad; o — leostunud; (o) — küllastunud ja I — leetjad. Sama tähendusega on indeksid soostunud kamarmuldadel.

L — leetmullad; indeksite tähendus: I — nõrgalt, II — keskmiselt ja III — tugevalt leetunud.

Lk — kamar-leetmullad; indeksite tähendus sama mis leetmuldadel.

(g) — gleistumistunnustega (nõrkade liigniiskuse tunnustega) mullad.

g_I — nõrgalt gleistunud niisked) mullad.
g_{II} — tugevalt gleistunud (väga niisked) mullad.
G — gleimullad (märjad mullad); peale ülalmärgitud soostunud kamarmuldade indeksite esinevate indeksite tähendus: $_1$ — turvastunud ja $_3$ — kõduhorisondiga.
M — madalsoomullad
S — siirdesoomullad
R — rabamullad
} indeksite tähendus: ' — õhukesed; '' — sügavad; $_1$ — halvasti, $_2$ — keskmiselt ja $_3$ — hästi lagundunud.
A — lammimullad.
A_k — parasniisked lammimullad.
A_m — turvastunud „
AM — lammi-madalsoomullad.
AG — märjad lammimullad.
GD — märjad pealeuhtemullad.
e — erodeeritud mullad; indeksite tähendus: $_I$ — nõrgalt, $_{II}$ — keskmiselt, $_{III}$ — tugevasti ja $_{IV}$ — väga tugevasti erodeeritud.

§ 2-9. MULDADE (PINNASTE) FÜÜSIKALISI JA AGROKEEMILISI OMADUSI

1. MULDADE (PINNASTE) KLASSIFITSEERIMINE MEHAANILISE KOOSTISE ALUSEL

Mulla mehaaniline ehk granulomeetriline* koostis ehk lõimis näitab mulla mineraalses osas esinevate, mitmesuguse läbimõõduga osakeste rühmade (fraktsioonide) omavahelist suhet. Mehaanilisest koostisest sõltuvad oluliselt mulla füüsikalised omadused (tursumine, sidusus ja plastilisus), hüdrofüüsikalised omadused** (veemahutavus, veeläbilaskvus, kapillaarsus ja hügroskoopsus) ja füüsikalis-keemilised omadused (neelamismahutavus). Mehaaniline koostis on üks püsivamaid mulla tunnuseid, kuigi seegi allub mullatekkeprotsessides muutustele.

Mulla erineva läbimõõduga mehaaniliste osakeste rühmade (fraktsioonide) nimetused N. A. Katšinski järgi on toodud tabelis 2-14.

Tabel 2-14

Mulla (pinnase) mehaaniliste elementide klassifikatsioon

Osakeste läbimõõt (mm)	Fraktsiooni nimetus	Fraktsioonide grupi nimetus	
>1	Kruus ja kivid		Kores
1...0,5	Jäme liiv		
0,5...0,25	Keskmine liiv	Füüsikaline liiv	
0,25...0,05	Peenike liiv		
0,05...0,01	Jäme tolm		
0,01...0,005	Keskmine tolm	Füüsikaline savi	Peenes
0,005...0,001	Peenike tolm		
<0,001	Ibe		

* Mõistet granulomeetriline koostis (lad. sõnast *granulum* — tera) kasutatakse enamikus geoloogia- ja pinnaseteadusealases kirjanduses kord mehaanilise koostise tähenduses, kord aga ka mulla mehaanilist koostist ja mulla agregaatolekut haarava mõistena.

** Mulla hüdrofüüsikalisi omadusi mõjutab peale mulla mehaanilise koostise ka mulla struktuur, sest struktuurielementideks liitunud üksused mõjuvad analoogiliselt vastava läbimõõduga fraktsioonidele. Et struktuur on muutuv omadus, muutuvad seoses sellega ka mulla hüdrofüüsikalised omadused.

Üle 1 mm läbimõõduga fraktsioonide — mulla korese (kruus, veeris, rähk jne.) jaotamiseks väljatöötatud klassifikatsioonidest sobib Eesti NSV tingimustele kõige enam järgmine:

Tabel 2-15

Mulla korese klassifikatsioon

Fraktsiooni nimetus	Osakeste kuju	Läbimõõt (mm)
Peenike kruus	Ümmargune või kandiline	1...5
Jäme kruus		5...10
Peenike veeris, klibu *	Ümmargune või läätsjas	10...50
Peenike rähk	Kandiline	
Jäme veeris, klibu	Ümmargune või läätsjas	50...100
Jäme rähk	Kandiline	
Kivid	Ümardatud või kandiline	üle 100

Et looduses esinevad mullad koosnevad mitme ülaltoodud fraktsiooni segust, nimetatakse muldasid olenevalt vajadusest ühe, kahe või kolme domineeriva fraktsiooni või fraktsioonide grupi nimega. Allpool on ära toodud muldade klassifikatsioon mehaanilise koostise alusel N. A. Katšinski järgi, mida autor soovitab kasutada maaparanduse otstarbel teostataval mullastiku uurimisel ja üldse kõikidel mullastiku uurimistel, mis tehakse 1 : 25 000 mõõdulistest kaartidest täpsemate mullastikukaartide koostamiseks.

Tabel 2-16

Muldade klassifikatsioon mehaanilise koostise alusel
(N. A. Katšinski järgi)

Füüsikalist savi	Füüsikalist liiva	Mullaliik kaheliikmelise (põhi-) skaala järgi	Alljaotused detailse skaala järgi
%-des			
80	20	Rasked savid	Tolmjas-ibejad Ibejas-tolmjad
65...80	20...35	Keskmised ja kerged savid	Tolmjas-ibejad Ibejas-tolmjad
50...65	35...50		Jämetolmjas-ibejad Ibejas-jämetolmjad
50...65	35...50	Kerged savid	Tolmjad Jämetolmjad Ibejas-liivakad
40...50	50...60	Rasked liivsavid ja keskmised liivsavid	Tolmjas-ibejad Ibejas-tolmjad Jämetolmjas-ibejad Ibejas-jämetolmjad
30...40	60...70		Tolmjad Jämetolmjad Liivakas-tolmjad Ibejas-liivakad Tolmjas-liivakad

* Klibuks nimetatakse veerise üht alaliiki — rannikul tekkinud läätsja kujuga materjali.

Tabel 2-16 (järg)

Füüsikalist savi	Füüsikalist liiva	Mullaliik kaheliikmelise (põhi-) skaala järgi	Alljaotused detailse skaala järgi
%-des			
20...30	70...80	Kerged liivsavid	Jämetolmjad Ibejas-liivakad Tolmjas-liivakad Liivakad Kruusakas-liivakad
10...20	80...90	Saviliivad	Jämetolmjad Ibejas-liivakad Tolmjas-liivakad Liivakad Kruusakas-liivakad
5...10	90...95	Sidusad liivad. (Kerged saviliivad)	Peeneteralised (e. peenikesed) Peeneteralised (e. peenikesed) jämetolmjad Peeneteralised (e. peenikesed) ibejasliivakad Jämedateralised (e. jämedad) ibejasliivakad Keskmiseteralised (e. keskmised) Keskmiseteralised (e. keskmised) kruusakad
5	95	Liivad	Peeneteralised (e. peenikesed) Keskmiseteralised (e. keskmised) Jämedateralised (e. jämedad) Peeneteralised (e. peenikesed) kruusakad Keskmiseteralised (e. keskmised) kruusakad Jämedateralised (e. jämedad) kruusakad

Märkused. 1. Tolmjatel kergetel savidel ja tolmjatel rasketel ning keskmistel liivsavidel on teiseks domineerivaks fraktsiooniks jäme tolm (0,05...0,01 mm läbimõõduga fraktsioon).

2. Jämetolmjatel kergetel savidel ja jämetolmjatel rasketel ning keskmistel liivsavidel on teiseks domineerivaks fraktsiooniks tolm (0,01...0,001 mm läbimõõduga fraktsioon). Jämetolmjatel kergetel liivsavidel ja saviliivadel on teiseks domineerivaks fraktsiooniks liiv (0,05...1 mm läbimõõduga fraktsioon).

3. Liivakatel kergetel liivsavidel ja saviliivadel on teiseks domineerivaks fraktsiooniks jäme tolm (0,05...0,01 mm läbimõõduga fraktsioon).

4. Jämetolmjatel liivadel on domineerivaks fraktsiooniks jäme tolm (0,05...0,01 mm läbimõõduga fraktsioon), teiseks fraktsiooniks on liiv (läbimõõt 0,05...1 mm).

5. Peenikestel, keskmistel ja jämedatel liivadel on domineerivaks fraktsiooniks vastava läbimõõduga liivafraktsioon (vt. tab. 2-14), teiseks on jäme tolm. Kruusakatel peenikestel, keskmistel ja jämedatel liivadel on domineerivaks fraktsiooniks vastava läbimõõduga liiv, teiseks kruus.

Eeltoodud põhi- ja detailse skaala kõrval soovitab N. A. Katšinski kasutada rekognoosuurimistel veel nn. lühendatud skaalat. Selle järgi ühendatakse kerged ja keskmised savid ühiseks grupiks — savid, säilitades alljaotused «tolmjas» ja «ibejas». Kõik liivsavid jaotatakse «tolmjateks» ja «liivakateks». Saviliivad jaotatakse «tolmjateks», «liivakateks» ja

«kruusakateks», liivad — «jämedaiks», «keskmisteks» ja «peenikesteks», olenevalt vastava fraktsiooni domineerimisest.

Üle 1 mm läbimõõduga fraktsioone (rähk, kruus, veeris) sisaldavate pinnaste klassifikatsioon on antud tabelis 2-17.

Tabel 2-17

Koreseliste pinnaste klassifikatsioon

(fraktsioonide kaaluline sisaldus %-des)

Pinnaseliik	Rähka või veerist (Ø 10...100 mm)	Kruusa (Ø 1...10 mm)	Peenest (vastavalt mehaanilisele koostisele — liiva, saviliiva jne.)
Rähk, veeris (või klibu)	> 50	<50	
Kruusakas rähk, veeris (või klibu)	25...50 (kuid mitte vähem kui peenest ja kruusa eraldi võetuna)	Peenesest enam kuid vähem kui rähka	Kruusast vähem
Liivakas, saviliivakas jne. rähk, veeris (või klibu)	„	Peenesest vähem	Kruusast enam
Kruus		> 50	
Rähkne või veeriseline kruus	Peenesest enam, kuid vähem kui kruusa	25...50 (kuid mitte vähem kui rähka või veerist ja peenest eraldi võetuna)	Rähast (veerisest) vähem
Liivakas, saviliivakas jne. kruus	Peenesest vähem	„	Rähast (veerisest) enam
Kruusakad või rähksed (veeriselised) liivad, saviliivad jne.	> 10		> 50
Rähksed (veeriselised) liivad, saviliivad jne.	Kruusast enam	Rähast vähem	> 50
Kruusakad liivad, saviliivad, liivsavid jne.	Kruusast vähem	Rähast enam	> 50

Fraktsioonide võrdsel esinemisel nimetatakse pinnast jämedama fraktsiooni nimega.

Mulla mehaanilise koostise näitamisel on Eesti NSV-s seni kasutatud peamiselt skaalat, mille kohaselt arvestati ainult füüsikalise savi ja füüsikalise liiva sisaldust. On kasutatud ka nn. lühendatud skaalat lihtsustatud kujul, mille kohaselt mullad liigitati vastavalt sellele, kas mehaanilises koostises domineeris liiva- (Ø 0,05...1 mm) või tolmu- (Ø 0,001... 0,05 mm) fraktsioon, liivakateks ja tolmjateks muldadeks.

Nimetatud skaala kasutamisel, näiteks kui muld sisaldas liiva 46,1% ja tolmu 50,7%, kusjuures füüsikalise savi (osakesed läbimõõduga alla 0,01 mm) sisaldus oli 10,8%, nimetati mulda tolmjaks saviliivaks. Teisel juhul, kui näiteks mulla mehaanilises koostises oli liiva 60,2%, tolmu 35,2% ja füüsikalist savi 21,8%, nimetati mulda liivakaks kergeks liivsaviks.

Kaasaegses eesti- ja venekeelses pinnaseteadusealases ja samuti ka geoloogiaalases kirjanduses on ulatuslikult levinud ka V. V. Ohhotini klassifikatsioon. Viimase alusel on neis töödes antud ka pinnaseliikide füüsikaliste omaduste arvutamise konstandid.

Tabel 2-18

Pinnaste (muldade) klassifikatsioon V. V. Ohhotini järgi

Pinnaseliik	Sisaldab %-des		
	saue (<0,005 mm)	tolmu (0,005...0,05 mm)	liiva (0,05...2 mm)
Savi, raske	60	Vähem kui saue	Vähem kui saue
Savi	60...30	Rohkem kui saue	Vähem kui saue
Savi, tolmjas	30	Vähem kui saue	Rohkem kui saue
Savi, liivakas	30		Tolmust rohkem
Liivsavi, raske	30...20	Liivast rohkem	
Liivsavi, raske, tolmjas	30...20		Tolmust rohkem
Liivsavi, keskmine	20...15	Liivast rohkem	
Liivsavi, keskmine, tolmjas	20...15		Tolmust rohkem
Liivsavi, kerge	15...10	Liivast rohkem	
Liivsavi, kerge, tolmjas	15...10		Tolmust rohkem
Saviliiv, raske	10...6	Liivast rohkem	
Saviliiv, raske, tolmjas	10...6		Tolmust rohkem
Saviliiv, kerge	6...3	Liivast rohkem	
Saviliiv, kerge, tolmjas	6...3	alla 20	
Liiv	alla 3	20...50	
Liiv, tolmjas	alla 3	üle 50	
Tolm			

2. MEHAANILISE KOOSTISE MÄÄRAMINE

Mulla mehaanilise koostise määramiseks laboratoorsel teel on välja töötatud palju meetodeid. Maaparanduse otstarbel tehtavatel uurimistöödel on osutunud laboratoorsetest meetoditest otstarbekohaseimaks pipettmeetod. Laboratoorsete analüüside andmete esitamiseks on küllaldane 1%-line täpsus.

Väliuurimistel määratakse mulla mehaaniline koostis tavaliselt nn. «sõrmeproovi» abil, mille täpsus on ca 5% piirides. Täpsemate tulemuste saamiseks kasutatakse laboratoorseid määramisi.

Mullaliigi määramiseks välitöödel võib kasutada praktilisi juhendeid, mis on toodud tabelis 2-19.

Lisaks neile juhistele on kasulik arvestada veel järgmist.

a) Kruusa puhul moodustab kruubi- (tangutera-) kuni pähklisuuruste osakeste hulk mullaproovis 1/4 proovi pinnast (proovi üldpildist); rāha või veerise puhul moodustab mullaproovi üldpildis pähklist suuremate osakeste hulk üle 1/4 proovi pinnast.

b) Liivasid saab vastavalt tera jämedusele eristada järgmiste tunnuste alusel —

peenike liiv: liivaterakesi on mulla (pinnase) põhimassist palja silmaga raske eraldada,

keskmine ja jäme liiv: mulla (pinnase) põhimassi moodustavad hirsitanguterade suurused osakesed.

c) Tolmjad mullad jätavad välimääramisel raskema lõimisega mulla mulje nii «sõrmeproovil», nööriks rullimisel kui ka teiste välimääramisel kasutatavate tunnuste järgi hindamisel. Enamikku tolmjaist muldadest on võimalik aga üsna hõlpsasti määrata õhukuivalt, sest õhukuivalt pudenevad tolmjad mullad hõlpsasti jahujaks pulbriks.

d) Vastandina tolmjatele muldadele jätavad tugevalt karbonaatsed mullad mikroagregaatsuse tõttu kergema lõimisega mulla mulje, kui nad tegelikult on. Määramisvigade vältimiseks tuleb karbonaatsetel muldadel

Tabel 2-19

Praktilisi juhiseid savi, liivsavi, saviliiva ja liiva määramiseks välitöödel

Mulla- (pinnase-) liik	Mulla (pinnase) omadused			
	Niiskena või kuivana sõrmede vahel hõõrumisel	Käte vahel rullimisel *	Märjas (poolvedelas) olekus. Loodusliku niiskuse juures labidaga kaevamisel	Kuivanult, tükkidena
Savi	Niiskena väga ühtlane, libe. Liivateri ei ole tunda. Kuivanult tundub puudrina. Paberile puistatuna jääb koputamisel paberi külge, samuti on sõrmi pulbrist raske puhastada	Märjalt* hõlpsus rullida ca 1 mm jämeduseks nööriks, mis ei murdu ega pragune sõrme ümber painutamisel. Paraja niiskuse juures võib rullida kuni 0,5 mm jämeduseks nööriks	Väga kleepuv ja määriv. Labida küljest raske eemaldada. Loodusliku niiskuse juures labidaga kaevamisel august väljavisatud tükid jäävad terveks	Väga kõvad tükid. Tüki pind tundub sõrmega hõõrumisel «rasvasena». Haamriga löömisel puruneb teravakandilisteks tükikesteks. Näpuga ei suuda tükikest katki suruda. Küntud põllul** kõndimisel ei purune mullatükid jala all
Liivsavi	Niiskena ebaühtlane pulber. Peenikese materjali üldisel foonil tundub liivaterasid (raskel liivsavil vähem, kergel rohkem). Kuivanult sõrmede vahel hõõrumisel jääb sõrmede külge, kuid on sõrmede küljest hõlpsamini eemaldatav kui eelmine	Laseb end nööriks rullida, mis praguneb või murdub sõrme ümber painutamisel. Paraja niiskuse juures võib rullida kuni 2 mm jämeduseks nööriks	Sitke, plastiline ja kleepuv, kuid määrib eelmisest vähem. Loodusliku niiskuse puhul labidaga kaevamisel eemaldub viskamisel kergesti labida küljest. Tükid purunevad osalt, kus juures labida vastu olnud pind on väga sile	Kõvad tükid, kuid purunevad eelmisest kergemini. Murdepinnad savist karedamad, sellel näha liivaterasid. Tükikeste servad teravad, kuid nürinevad hõõrumisel kergesti. Küntud põllul kõndides puruneb kerge liivsavi puhul enamik tükke jala all
Saviliiv	Põhimassi moodustavad liivaterad, mille tõttu tundub karedana. Määrib kätt rohkem kui liiv. Kuivanult hõõrumisel jääb sõrmede külge tolmu, mis on hõlpsasti eemaldatav	Niiskelt võimalik ainult kuulikesi veeretada. Paraja niiskuse juures on võimalik veeretada kuni 3 mm jämeduseks nööriks, mis murdub painutamisel	Sidusus ja kleepuvus peaaegu puuduvad. Labidaga kaevatud tükid purunevad august välja viskamisel. Labida vastu olnud pind on kare	Tükid purunevad kergesti näppude vahel pigistamisel. Murdepind kare, liivaterade ülekaaluga. Küntud kuivanud mullal kõndimisel tundub jala all pehme
Liiv	Olenevalt terade jämedusest enam või vähem kare. Ei määri kätt	Ei lase end kuulikesteks voolida	Laialivalguv mass. Labidalt visatud tükid pudenevad laiali	Kuivanult tükki ei jää

* Rullimiseks tuleb proov niisutada kuni peaaegu plastilisuse ülempiirini (voolavuse piirini) Atterbergi järgi. Sellise niiskuse juures proov läigib ja määrib.

** Küntud põllul kõndides avalduvad mulla omadused kõige paremini suvel mustkesal.

«sõrmeproovi» tehes niisutatud mulda sõrmede vahel agregaatide lõhkumiseks tükk aega hõõruda ja siis alles määrata mullaliik.

e) Huumuskihist võetud proovide määramisel tuleb arvestada, et huumus muudab liivad näiliselt raskemaks ja savid näiliselt kergemaks.

3. VOOLAVAD PINNASED (VESILIIVAD)

Voolavateks pinnasteks (vesiliivadeks) nimetatakse pinnaseid, millel on. täieliku veemahutavuseni küllastunult vedelikele omaseid tunnuseid (voolavus ja pinnale asetatud esemete sissevajumine vibreerumisel). Voolavas seisundis võivad esineda mehaaniliselt koostiselt väga mitmesugused pinnased: liivad, sidusad liivad (kerged saviliivad) ja saviliivad. On märgitud isegi juhtumeid, kus voolavas seisundis on esinenud ka liivsavipinnased ja kruusad.

Vesiliiva omadused tekivad pinnasele pinnaseosakeste veega kattumise tõttu, mille tagajärjel pinnaseosakeste omavahelised külgetõmbejõud vähenevad. Seega on üheks põhiliseks pinnaste voolavusele kaldumise tingimuseks pinnaseosakeste hügrofiilsus (hügrofiilsete kolloidide esinemine). Voolavuse kutsub esile hüdrodünaamiline rõhk pinnases. Tähtsaks voolavuse tekkimise tingimuseks on ka pinnaseosakeste kuju, sest ümmargustest või läätsjatest osakestest koosnevad pinnased kalduvad voolavusele kergemini kui korrapäratu kujuga osakestest koosnevad pinnased.

Voolavaid pinnaseid liigitatakse:

ebavesiliivad — voolavad ainult teatava hüdraulilise kalde juures (hüdraulilise surve lakkamisel muutuvad püsivaiks). Peamiselt merelised või jääjärvede peeneteralised liivad. Ebavesiliivade kaevikutesse valgumine on välditav vastava kuivenduse abil (nõlvadrenaaž, veepinna järkjärguline alandamine pinnases);

pärisvesiliivad — voolavus on tingitud teatava hulga hüdrofiilsete kolloidide esinemisest. Pärisvesiliiva kuivendamine on raskendatud, sest vesi on neis seotud hüdrofiilsete kolloidide poolt ega eraldu tavalisel kuivendamisel. Ka on nende veeläbilaskvus väike.

Tõenäoliselt esineb kahe nimetatu vahel ka hulk mitmesuguseid üleminekuastmeid.

Andmed pärisvesiliivade esinemise kohta Eestis puuduvad, ebavesiliivade esinemine maaparandusobjektidel on üsna tavaline.

4. MULLA (PINNASE) ERIKAAL

Erikaaluks nimetatakse mulla (resp. pinnase) tahke faasi mingi mahuühiku kaalu vastavates kaaluühikutes (tavaliselt 1 cm^3 kaal grammides).

Erikaal tuleneb valemist:

$$\gamma_0 = \frac{g_0}{m},$$

milles γ_0 — erikaal,
g_0 — absoluutkuiva mulla (pinnase) kaal grammides ja
m — mulla (pinnase) tahke faasi maht cm^3-tes ilma pooride mahuta.

Erikaal oleneb mulla (pinnase) mineraalosa mineraloogilisest ja petrograafilisest koostisest ning orgaanilise aine sisaldusest mullas. Turba erikaal oleneb turba botaanilisest koostisest ja lagundumisastmest. Erikaal määratakse laboratoorselt.

Tabel 2-20

Mulla (pinnase) keskmisi erikaale
(kirjanduse ning «Eesti Põllumajandusprojekti» laboratoorsete analüüside andmeil)

Mulla- (pinnase-) liik	Erikaal	Tõenäoline viga	
		g/cm³	%-des
Liiv	2,66	±0,010	±0,36
Saviliiv	2,70	±0,017	±0,63
Liivsavi	2,71	±0,020	±0,74
Savi	2,74	±0,027	±0,99
Munakaline liivsavi	2,68		
Kruus, veeris	2,65 ... 2,80		
Liivakivi (peeneteraline)	2,69		
Dolomiit	2,78		
Paas	2,70		
Huumusrikas muld	2,4 ... 2,5		
Turvastunud muld	2,0		
Madalsooturvas	1,52 ... 1,63		
Rabaturvas	1,40 ... 1,57		

Turvaste ja turvastunud mineraalmuldade erikaalu on orienteerivalt võimalik arvutada ka mineraalosise sisalduse alusel. Tabelis 2-21 on toodud andmed erikaalu ja turba või turvastunud muldade mineraalosise sisalduse vahelise seose kohta (ВНИИГиМ'i järgi).

Tabel 2-21

Turvaste ja turvastunud mineraalmuldade erikaalu sõltuvus mineraalosise sisaldusest

Mineraalosise sisaldus	Erikaal (g/cm³)	Mineraalosise sisaldus	Erikaal (g/cm³)
5	1,42	50	1,98
10	1,47	60	2,13
20	1,65	70	2,25
30	1,74	80	2,40
40	1,86	90	2,52

5. MAHUKAAL

Mahukaaluks nimetatakse mulla (pinnase) mingi mahuühiku kaalu vastavas kaaluühikus (näiteks kuupmeetri mulla kaal tonnides).*

Looduslik mahukaal (γ_l) saadakse, kui rikkumata struktuuriga looduslikus seisukorras olev teatud mahuga proov kaalutakse.

Looduslik mahukaal arvutatakse valemist

$$\gamma_l = \frac{g}{V_l}\ (g/cm^3),$$

milles g — proovi kaal loodusliku niiskuse juures grammides ja
V_l — proovi maht loodusliku niiskuse juures cm³.

* Kirjanduses esineb ka juhtumeid, kus sellest reeglist kinni ei peeta ja mahukaal antakse ulatuselt erinevates ühikutes, näiteks kuupmeetri pinnase kaal kilogrammides.

Skeletimahukaal (γ_s) — sama proovi kaal absoluutkuivalt. Skeletimahukaal arvutatakse valemist

$$\gamma_s = \frac{g_0}{V_1} \text{ (g/cm}^3\text{)},$$

milles g_0 — kuiva proovi kaal grammides.

Skeletimahukaalu abil arvutatakse erikaalust lähtudes pinnase poorsus ja sellest tulenevad näitajad (vajumine, survetugevus jne.). Muldade uurimisel arvutatakse mahukaalu abil laboratoorsetel määramistel saadud taimetoitainete kogused, $CaCO_3$ vajadus jne. 1 ha künnikihi peale.

Peale skeletimahukaalu eristatakse veel kuiva pinnase mahukaalu. Teatavasti kahanevad plastilised pinnased kuivamisel mahult. Selle tõttu on kuiva pinnase mahukaal suurem kui skeletimahukaal.

Kuiva pinnase mahukaal arvutatakse valemist

$$\gamma_k = \frac{g_0}{V_2} \text{ (g/cm}^3\text{)},$$

milles V_2 — kuivatatud proovi maht.

Kuiva pinnase mahukaalu kasutatakse pinnase minimaalse poorsuse määramisel.

γ_1, γ_s ja niiskuse (N) vaheline seos väljendub juhul, kui niiskus antakse suhtarvuna mulla kuivainest, valemist

$$\gamma_s = \frac{\gamma_1}{1+N}.$$

Mulla (pinnase) mahukaal kõigub suurtes piirides, olenedes mulla (pinnase) erikaalust ja tihedusest (lasuvusest) ja teistest teguritest.

Tabel 2-22

Mulla (pinnase) keskmisi orienteerivaid skeletimahukaalusid (γ_s)

Mulla-(pinnase-) liik	Skeletimahukaal
Liiv	1,48 ... 1,70
Liiv, tihe	1,60 ... 1,90
Saviliiv	1,45 ... 1,65
Liivsavi (mittekarbonaatne)	1,30 ... 1,50
Liivsavi, karbonaatne	1,20 ... 1,40
Kivine liivsavimoreen	1,50 ... 1,90
Liivakivi	1,75 ... 2,65
Paas	2,15 ... 2,30
Kruus, veeris	1,80 ... 2,00
Dolomiit	2,55
Põllumuldade huumushorisont	1,08 ... 1,13
Mitmesuguste muldade sisseuhtehorisont	1,5 ... 1,9
Soostunud muldade turvastunud horisont	0,5 ... 1,0

Tabel 2-23

Rabaturba mahukaal turbalasundis (t/m³)

Turba niiskus %-des	Parandus madalsooturba mahukaalu leidmiseks	Lagundumisaste %-des												Parandus madalsooturba mahukaalu leidmiseks
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
94	+0,04 ...	0,68	0,90	0,99	—		+0,06 ... 0,09							
93	0,05	0,62	0,84	0,94	1,03									
92	+0,02 ...	0,57	0,79	0,90	0,98	1,03								
91	0,03	0,52	0,75	0,86	0,94	0,98	1,03							
90		0,49	0,71	0,82	0,90	0,96	0,99	1,01			+0,04 ...			
89		0,46	0,67	0,79	0,87	0,92	0,96	0,99	1,02	1,03	0,05			
88		0,43	0,64	0,75	0,84	0,89	0,93	0,97	0,99	1,01	1,03			+0,02 ...
87	+0,01	0,40	0,61	0,72	0,81	0,86	0,91	0,94	0,97	0,99	1,00	1,02	1,03	0,03
86		0,38	0,58	0,70	0,78	0,84	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	+0,01
85		0,36	0,55	0,67	0,75	0,81	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	
84		0,34	0,53	0,65	0,73	0,79	0,83	0,87	0,90	0,93	0,94	0,96	0,97	0
83		0,33	0,51	0,63	0,71	0,77	0,82	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	−0,01
82		0,31	0,49	0,61	0,68	0,74	0,79	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	
81	0	0,30	0,47	0,59	0,66	0,72	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	−0,02
80		0,29	0,45	0,57	0,65	0,71	0,75	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89	0,90	
78		0,26	0,42	0,53	0,61	0,67	0,72	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	
76		0,25	0,37	0,51	0,58	0,64	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	−0,03
74		0,23	0,35	0,48	0,55	0,61	0,66	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,81	
72		0,22	0,40	0,46	0,53	0,58	0,63	0,67	0,70	0,72	0,75	0,77	0,79	−0,04
70		0,20	0,34	0,44	0,50	0,56	0,60	0,64	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	
60	−0,01	0,16	0,27	0,35	0,41	0,46	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	−0,05
50		0,13	0,22	0,30	0,35	0,39	0,43	0,46	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	
40		0,11	0,19	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	−0,06
30		0,09	0,16	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,39	0,42	0,43	0,45	0,47	
0		0,066	0,118	0,166	0,197	0,277	0,255	0,280	0,299	0,319	0,335	0,352	0,357	
			−0,02		−0,03		−0,04			−0,05				

Tabel 2-24

Raba-freesturba mahukaal puistes L. Apti järgi (t/m³)

Turba niiskus %-des	Lagundumisaste %-des											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
80	0,156	0,266	0,350	0,448	0,472	0,518	0,556	0,589	0,618	0,642	0,664	0,684
78	0,144	0,246	0,327	0,392	0,446	0,491	0,530	0,563	0,592	0,617	0,639	0,659
76	0,133	0,229	0,306	0,369	0,422	0,467	0 505	0,539	0,568	0,594	0,617	0,637
74	0,123	0,214	0,287	0,349	0,400	0,444	0,483	0,516	0,545	0,571	0,595	0,615
72	0,115	0,201	0,272	0,331	0,381	0,425	0,462	0,495	0,525	0,551	0,575	0,596
70	0,108	0,189	0,256	0,313	0,363	0,405	0,443	0,475	0,505	0,531	0,555	0,577
68	0,102	0,178	0,243	0,299	0,346	0,388	0,425	0,458	0,487	0,513	0,537	0,559
66	0,096	0,169	0,231	0,284	0,331	0,372	0,408	0,440	0,470	0,496	0,520	0,541
64	0 091	0,160	0,220	0,272	0,317	0,357	0,393	0,425	0,453	0,480	0,503	0,525
62	0,087	0,153	0,210	0,260	0,304	0,344	0,379	0,410	0,438	0,465	0,488	0,510
60	0,083	0,146	0,201	0,250	0,292	0,331	0,365	0,397	0,425	0,450	0,475	0,497
58	0,080	0,140	0,193	0,240	0,282	0,319	0,353	0,384	0,412	0,438	0,461	0,483
56	0,076	0,134	0,185	0 231	0,272	0,308	0,342	0,372	0,399	0,425	0,448	0,469
54	0,073	0,129	0,178	0,222	0,262	0,298	0,330	0,360	0,387	0,412	0,435	0,457
52	0,070	0,124	0,172	0,214	0,253	0,258	0,320	0,350	0,376	0,401	0,424	0,445
50	0,068	0,119	0,165	0,207	0,244	0,279	0,310	0,339	0,366	0,390	0,412	0,434
48	0 065	0,115	0,159	0,200	0,236	0,270	0,300	0,329	0,355	0,379	0,401	0,422
46	0 063	0,111	0,154	0,194	0,229	0,262	0,292	0,320	0,346	0,370	0,392	0,413
44	0,061	0,107	0,149	0,187	0,222	0,255	0,284	0,311	0,337	0,360	0,382	0,403
42	0,059	0,101	0,145	0,182	0,216	0,248	0,276	0,303	0,328	0,352	0,373	0,394
40	0,057	0,101	0,140	0,177	0,210	0,241	0,269	0,296	0,320	0,343	0,365	0,385
38	0,056	0,098	0,136	0,171	0,204	0,234	0,262	0,288	0,312	0,335	0,353	0,376
36	0 054	0,095	0,132	0,167	0,198	0,228	0,255	0,281	0,305	0,327	0,348	0,368
34	0,053	0,092	0,128	0,162	0,193	0,222	0,249	0,274	0,298	0,320	0,341	0,360
32	0 052	0,090	0,125	0,158	0,188	0,217	0,243	0,268	0,291	0,313	0,333	0,352
30	0,050	0,088	0,122	0,154	0,183	0,211	0,237	0,262	0,284	0,306	0,326	0,345
28	0,049	0,085	0,119	0,150	0,179	0,206	0,232	0,255	0,278	0,299	0,319	0,338
26	0 048	0,083	0,116	0,146	0,175	0,201	0,226	0,250	0,272	0,293	0,313	0,331
24	0,047	0 081	0,113	0,143	0,171	0,197	0,221	0,244	0,266	0,287	0,306	0,324
22	0,046	0,079	0,110	0,139	0,167	0,192	0,216	0,239	0,261	0,281	0,300	0,318
20	0,045	0,077	0,108	0,136	0,163	0,188	0,212	0,234	0,255	0,275	0,294	0,312

Märkus. Madalsoo-freesturba mahukaalu leidmiseks tuleb tabelis antud arvudele liita 0,03.

Tabel 2-25

Turba skeletimahukaalu ja poorsuse näitajaid Eesti NSV turbalasundite pindmises, 15 ... 25 cm sügavuses kihis (kõikumine / keskmine) kg/m³

Turba nimetus	Lagundumisaste %-des		Mahukaal kg/m³		Poorsus (%-des turba mahust)	
	Põhja-Eesti	Lõuna-Eesti	Põhja-Eesti	Lõuna-Eesti	Põhja-Eesti	Lõuna-Eesti
Madalsooturbad						
Puuturvas	30 ... 70 / 49	35 ... 50 / 41	151 ... 265 / 193	137 ... 252 / 175	83,6 ... 94,3 / 88,1	85,0 ... 91,2 / 89,2
Puu-tarnaturvas	35 ... 60 / 45	20 ... 35 / 29	144 ... 251 / 183	115 ... 182 / 145	84,2 ... 91,2 / 88,0	88,1 ... 92,5 / 90,6
Puu-pillirooturvas	—	20 ... 45 / 31	—	106 ... 173 / 147	—	89,1 ... 93,2 / 90,9
Tarnaturvas	25 ... 60 / 37	20 ... 30 / 25	98 ... 280 / 156	103 ... 155 / 136	82,6 ... 93,7 / 89,2	90,8 ... 93,6 / 91,7
Tarna-lehtsamblaturvas	25 ... 50 / 33	—	69 ... 198 / 126	—	87,8 ... 95,7 / 92,0	—
Siirdesooturvas						
Puu-sfagnumiturvas	20 ... 35 / 27	25 ... 30 / 27	91 ... 104 / 98	66 ... 108 / 87	93,6 ... 94,0 / 93,8	93,3 ... 95,8 / 94,5
Rabaturbad						
Männi-sfagnumiturvas	20 ... 30 / 25	20 ... 25 / 18	69 ... 125 / 95	74 ... 88 / 84	92,0 ... 95,8 / 93,9	94,3 ... 95,5 / 94,7
Villpea-sfagnumiturvas	15 ... 30 / 20	5 ... 20 / 13	109 ... 125 / 117	55 ... 107 / 84	92,2 ... 93,4 / 92,8	93,9 ... 96,5 / 94,8
Fuskumiturvas	10 ... 15 / 11	5 ... 20 / 10	57 ... 101 / 69	49 ... 94 / 74	93,5 ... 96,6 / 95,7	94,2 ... 96,8 / 95,3

Tabel 2-26

Ekskavaatoriga väljakaevatud hunnikus oleva rabaturba mahukaal (t/m³)

Turba niiskus %-des	Parandused madalsooturba mahukaalu leidmiseks	Lagundumisaste %-des								Parandus madalsooturba mahukaalu leidmiseks
		20	25	30	35	40	45	50	55	
60	+0,04	0,44	0,48	0,51	0,54	0,55	0,57	0,59	0,60	
58		0,42	0,46	0,49	0,52	0,53	0,55	0,57	0,58	
56		0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,54	0,55	0,57	
54		0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,55	
52		0,38	0,41	0,45	0,47	0,50	0,52	0,53	0,54	
50		0,37	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	
48	+0,03	0,35	0,39	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,51	+0,05
46		0,34	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,50	
44		0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,47	0,48	0,49	
42		0,32	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	
40		0,31	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,47	0,47	
38		0,31	0,33	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	
36		0,30	0,32	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	
34		0,29	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	
32	+0,02	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	+0,04
30		0,27	0,31	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,44	
20		0,23	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	+0,03
10		0,20	0,24	0,27	0,29	0,31	0,34	0,36	0,38	

Turbalasundi pealmises kihis on turba mahukaal tabelis 2-23 toodud näitajaist väiksem. Nii kõigub Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi Tooma katsebaasis läbiviidud uurimiste andmeil turbalasundi pealmises, 15...25 cm sügavuses kihis erineva botaanilise koostisega ja erineva lagundumisastmega absoluutkuiva turba mahukaal 0,049...0,265 t/m³ piirides (tab. 2-23 alusel on vastavad arvud 0,065...0,357). Üksikasjalisemad andmed Eesti NSV turbalasundite turvaste mahukaalu ja poorsuse kohta pindmises kihis on toodud tabelis 2-25.

Turba mahukaalu järgi hinnatakse ka soode viljelusväärtust. Nii on sood, kus turba mahukaal on:

alla 0,10	— madala viljelusväärtusega
0,1 .. 0,15	— keskmise „
0,15...0,20	— hea „
üle 0,20	— väga hea „

6. POORSUS

Poorsuse all mõistetakse seda osa mulla (pinnase) mahust, mille võtavad enda alla mulla (pinnase) vedel ja gaasiline faas. Poorsus väljendub valemis:

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_0}\right) 100,$$

milles n — poorsus %-des;
γ_s — mulla skeletimahukaal ja
γ_0 — erikaal.

Mulla (pinnase) poorsusest oleneb mulla (pinnase) õhu- ja veemahutavus, filtratsioonikoefitsient, vajumine ja hulk teisi omadusi.

Poorsus varieerub mitmesugustes muldades (pinnastes) väga suurtes piirides. Orienteerivaid andmeid poorsuse kohta on toodud tabelis 2-27.

Tabel 2-27

Mulla (pinnase) poorsus (%-des mulla mahust)

Mulla (pinnase) nimetus	Poorsus*
Savi, raske	50...64
Savi, kerge ja keskmine	45...60
Liivsavi, raske	40...55
Liivsavi, keskmine	40...52
Liivsavi, kerge	38...50
Saviliiv	35...45
Liiv, savikas	32...40
Liiv	30...38
Turvas, halvasti lagundunud	60...92
Turvas, hästi lagundunud	60...97
Turvastunud muld (A-horisont)	kuni 80

Poorsus on mullaprofiili eri horisontides erinev.

Mulla gleistunud horisontides on poorsus väiksem. Nii on A. A. Rode järgi liivsavi- ja savimuldade gleistunud horisontides poorsus 25...30%.

Pinnase poorsuse iseloomustamiseks kasutatakse ka mõistet poorsuskoefitsient (ε), mis kujutab endast pooride mahu suhet pinnase tahke faasi mahusse. Poorsuskoefitsient arvutatakse valemist

$$\varepsilon = \frac{n}{100 - n},$$

milles n — poorsus %-des.

НиТУ—127-55 järgi loetakse liivad olenevalt ε suurusest kobedaiks, keskmise tihedusega või tihedaiks vastavalt tabelis 2-28 toodud näitajaile.

Tabel 2-28

Liivade liigitus tiheduse alusel

Pinnaseliik	Poorsuskoefitsient (ε)		
	tiheda	keskmise tihedusega	kobeda
	pinnase puhul		
Jämedad, keskmised ja kruusakad liivad	0,55	0,55...0,65	0,65
Peenliivad	0,60	0,60...0,70	0,70
Tolmjad liivad	0,60	0,60...0,80	0,80

Pinnase poorsuse ja veesisalduse järgi iseloomustatakse insenertehnilistel uurimistel osal pinnastel ka nende niiskusseisundit. Liivakad ja makropoorsed savikad pinnased loetakse НиТУ 127-55 järgi veega küllastunuks, kui üle 80% pooride mahust on veega täidetud. Kui pooride mahust on täidetud 50...80%, loetakse pinnas väga niiskeks ja vähem kui 50% puhul nõrgalt niiskeks.

* Võrdluseks olgu märgitud, et ühesuurustest kerakujulistest osakestest koosneva süsteemi poorsus on osakeste kuubilise pakkimisviisi juures 47,64%, rombilise pakkimisviisi juures 39,54% ja tetraeedrilise pakkimisviisi juures 26,18%.

7. PLASTILISUS

Plastilisuse all mõistetakse mulla (pinnase) omadust muuta väliste jõudude mõjul oma vormi (deformeeruda), säilitades seejuures terviklikkuse ja jäädes saadud vormi ka pärast välismõju lakkamist. Plastilisus oleneb pinnase mehaanilisest koostisest ja füüsikalis-keemilistest omadustest. Plastilisus avaldub ainult teatava konsistentsi juures.

Tabel 2-29

Sidusate pinnaste konsistentsi iseloomustus

Konsistents	Konsistentsi iseloomustus	Konsistentsi iseloomulikud piirid
Kõva	Pinnas kõva keha omadustega	Kahanemise piir
Poolkõva	Pinnas poolkõva keha omadustega	Plastilisuse alampiir (nööriks rullimise piir)
Sidus-plastiline	Pinnas plastilise massi omadustega; ei kleepu	Kleepumise piir
Kleepuv-plastiline	Pinnas plastilise massi omadustega, esemete külge kleepuv	Plastilisuse ülempiir (voolavuse alampiir)
Püdel-voolav	Pinnas valgub laiali paksu kihina	
Vedel-voolav	Pinnas valgub laiali õhukese kihina	Voolavuse ülempiir

Vahet pinnase veesisalduses plastilisuse ülempiiri ja alampiiri vahel nimetatakse plastilisuse arvuks. Mida suurem on plastilisuse arv, seda plastilisem on pinnas. Pinnase plastilisuse hindamisel kasutatakse (НиТУ 127-55 järgi) tabelis 2-30 toodud norme.

Tabel 2-30

Pinnaste iseloomustus plastilisuse arvu alusel

Pinnase iseloomustus	Plastilisuse arv (P)
Tugevasti plastilised pinnased (savid)	> 17
Plastilised pinnased (liivsavid)	7...17
Nõrgalt plastilised pinnased (saviliivad)	1...7

Tabel 2-31

Näitajaid pinnase plastilisuse välimääramiseks

Pinnase rullimisel saavutatava nööri jämedus (mm)	Plastilisuse arv (Atterbergi järgi)
0,75	18
1	18...14
1...2	14...10
2...3	10...6
3...4	3...1
4...8	1

Plastilisuse piiride ja loodusliku niiskuse alusel määratakse plastiliste pinnaste konsistentsi. Pinnase konsistentsi näitaja arvutatakse järgmise valemi abil:

$$\beta = \frac{N - N_a}{N_ü - N_a},$$

milles $N_ü$ — niiskus plastilisuse ülempiiri (voolavuse alampiiri) juures;
N — pinnase niiskus;
N_a — niiskus plastilisuse alampiiri juures ja
β — pinnase konsistentsi näitaja.

Vastavalt β väärtusele jaotatakse plastilised pinnased järgmiselt:

$$\beta < 0 \text{ — kõvad,}$$
$$0 \leqslant \beta \leqslant 1 \text{ — plastilised ja}$$
$$\beta > 1 \text{ — voolavad.}$$

Konsistentsi näitaja arvutamiseks kasutatakse ka valemit

$$\alpha = \frac{N_ü - N}{N_ü - N_a},$$

kus α — konsistentsi näitaja, teiste sümbolite tähendus on sama mis eelmises valemis.

Tabel 2-32

Pinnaste iseloomustus konsistentsi näitaja alusel

Konsistentsi näitaja (α)	Pinnase iseloomustus
1	kõva
0,75 ... 1	poolkõva
0,50 ... 0,75	kõva-plastiline
0,25 ... 0,50	rehme-plastiline
0 ... 0,25	voolav-plastiline
0	voolav

8. SIDUSUS

Sidususe all mõistetakse mulla (pinnase) omadust avaldada vastupanu jõududele, mis püüavad mulla osakesi üksteisest eraldada.

Sidusus oleneb peamiselt mulla (pinnase) mehaanilisest koostisest (eeskätt kolloidide sisaldusest), niiskusest, struktuurist ja mullakolloidide seisundist (mullakolloidide koaguleerumist soodustava kaltsiumi lisamise teel on võimalik mulla sidusust vähendada).

Pinnaste jaotus, olenevalt sidususest (НиТУ 127-55 järgi):

a) savikad ehk sidusad pinnased — plastilisuse arv > 1;

b) liivakad ehk pudedad pinnased — plastilisuse arv < 1, kusjuures kruusa- resp. veerise- või rähasisaldus on alla 50%;

c) koreselised pinnased — mittetsementeerunud pinnased, milles kruusa- resp. veerise- või rähasisaldus on üle 50%;

d) kaljused pinnased — tard- või settekivimid, mis lasuvad kas lausaldase massiivina või kihtidena. Sellest grupist eraldatakse poolkaljused pinnased (liivakivi, lubituff), kui nende survetugevus veega küllastunud seisundis on alla 50 kg/cm^2.

Pudedate pinnaste (liivade) iseloomustamiseks määratakse nende looduslik kaldenurk, mille suurus kõigub kuiva pinnase puhul enamasti 28° ... 36° piirides, vee all enamasti 20° ... 30° piirides.

9. KLEEPUVUS

Kleepuvuseks nimetatakse mulla võimet kleepuda märjas olekus teiste kehade külge. Kleepuvus oleneb mulla lõimisest, kolloidide sisaldusest, niiskusest ja asenduskompleksis neeldunud katioonidest.

Mulla sidususest ja kleepuvusest tulenev veotakistus mulla harimisel ehk nn. mulla eritakistus on antud tabelis 2-33.

Tabel 2-33

Muldade eritakistus

Muldade grupid	Eritakistus (kg/cm²)
Savimullad	0,6 . . . 0,7
Rasked liivsavimullad	0,4 . . . 0,7
Keskmised liivsavimullad	0,3 . . . 0,5
Kerged liivsavimullad	0,3 . . . 0,4
Saviliivmullad	0,2 . . . 0,3

Mulla eritakistuse alusel arvutatakse näiteks veotakistus künnil.

Näide. Künni sügavus 25 cm, künniviilu laius 50 cm ja mulla eritakistus 0,5 kg/cm². Kogu veotakistus: $25 \times 50 \times 0{,}5 = 625$ kg.

Tabel 2-34

Muldade jaotus eritakistuse alusel

Mullagrupp ja -liik	Eritakistus (kg/cm²)
Rasked mullad (rasked savi-, liivsavi-, rähk- või kruusmullad)	0,55 . . . 0,80
Keskmised mullad (rasked savikad, liivsavi-, rähk- või kruusmullad)	0,35 . . . 0,55
Kerged mullad (liiv- ja saviliivmullad ning huumuslikud, struktuursed kerged liivsavimullad)	0,20 . . . 0,35

10. TERMILISI OMADUSI

Mulla soojuse neelamise võimeks nimetatakse mulla omadust akumuleerida päikeselt saadud soojust, mis väljendub peegeldunud energia (A) ja päikeselt saadud energia (E) suhtega ning antakse tavaliselt %-des. Suhet $\frac{A}{E}$ nimetatakse peegeldumisvõimeks ehk albedoks, mis on muldadel keskmiselt 20%. Mulla soojuse neelamise võime (seega ka mulla soojenemine) oleneb mulla värvusest, pinna kujust (kallakust) ja mulla niiskusest.

Mulla soojusmahutavuseks nimetatakse soojuse hulka, mis on vajalik ühe kaaluühiku (g) mulla temperatuuri tõstmiseks 1° võrra.

Mulla eri faaside soojusmahutavus on kalorites 1 cm³ mulla kohta:

Vabal veel mullas	1
Seotud veel	0,7
Mulla mineraalsel faasil, keskmiselt	0,3
Mulla orgaanilisel faasil (absoluutkuivas olekus)	0,15
Mulla gaasilisel faasil	0,000306

Et mulla normaalne veesisaldus, mis on lähedane kapillaarsele veemahutavusele, on kergetel muldadel väiksem ja rasketel muldadel suurem

Tabel 2-35

Mulla soojusmahutavus erineva niiskuse juures (kalorites)

Mullaliik	Niiskus %-des üldisest poorsusest					
	0	20	40	60	80	100
Liiv	0,302	0,385	0,468	0,551	0,634	0,717
Savi	0,204	0,357	0,473	0,590	0,706	0,823
Turvas	0,148	0,300	0,499	0,600	0,750	0,902

(liivadel 10%, rasketel savidel 24% kuiva mulla kaalust), vajavad rasked mullad rohkem soojust mulla temperatuuri samale tasemele tõstmiseks. Seega on kergetel muldadel temperatuur samades kliimatingimustes mõnevõrra kõrgem kui rasketel muldadel.

Mulla soojusjuhtivus on mulla võime soojust edasi anda. Seda väljendatakse soojuse hulga kaudu kalorites, mis läbib sekundis 1 cm paksuse mullakihi ühekraadilise temperatuurivahe puhul. Mulla soojusjuhtivus oleneb mullaliigist ja veesisaldusest (vee soojusjuhtivus on 0,00124, õhu soojusjuhtivus 0,00005).

1,24E-3 5.E-5

Tabel 2-36

Mulla (pinnase) soojusjuhtivus

Mulla (pinnase) nimetus	Soojusjuhtivus	
	õhukuivalt	veega küllastunult
Graniit	0,0053	—
Paas	0,0047	—
Peenike liiv	0,00046	0,00390
Jäme liiv	0,00047	0,00410
Saviliiv	0,00045	0,00320
Liivsavi	0,00033	0,00210
Turvas	0,00027	0,00110

Soojus kulub mullas vee aurustamiseks ja kiirgamiseks. Suurema veesisalduse tõttu kaotavad liigniisked maad vee auramise läbi rohkem soojust kui parasniisked mullad.

Mulla külmumine ja sulamine. Mulla külmumise sügavus oleneb õhu temperatuurist, lumikatte paksusest ja seisukorrast (kas kobe või kinni tallatud), mulla veesisaldusest ja teistest teguritest. Külmumine toimub seda aeglasemalt, mida suurem on mulla veesisaldus. Soomullad külmuvad tunduvalt aeglasemalt kui mineraalmullad.

Mineraalmullad külmuvad kõige sagedamini kuni 40 cm sügavuseni. Vähese lumega külmematel talvedel ulatub külmumine aga palju sügavamale. Näiteks 1953/54. a. külmus muld 1,27 m-ni ja enam, 1939/40. a. kuni 1,9 meetri sügavuseni. Viimast võib lugeda meil praktiliselt ka suurimaks külmumissügavuseks.

Soomuldades ulatub külmumine 30...45 cm-ni. Soomuldade külmumise sügavus oleneb kuivendamise intensiivsusest. Kõrge põhjaveega soomullad külmuvad vähem — kuni 30 cm, hästi kuivendatud soomullad rohkem — kuni 45 cm sügavuseni.

Muldade külmumine algab novembris-detsembris. Maksimaalse sügavuse saavutab külmumine veebruari lõpul — märtsi alguses.

Mineraalmullad sulavad tavaliselt aprilli keskel, soomullad ca 1...1,5 kuud hiljem.

11. MULLA KÜPSUS

Mulla küpsuse all mõistetakse mulla seisundit, mille puhul ta osutab kõige väiksemat vastupanu harimisriistadele, murenedes harimise juures väikesteks tükkideks.

M. H. Pigulevski järgi on harimist võimaldava niiskuse alampiiriks veesisaldus, mis vastab umbes poolteisekordsele maksimaalsele hügroskoopsusniiskusele (närbumiskoefitsiendile). Sellest väiksema niiskuse puhul tõuseb sidusamatel muldadel järsult mulla sidusus, mille tõttu suureneb veotakistus ning saadakse panklik, mittekvaliteetne künd.

Harimist võimaldava niiskuse ülempiiri puhul on muld veega küllastunud ja künniviil läigib. Sellise niiskuse puhul on sidusus mullaagregaatides väike ja nad purunevad harimisel kergesti.

12. MULLA STRUKTUUR

Mulla struktuur on mulla tahke faasi mehaaniliste elementide või nende liitumisel tekkinud moodustiste (agregaatide) koetis.

Eristatakse: a) makrostruktuuri, kus struktuurielementide läbimõõt on üle 0,25 mm, ja b) mikrostruktuuri, kus struktuurielementide läbimõõt on alla 0,25 mm.

Olenevalt agregaatide kujust eristatakse plaatjat, tulpjat, prismaatilist, sõmeralist, pähkeljat, tompjat jt. morfoloogilisi struktuurivorme. Sõltuvalt struktuuriüksuste läbimõõdust liigitatakse näiteks pähkelja ja sõmeralise struktuuriga mullad järgmiselt:

Jämepähkeljas	osade	Ø	20...15 mm
Pähkeljas	„	„	15...10 „
Peenpähkeljas	„	„	10...7 „
Jämesõmeraline	„	„	7...5 „
Sõmeraline	„	„	5...3 „
Peensõmeraline	„	„	3...0,5 „
Tolmjas (jahujas)	„	„	<0,5

Mulla bioloogilised, füüsikalised, keemilised, hüdrofüüsikalised jt. omadused sõltuvad mulla agregaatsusest ja selle tõttu on mulla agregaatanalüüsi andmed mehaanilise koostise analüüsi andmete kõrval väga olulise tähtsusega, eriti mulla mehaaniliste ja hüdrofüüsikaliste omaduste hindamisel. Agregaatanalüüsi andmeid mehaanilise koostise analüüsi andmetega võrreldes määratakse näiteks muttdreenide püsivus.

Eriti suur vahe mehaanilise koostise ja agregaatanalüüsi andmete vahel saadakse lubjarikastel muldadel. Lubjarikkad mullad tunduvad liivaterakesi meenutavate agregaatide sisalduse tõttu välitöödel sõrmeproovi tehes kergema lõimisega muldadena, kui nad tegelikult on (liivsavid saviliivadena). Mulla mehaanilisele koostisele vastavad omadused avalduvad lubjarikastel muldadel alles pärast agregaatide purustamist (maaparandusobjektidel näiteks karjateedel).

Mulla struktuur oleneb kolloidide sisaldusest ja nende seisundist, mulla bioloogilistest protsessidest jt. tegureist. Struktuuri püsivus oleneb tegevhuumusest, neeldumiskompleksis olevatest katioonidest, mulla bioloogiast, taimkattest jm.

Mulla struktuuril on eriti savikatel muldadel määrav tähtsus mulla vee- ja õhurežiimile. Viimane asjaolu teeb mulla struktuuri üheks tähtsamaks mulla viljakuse tingimuseks.

Üksikteralise struktuuriga mullas kujutavad poorid endast peenkapillaarset süsteemi, milles vee liikumise määravad kapillaarsuse seaduspära-

sused. Üksikteralises või jahuja struktuuriga mullas on vesi ja õhk antagonistid. Vesi, tungides mulda peeni kapillaare mööda, tõrjub sealt välja õhu ja mullas tekib anaeroobne keskkond, milles kultuurtaimede juured ei arene.

Suuremate struktuurielementide olemasolu korral on mulla pooride iseloom (suurus) erinev üksikteralise struktuuriga muldade pooride iseloomust.

Struktuurielementide sees on väikesed poorid üksikute mullaosakeste vahel; need on nn. kapillaarsed poorid ehk mikropoorid, struktuurielementide vahel olevad suured poorid moodustavad nn. mittekapillaarsed poorid ehk makropoorid.

Mikropoorid, milles vesi liigub kapillaarsuse seaduste kohaselt, kujunevad mulla veehoidlateks. Makropooridest valgub vesi raskusjõu mõjul ära, ja see võimaldab ka küllaldase hulga õhu olemasolu mullas. Soodsa (sõmeralise või teralis-sõmeralise) struktuuriga mullas ei ole vesi ja õhk antagonistid, sest selline muld suudab akumuleerida enamiku sademete veest, samuti lumesulamisveest. Üksikteralise struktuuriga mullal valgub aga suurem osa sademete veest ja lumesulamisveest pinda mööda ära või seiskub maapinnal. Sademete vee ja lumesulamisvee akumuleerimise teel mõjutab soodsa struktuuriga muld ka maakoha üldist veerežiimi.

NSV Liidu Teaduste Akadeemia andmeil suudab 30 cm tüsedune soodsa struktuuriga künnikiht akumuleerida ilma liigniiskust tekitamata 50 mm paduvihmavett. Seega on väikese veeläbilaskvusega rasketel savimaadel sõmeralise struktuuriga künnikihi loomine veerežiimi reguleerimise võtete kompleksis väga suure tähtsusega.

13. MULDADE AGROKEEMILISI OMADUSI

Mulla agrokeemilised omadused — mulla reaktsioon, hüdrolüütiline happesus, liikuva kaali ja fosfori sisaldus, huumusesisaldus, turba tuhasus, neeldumismahutavus, küllastusaste jm. — on otseses seoses mulla viljakusega. Nimetatud omaduste teadmine võimaldab objektiivselt hinnata parandatava maa-ala kasutamise perspektiive ja kindlaks määrata vajalikke võtteid suure saagi saamiseks parandatavalt maa-alalt. Nii määratakse happelistel muldadel pH või hüdrolüütilise happesuse alusel kindlaks mulla reaktsiooni reguleerimiseks vajalikud lubiväetisannused. Kaali ja fosfor on otseselt taimetoitained; mullas leiduva liikuva kaali ja fosfori sisalduse teadmine võimaldab otstarbekamalt kasutada mineraalväetisi. Huumusesisaldus on mineraalmuldades põhiliseks potentsiaalseks viljakuse näitajaks, sest huumus on peamiseks mulla lämmastikuvarude kandjaks; soostunud mineraalmuldades näitab orgaanilise aine sisaldus mõningal määral ka muldade soostumise astet.

Muldade agrokeemilised omadused olenevad paljudest teguritest, nagu mulla lähtekivimi omadustest, muldade kultuuristamise astmest jne. Vastavalt mullatekketingimuste mitmesugusele varieerumis- ja kombineerumisvõimalustele varieeruvad ka muldade agrokeemilised omadused üsna avarais piirides.

Tabelis 2—37 on toodud orienteerivaid andmeid Eesti NSV muldade mõningate agrokeemiliste näitajate kohta. Andmed on saadud peamiselt «Eesti Põllumajandusprojektis» aastail 1952...1958 maaparandusprojektide koostamiseks tehtud mullastiku uurimistel võetud proovide analüüsimisel. Turvasmuldade keemiliste näitajate kohta on toodud andmed EMMTUI Tooma katsebaasi uurimiste järgi.

Olenevalt (Peive järgi määratud) liikuva K_2O ja (Kirsanovi järgi

Eesti NSV mineraalmuldade künnikihi (või huumushorisondi) agrokeemilisi näitajaid
(Peamiselt maaparandusobjektide mullastiku uurimiste andmeil)

Tabel 2-37

Mullaerimi nimetus	pH_{KCl}	Hüdrolüütiline happesus (mg/ekv)	Küllastusaste (%)	Liikuvaid toitaineid mg/100 g mullas		Huumust (Tjurini j.) (%)	
				K_2O (Peive j.)	P_2O_5 (Kirsanovi j.)	Põldudel	Rohumaadel
1. Leedemullad	<4,5	kuni 10	<35	<4	<5	...	...
2. Nõrgalt leetunud mullad	4,0 ... 6,5	kuni 5(10)	<90	2 ... 10(15)	1 ... 7(25)	1 ... 4(5)	2 ... 6(8)
3. Keskmiselt leetunud mullad	3,5 ... 5,5	kuni 5(14)	<60	2 ... 8(12)	1 ... 7(20)	1 ... 4(5)	2 ... 6(8)
4. Tugevasti leetunud mullad	<4,6	kuni 6(12)	<35	2 ... 6(8)	1 ... 5(10)	1 ... 4(5)	2 ... 6(8)
5. Rähksed mullad	>5,5	...	...	2 ... 10(15)	1 ... 20(300 *)	1,5 ... 6(7)	3 ... 8(10)
6. Paepealsed mullad (väga õhukesed ja õhukesed)	>5,5	...	...	2 ... 10(15)	1 ... 200(400 *)	...	5 ... 15(19 *)
7. Leostunud mullad	>5,0	kuni 4,0	>50	3 ... 6(15)	1 ... 10(25)	1,5 ... 4,5(7)	3 ... 6(8)
8. Leetjad mullad	>4,5	kuni 5(7)	>40	3 ... 6(15)	1 ... 10(20)	1,5 ... 4,5(5,5)	1,5 ... 6(8)
9. Niisked leetunud mullad	3,5 ... 6,0 (6,5)	1,5 ... 8(15)	30 ... 90	2 ... 7(11)	1 ... 10(25)	2 ... 7(10)	2,7 ... 8(11)
10. Niisked rähksed mullad	6,0 ... 7,0	...	...	2 ... 8(10)	1 ... 10(25)	3,5 ... 9(11)	4,5 ... 11(18)
11. Niisked leostunud (ja küllastunud) mullad	5,6 ... 6,8	kuni 5	>60	2 ... 6(10)	1 ... 10(20)	3 ... 8(10)	3,5 ... 8,0(11)
12. Niisked leetjad mullad	4,5 ... 6,5	kuni 8	>50	2 ... 6(10)	1 ... 10(20)	3 ... 7(10)	4 ... 12(15)
13. Märjad leetunud mullad	3,5 ... 5,5 (6,0)	3 ... 10(20)	5 ... 75	2 ... 7(10)	1 ... 7(20)	4 ... 11(17)	4 ... 13(17)
14. Märjad rähksed ja paepealsed mullad	5,5 ... 7,0	...	...	2 ... 5(8)	4 ... 15(25)	4 ... 13(20)	6 ... 17(20)
15. Märjad leostunud (ja küllastunud) mullad	5,0 ... 6,8	kuni 25(40)	>60	2 ... 6(8)	1 ... 15(25)	4 ... 13(20)	5 ... 18(25)
16. Märjad küllastumata mullad	4,0 ... 6,0	kuni 30(45)	>50	2 ... 5(7)	1 ... 15(20)	4 ... 10(15)	4 ... 15(22)
						Kuumutuskadu	
17. Turvastunud leedemullad	5,0	4 ... 20(30)	<33	...	...	20 ... 90	
18. Küllastunud turvastunud ja kõdumullad	5,0 ... 6,8 (7,0)	...	...	3 ... 6(7)	1 ... 7,5(20)	20 ... 90	
19. Küllastumata turvastunud ja kõdumullad	4,0 ... 5,5	...	...	3 ... 6(15)	1 ... 10(25)	20 ... 90	
20. Parasniisked ja niisked lammimullad	5,0 ... 6,8	...	...	2 ... 5(8)	1 ... 7(25)	4 ... 20	
21. Turvastunud lammimullad	4,5 ... 6,5	...	...	...	...	25 ... 82	

Märkus. Sulgudes antud arvud näitavad üldisest keskmisest intervallist harvem esinevaid kõrvalekaldumisi
* A. Lillema järgi.

Tabel 2-38

Eesti NSV soode turvasmuldade keemiline koostis (0...40 cm sügavuse pindmise kihi kohta %-des A. Truu järgi)

Turbaliik	Proovi võtmise koht	pH_{KCl}	Kuivaines				
			Tuhka	CaO	P_2O_5	K_2O	N
Puuturvas	Põhja-Eesti	6,1	13,9	4,3	0,20	0,06	2,8
	Lõuna-Eesti	6,3	17,1	4,1	0,23	0,10	2,9
	Keskmine		15,3	4,2	0,22	0,08	2,9
Pillirooturvas	Põhja-Eesti	6,1	10,3	3,4	0,11	0,06	3,0
	Lõuna-Eesti	6,1	16,6	3,1	0,31	0,13	3,3
	Keskmine		14,3	3,2	0,23	0,10	3,2
Tarnaturvas	Põhja-Eesti	6,2	12,0	3,9	0,19	0,07	3,1
	Lõuna-Eesti	6,2	13,4	3,5	0,27	0,09	3,0
	Keskmine		12,3	3,8	0,22	0,07	3,1
Lehtsamblaturvas	Põhja-Eesti	6,3	9,8	3,2	0,17	0,05	2,8
	Lõuna-Eesti	6,6	13,3	2,5	0,22	—	2,0
	Keskmine		10,0	3,1	0,17	0,05	2,8
Sfagnumiturvas	Põhja-Eesti	4,2	3,4	0,4	0,10	—	1,1
	Lõuna-Eesti	4,5	3,2	0,3	0,10	0,03	1,1
	Keskmine		3,3	0,4	0,10	0,03	1,1

määratud) P_2O_5 sisaldusest jaotatakse mullad ÜVAAI järgi järgmiselt (vt. tab. 2-39).

Tabel 2-39

Muldade jaotus liikuvate toitainete sisalduse järgi

Toitainete sisaldus mullas	100 g mullas liikuvat	
	P_2O_5 (Kirsanovi j.)	K_2O (Peive j.)
Väga madal	0...5	0...5
Keskmine	5...10	5...10
Üle keskmise	10...20	10...15
Kõrge	20...30	15...25
Väga kõrge	>30	>25

EMMTUI mulla väetustarbe laboratooriumis (Kuusikul) määratakse muldades liikuvate toitainete sisaldus Egner-Riehmi järgi.

Egner-Riehmi järgi määramisel saadud liikuva K_2O sisalduse alusel jaotatakse Saksa Demokraatlikus Vabariigis mullad järgmiselt: liikuva K_2O vaesed, kui K_2O sisaldus on alla 10 mg 100 g mulla kohta; keskmised, kui liikuva K_2O sisaldus on 10...20 mg 100 g mulla kohta, ja liikuva K_2O rikkad, kui sisaldavad liikuvat kaalit üle 20 mg 100 g mulla kohta.

Muldade jaotus Egner-Riehmi järgi määratud liikuva P_2O_5 sisalduse alusel on toodud tabelis 2—40.

Vastavalt liikuva kaali ja fosfori sisaldusele mullas ja vastavalt viljeldavatele kultuuridele valitakse väetisnorm. Eesti NSV-s sobivad väetisnormid on EMMTUI mulla väetustarbe laboratooriumis väljatöötamisel.

Tabel 2-40

Muldade jaotus Egner-Riehmi järgi määratud liikuva P_2O_5 sisalduse põhjal

Mullarühmad / pH / P_2O_5 poolest	Kerged mullad (väikese neelamismahutavusega)			Keskmised mullad (keskmise neelamismahutavusega)			Rasked mullad (suure neelamismahutavusega)		
	<5,5	5,6 ... 6,5	>6,5	<5,5	5,6 ... 6,5	>6,5	<5,5	5,6 ... 6,5	>6,5
Vaesed	⩽7,5	⩽8,5	⩽10	⩽5,0	⩽6,0	⩽7,5	⩽4,0	⩽5,5	⩽6,5
Keskmised	7.6 ... 14,0	8.6 ... 17,0	10,1 .. 20,0	5,1 ... 10,0	6,1 ... 12,0	7,6 ... 15,0	4,1 ... 8,0	5,6 ... 11,0	6,6 ... 13,0
Rikkad	> 14,0	> 17,0	> 20,0	> 10,0	> 12,0	> 15,0	> 8,0	> 11,0	> 13,0

Parandatava maa-ala valikul on otstarbekohane eelistada toitaineterikkamaid ja suurema orgaanilise aine varuga muldasid. Seejuures tuleb arvestada asjaolu, et küllaldase orgaanilise aine sisaldusega, kuid bioloogiliselt inaktiivsetes muldades (näiteks turvastunud mullad) suureneb liikuvate toitainete sisaldus nende kultuuristamisel mõnevõrra, sest bioloogiliste protsesside elavnedes kiireneb orgaanilise aine lagundumine ja orgaanilises aines seotud kujul olevad taimetoitained muutuvad liikuvaks.

KIRJANDUST

1. Eisen, I. Põhjavee sügavuse mõju soomulla viljakusele. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised III, nr. 2. Tallinn, 1954.
2. Garkuša, I. F. Mullateadus. Tallinn, 1953.
3. Hallik, O. Mullateaduse ja agrokeemia praktikum. Tartu, 1948.
4. Kask, R. Eesti NSV muldade määraja. Tallinn, 1957.
5. Kitse, E., Piho, A. Andmeid Lõuna-Eesti kamar-leetmuldade poorsuse ja veemahutavuse kohta. EPA Teaduslike tööde kogumik nr. 6. Tartu, 1959.
6. Kuum, J. Soode kuivendamine ja kasutamine põllumajanduses. Tallinn, 1954.
7. Lillema, A. Eesti NSV mullastik. Tallinn, 1958.
8. Masing, V., Trass, H. Juhend soode geobotaaniliseks uurimiseks. Tartu, 1955.
9. Piho, A., Kask, R. Eesti NSV mullaerimite iseloomustus (juhend mullastiku kaardistajatele). Tallinn, 1960.
10. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
11. Truu, A. Eesti NSV sood ja nende põllumajanduslik kasutamine. Tallinn, 1958.
12. Truu, A. Eesti NSV ordoviitsiumi ala soodest. Kogumik 50 aastat sookultuuri-alast uurimistööd Eestis. Tallinn, 1960.
13. Viljams, V. R. Mullateadus. Tartu, 1950.
14. Астапов С. В. Мелиоративное почвоведение. Практикум. Москва, 1958 г.
15. Благовидов Н. Л., Селль-Бекман Н. Я. Почвенная карта и его использование. Москва—Ленинград, 1954.
16. Брудастов А. Г. Осушение минеральных и болотных земель. Москва, 1955.
17. Вебер К., Курм Х., Лаасимер Л., Раудсепп А., Труу А. Торфяный фонд Эстонской ССР. Сборник статей по изучению торфяного фонда. Выпуск 2. Москва, 1957.
18. Виленский Д. Г. Почвоведение. Москва, 1954.
19. Горшенин К. П. и др. Почвоведение. Москва, 1958 г.
20. Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва, 1958.
21. Ковригин С. А. Лесное почвоведение. Москва—Ленинград, 1949.
22. Коломенский Н. В. Инженерная геология 2. Москва, 1956.
23. Костьяков А. Н. Основы мелиорации. Москва, 1960.
24. Маслов Н. Н. Инженерная геология. Москва, 1957.
25. Об улучшении сельскохозяйственного использования земель нечерноземной полосы европейской части СССР. Москва, 1952.
26. Оленин А. С. и др. Разведка торфяных месторождений. Москва, 1953.

27. Пономарева В. В. О сущности и факторах почвообразования. «Почвоведение» № 9, 1958.
28. Приклонский В. А. Грунтоведение I. Москва, 1955.
29. Приклонский В. А. Грунтоведение II. Москва, 1952.
30. Пичугин А. В. и др. Торфяные месторождения и их разведка. Москва—Ленинград, 1956.
31. Роде А. А. Почвоведение. Москва—Ленинград, 1955.
32. Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. Москва, 1956.
33. Самсонов А. Н. и др. Справочник по торфу. Москва—Ленинград, 1954.
34. Семихатов А. Н. Гидрогеология. Москва, 1954.
35. Скабалланович И. А. Гидрогеологические расчеты. Москва, 1954.
36. Смелов С. П., Коношков Н. С. Луговодство в поймах рек. Москва, 1955.
37. Трутнев А. Г. Целинные и залежные земли северной части нечерноземной полосы СССР и их освоение. Москва—Ленинград, 1958.

KOLMAS PEATÜKK

MULLA VEEREŽIIM JA SELLE REGULEERIMINE

§ 3-1. MULLAVESI

1. MULLAVEE LIIGITUS

Looduslik muld sisaldab endas igas olukorras teataval määral vett. Põllu- ja metsamajandusliku taimekasvatuse seisukohalt liigitatakse mullavett selle järgi, kui tugev on side vee ja mullaosakeste vahel. Vett, mida keemilised ja füüsikalised jõud seovad mullaosakestega, nimetatakse seotud veeks. Seose tugevuse alanevas järjekorras jaguneb mulla seotud vesi keemiliselt seotud veeks ja füüsikaliselt seotud veeks. Vett, mida keemilised ega füüsikalised jõud mullaosakeste külge ei seo ja mis võib seetõttu mulla poorides liikuda, nimetatakse vabaks veeks; see jaguneb kapillaarveeks ja gravitatsiooniveeks.

Lisaks sellele võib vesi mullas esineda veel gaasi kujul — veeauruna, ja tahkel kujul — jääna.

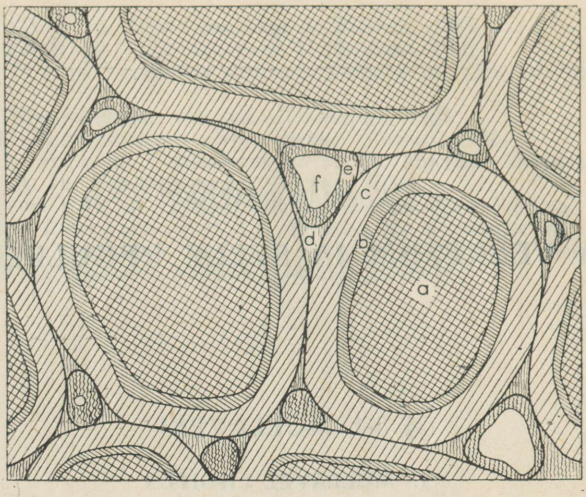
2. SEOTUD VESI

Keemiliselt seotud vesi kuulub mullaosakestesse nende keemilise koostisosana ega ole lahutatav mullast muul teel kui ainult keemilise lagunemise tagajärjel.

Hügroskoopsusvesi on see osa mullaveest, mis õhus leiduvast veeaurust on mulda neeldunud ja mida molekulaarjõud tiheda õhukese veekelmena väga tugevasti mullaosakeste pinnale seovad. Mulla omadust endasse õhust veeauru imeda ja seda kinni pidada nimetatakse mulla hügroskoopsuseks. Hügroskoopsusvee hulk mullas on muutuv, sõltudes õhu niiskusest. Maksimaalsel määral sisaldab muld hügroskoopsusvett siis, kui õhk on veeaurust küllastunud.

Hügroskoopsusvett on võimalik mullast eraldada, kui mulda kuivatada temperatuuri juures 105° C; selliselt kuivatatud mulda nimetatakse absoluutkuivaks mullaks. Absoluutkuivana püsib muld aga ainult laboratoorsetes tingimustes; vabas looduses imeb selline kuivatatud muld endasse endisel hulgal vett. Mulla hügroskoopsus on seda suurem, mida suurem on tema saue- või huumusesisaldus. Orienteerivalt on maksimaalne hügroskoopsus (hügroskoopsusvee hulk mullas protsentides absoluutkuiva mulla kaalust) J. S. Tjurini järgi:

liival	1,06
keskmisel liivsavil	3,00
raskel liivsavil	6,54
turbal	18,42



Joonis 3-1. Taimedele kättesaamatu ja raskesti kättesaadav vesi mullas:
a — mullaosake selles keemiliselt seotud veega; *b* — hügroskoopsusvesi; *c* — kirmevesi; *d* — pendulaarvesi; *e* — funikulaarvesi; *f* — õhk.

Kirmevesi on see osa mullaosakesi ümbritsevast veest, mida molekulaarjõud veel pärast seda, kui muld on veeaurust küllastatud õhu tingimustes juba maksimaalsel määral hügroskoopsusvett sidunud, suudavad täiendavalt terakeste ümber siduda.

Veehulka, mida molekulaarjõud üldse suudavad mullaosakeste pinnale siduda, s. o. hügroskoopsusvett koos kirmeveega nimetatakse maksimaalseks molekulaarniiskuseks.

3. VABA VESI

Mulla niiskumisel üle selle määra, mis vastab tema maksimaalsele molekulaarniiskusele, tekib mullas vaba vesi. Seda vett molekulaarjõud enam ei seo. Kuid taimedele pole kogu vaba vesi siiski mitte võrdsel määral kättesaadav. Kuni vaba vett on mullas alles vähe ja see ka väiksemates mullapoorides täidab ainult terakestevahelisi nurgakesi, ei oma vesi mullas veel küllaldast liikuvust ja on seetõttu taimedele raskesti kättesaadav (pendulaar- ja funikulaarvesi). Edasisel mulla niiskumisel suureneb vee liikuvus mullas ja ta muutub taimedele kättesaadavamaks.

Mulla vaba vett liigitatakse kapillaarveeks ja gravitatsiooniveeks.

Kapillaarvesi on see osa mulla vabast veest, mis võib liikuda kitsastes vaheruumides mullaosakeste vahel kapillaarjõudude (molekulaar- ja pindpinevusjõu) mõjul. Vee liikumine toimub kapillaarjõu mõjul niiskemast piirkonnast kuivemasse. Kapillaarne vee liikumine on seda aeglasem, mida kitsamad on kapillaarid, kuid kitsaid kapillaare mööda võib vesi tõusta tunduvalt kõrgemale kui suuremates kapillaarides; seejuures võib see liikumine toimuda igas suunas, niihästi alt üles kui ka ülevalt alla või mis tahes muus suunas. Kõige tavalisem kapillaarne vee tõus on siiski liikumine põhjavee pinnast ülespoole. Põhjavee pinnast vahetult ülalpool on peaaegu kõik poorid täitunud kapillaarveega, kõrgemates kihtides jäävad

suuremad poorid tühjaks (õhuga täidetuks) ja vesi tõuseb kõrgemale ainult peenemaid kapillaare mööda. Teataval kõrgusel põhjavee pinnast lakkab kapillaarne vee tõus üldse. Seda kihti, arvates põhjavee pinnast, milles toimub kapillaarne vee tõus, nimetatakse kapillaarvöötmeks.

Vee liikumine kapillaare mööda võib esineda ka lahus põhjaveest, nimelt pärast vihmasadu ja kunstlikku niisutust mulla pealmistes kihtides, vee liikumise suunaga üldiselt ülevalt allapoole. Sellist põhjaveest lahutatud kapillaarvett nimetatakse rippuvaks kapillaarveeks.

Kapillaarvee hulk mullas on muutuv, põhjaveelähedases kihis on mulla veesisaldus suurem kui kõrgemal. Kapillaarvee sisaldus on sõltuv ka mulla lõimisest, struktuurist ja ladestumistihedusest. Peeneteralised, struktuursed ja kobedad mullad võivad sisaldada rohkem kapillaarvett kui jämedateralised, struktuuritud ja tihedaks vajunud mullad.

Gravitatsioonivesi on see osa mulla veest, mida molekulaar- ja kapillaarjõud mullas ei seo ja mis seetõttu liigub mullas raskusjõu mõjul allapoole.

Vee liikumine allapoole kestab seni, kuni kõik mulla poorid allpool on veega täitunud. Sellel sügavusel, millest allpool on saavutatud kõikide mullapooride veega täitumine, on absoluutne hüdrostaatiline rõhk võrdne atmosfäärilise õhurõhuga. Nivood, kus selline tasakaal saavutatakse, nimetatakse põhjavee pinnaks. Nähtavaks muutub põhjavee pind siis, kui kaevatakse auk maa sisse ja selle sügavus ulatub põhjavee pinnast allapoole. Sellisesse auku nõrgub vesi. Kui veepind selles augus enam kõrgemale ei tõuse, näitabki see veepind põhjavee pinna kõrgust antud punktis.

Geoloogilises mõttes kujutab põhjavesi endast õieti ainult esimesel vettpidaval kihil paiknevat, maapinnale lähimat veekihti. Sellest sügavamal võib leiduda veel mitmeid vettandvaid kihte, mida eraldavad vettpidavad vahekihid.

4. AURUKUJULINE VESI MULLAS

Mulla poorides, mis ei ole täielikult veega täitunud, leidub alati mõningal määral veeauru, mis on tekkinud mullas tilkvedelal kujul esineva vee auramise tagajärjel. Auru kujul esinev vesi etendab mullas tähtsat osa niiskuse jaotumises mulla eri kihtides. Veeaur liigub soojemast mullakihist külmemasse, või (kui temperatuuride vahe puudub) niiskemast paigast kuivemasse. Samuti võib veeaur mullas liikuda koos õhuvooluga mullas. Talvel toimub veeauru liikumine sügavamatest, soojematest kihtidest ülemistesse, külmematesse, kus aur kondenseerub veeks ja jäätub, rikastades sel teel kevadeks neid mullakihte veega kuni küllastuseni. Suvel toimub veeauru liikumine pindmistest kihtidest sügavamatesse. Ka ööpäevane temperatuuride vahe tekitab suvel veeauru muutuva suunaga liikumist ööpäeva kestel.

§ 3-2. MULLA VEEREŽIIM

1. VEEREŽIIMI MUUTUVUS JA SEDA MÕJUTAVAD TEGURID

Veerežiimi mõiste. Mulla veerežiimi all mõistetakse looduslike tingimuste kompleksi, mis kujundavad veevaru mullas. Mulla veebilansi sissetulekupoolel võivad olla: a) atmosfäärivesi, b) maapinda mööda juurdevalguv vesi, c) põhjaveest ülestõusev vesi, d) kondensatsioonivesi ja e) kunstliku niisutuse vesi. Väljaminekupoolel aga on: a) äravool maa-

pinda mööda, b) auramine maapinnalt, c) auramine taimede kaudu ehk transpiratsioon ja d) vee äravalgumine sügavatesse pinnasekihtidesse.

Veerežiimi muutuvus. Eesti NSV ilmastikutingimustes on kevadeks tavaliselt kõikidel muldadel, eriti aga peeneteralistel savi- ja liivsavimuldadel, ülemine aktiivne mullakiht küllastatud veega, mis talve jooksul on üles kerkinud sügavamatest kihtidest. Sellele lisaks tuleb kevadise lumesulamise vesi, mis omalt poolt rikastab mulda veega. Muld küllastub veega ja ülejääk valgub alla põhjaveeni või voolab maapinda mööda ära.

Vegetatsiooniperioodi kestel kulutavad taimed veevarusid aktiivsest mullakihist ja ammutavad lisa ka sügavamatest kihtidest, mille tõttu veevarud mulla aktiivses kihis suve kestel vähenevad.

Hiljem, kui saak on koristatud ja veekulutus transpiratsiooni kaudu muutub väheseks ning ka auramine maapinnalt väheneb, hakkab mulla veevaru uuesti suurenema ning talve lõpuks saavutatakse mulla pealmises kihis jälle täisniiskuse aste.

Veerežiimi mõjutegurid. Üksikute mõjutegurite osatähtsus on eri kohtades erisugune ja isegi samas paigas muutuv. Selle tõttu on ka mulla veerežiim muutuv. Väga suurt mõju mulla veerežiimile avaldavad mulla lõimis ja struktuursus ning sügavamate mullahorisontide veeläbilaskvus.

Põllu- ja metsamajandusliku taimekasvatuse seisukohalt on soovitav, et muld omaks võimalikult suurt mobiilset veevaru, kuid sisaldaks seejuures mullapoorides ka küllaldaselt õhku. Selleks peaks muld omama: võimalikult väikest surnud veevaru ja võimalikult suurt küllastusniiskust ehk väliveemahutavust. Niisugused omadused on tüsedatel ja struktuursetel muldadel. Liiv- ja saviliivmuldadel, mille sügavamatel horisontidel on hea läbilaskvus, tekib isegi rohkete sademete puhul ainult lühikeseks ajaks olukord, kus mulla ülemise, aktiivse kihi veesisaldus ületab tema väliveemahutavuse. Seevastu aga küllastub savi- ja liivsavimuldadel, mis asuvad halva veeläbilaskvusega aluspõhjal, mulla pealmine, aktiivne kiht lühikese aja jooksul veega, kuigi sügavamad mullahorisondid võivad samal ajal veel suhteliselt kuivad olla.

Suurt osa mulla veerežiimi kujundamisel etendab maapinna reljeef. Nõgudesse kogunev vesi põhjustab siin suuremat niiskust võrreldes ümbritsevate kõrgemate aladega. Lameda reljeefiga aladel (vähese pinnaveeäravooluga) on muld üldiselt niiskem kui liigestatud reljeefiga aladel, kus tunduv osa sademete veest voolab mööda maapinda ära, jõudmata mulda imbuda.

Kus põhjavee pind asetseb sellisel sügavusel, et vesi võib põhjaveest kapillaarjõudude toimel mullaprofiili ülemistesse kihtidesse tõusta, seal mõjutab põhjavee seis määravalt mulla pealmise kihi niiskust.

Tunduvat mõju mulla veerežiimile avaldab mets; nimelt vähendab mets pinnavee äravoolu ja suurendab mulla üldist veevaru.

2. VEEGA TOITUMISE TÜÜPIDE ISELOOMUSTUS

Mulla veega toitumise tüübi all mõistetakse (D. A. Brudastovi järgi) vee looduslikku tulekut küsimuses oleva maa-ala piiridesse.

Veega toitumise tüübi selgitamine aitab määrata liigniiskuse põhjusi ja valida sellele vastavalt abinõud nende kõrvaldamiseks. Mullad võivad olla atmosfääriveega, tulvaveega, surveta põhjaveega või survelise põhjaveega toituvad või segatoitumisega.

Atmosfääriveega toitumisel pärineb antud maa-alale tulev vesi ainult sademetest. Liigniiskus tekib mineraalmaadel sellise toitumise tingimus-

tes neil juhtudel, kui maapinna kalle on väike ja mullaprofiili alumised horisondid vett raskesti läbilaskvad. Ka rabade tekkimine ja arenemine toimub atmosfääriveega toitumise puhul.

Tulvaveega toituvad maad saavad lisaks sademete veele veel vett tulvavatest jõgedest või veekogudest vee kõrgseisu ajal ja osaliselt ka ümbritsevatelt kõrgematelt maadelt maapinda mööda pealevalguva vee näol. Sellises olukorras on madalad jõelammid ja järvede rannamaad.

Tulvaveega toituvad maad on enamasti lagedad; neil võib esineda hõredat pajuvõsa, kuid puutaimed tavaliselt puuduvad. Okaspuid ei esine. Rannalähedastes põõsastes ja tulvarajal ka maapinnal võib leida tulvaveega kaasakantud ja veepinna alanemisel mahajäänud oksaprahti, puujäätmeid ja rohukulu. Sammalkate puudub või on hõre. Rohurindes esinevad tarnad, paelrohi, sinihelmikas, varsakabi jt.

Surveta põhjaveega ja **pealevalguva pinnaveega** toituvaid maid iseloomustab maapinnalähedane põhjaveetase, millest vesi kapillaarjõu toimel tõuseb kuni pindmise mullakihini, hoides seda suurema osa taimekasvu ajast täisniiskusele lähedases olukorras. Selline veega toitumise režiim on tavaliselt madalikkudel ja nõlvakualustel tasandikkudel, mille aluspõhi on halva veeläbilaskvusega ja kus liigvee äravool on vähese kalde tõttu takistatud. Põhjavee liikuvus on seal väga väike.

Survelise põhjaveega toituvatel maadel on põhjavesi samuti maapinna lähedal, kuid erinevalt surveta põhjaveega toitumisest esineb survelise põhjaveega toitumise korral põhjavee seisus aasta kestel ainult vähesel määral kõikumisi. Selline veega toitumise režiim esineb sulglohkudes ja nõlvakualustel maadel. Nõlvakute jalameil tulevad nähtavale allikad, ja neid esineb ka jalamist kaugemal. Maa-alal esineb veesooni ja ojakesi, mida toidavad peamiselt allikad ja mis ei kuiva ära ka suve kestel. Talvel jäävad allikad külmumata. Allikate ümbruses võib leida lubisetteid ja taimkattes lubjalembesi taimi, nagu pruun sepsikas, lemmelill, seakapsas jt. Taimkate on üldiselt liigirikas, ka puurinde osas, kus muu hulgas esineb rohkesti sangleppi. Põhjavesi on liikuv.

Segatoitumine on liigniisketel maadel kõige sagedamini esinevaks veega toitumise tüübiks. Erandi moodustavad ainult rabad, kus vesi puhtalt atmosfääriveest pärineb. Suur osa raba taimkattest ei talugi teistsugust veerežiimi; üleujutus, samuti ka lubjarikas allikavesi mõjuvad rabataimedele enamasti hävitavalt.

Segatoitumise puhul ilmnevad osaliselt kõik tunnused, mis on omased veega toitumise siin esitatud tüüpidele, kusjuures sõltuvalt sellest, mis toitumistüüp domineerib, kujunevad ka välised tunnused ning taimkate.

§ 3-3. VEE LIIKUMINE MULLAS

Normaalsetes taimekasvutingimustes on mulla poorid ainult osaliselt veega täitunud. Sedamööda, kuidas taimejuured mulla veevaru vähendavad, peab toimuma pidev vee juurdetulek taimejuurte piirkonda. Vee tõusu sügavamatest, rohkem vett sisaldavatest kihtidest ülemistesse, kuivematesse kihtidesse võimaldab vee kapillaarne liikumine mullas.

1. KAPILLAARVEE LIIKUMINE

Vesi võib kapillaare mööda tõusta mullas maksimaalselt selle kõrguseni, mille juures kapillaari mööda ülestõusnud veesamba raskus on tasakaalus adhesioon- ja pindpinevus- (kapillaari-) jõududega, mis vee kapil-

laarset tõusu põhjustavad. Ligikaudu võib (A. A. Tšerkassovi järgi) kapillaarvee tõusu kõrgust arvestada järgmisena:

savis	200...400 cm
liivsavis	150...300 cm
saviliivas	100...150 cm
turbas	120...150 cm
liivas	50...100 cm

Kapillaarse tõusu kõrgus on üldiselt seda suurem, mida peeneteralisem on muld, kuid seda siiski ainult teatava piirini. Väga peeneteralises mullas jäävad kapillaarid juba niivõrd kitsaks, et mullaterakesi ümbritsev liikumatu kirmevee kiht täidab need ega jäta enam ruumi vabale kapillaarveele. Selle tõttu võib vee kapillaarne tõus sellises mullas üldse katkeda; igal juhul aga muutub vee kapillaarne tõus peeneteralises mullas aeglaseks.

Vee kapillaarse tõusu kiirus on seda suurem, mida jämedateralisem on muld.

2. GRAVITATSIOONIVEE LIIKUMINE

Mulla gravitatsiooniveel eristatakse kahesugust liikumist: vee imbumist ehk infiltratsiooni ja vee läbivust ehk filtratsiooni. Imbumiseks nimetatakse gravitatsioonivee liikumist mullas, kus poorid pole veel täielikult veega täitunud, filtratsiooniks aga nimetatakse vee liikumist mullas, kus kõik poorid on juba veega täitunud.

Imbumine toimub kahe jõu, kapillaar- ja raskusjõu koosmõjul. Vee imbumine toimub mullas ainult nii kaua, kuni alumised mullakihid on ülemistest kuivemad (vihmasaju ja kunstliku niisutamise puhul). Tavaliselt kulub imbvesi mullas kapillaarvee (või ka pendulaar- ja funikulaarvee) täienduseks ja kaotab selle juures oma gravitatsioonivee iseloomu. Kui aga imbvett jääb mulla väliveemahutavusest siiski üle, valgub ülejääk põhjavette.

Vee imbumine muudab mõningal määral mulla omadusi, põhjustades mulla pealmises kihis mõnel juhul isegi osalist struktuuri lõhkumist. Imbumise kiirus on alguses suhteliselt suur, kuid väheneb kiiresti sedamööda, kuidas vesi sügavamale mulda tungib ja mullapoorid veega täituvad. Eri mullaliikidel on imbumise kiirus erinev, olenedes lõimisest ja struktuurist; aga ka samal mullaliigil võib see muutuda, sõltuvalt mulla agregaatseisundist, õhurõhust, imbuva vee temperatuurist jne. Struktuursetel, sügavalt kobestatud muldadel on imbumine kiirem kui struktuurita, madalalt kobestatud muldadel.

Sellest silmapilgust alates, kui imbvesi on täitnud kõik mullas olevad poorid, muutub imbumine filtratsiooniks.

Filtratsiooni puhul liigub vesi mullas ainult raskusjõu toimel. Selle tõttu on vee liikumise kiirus tunduvalt väiksem kui imbumisel. Vee filtratsiooni kiirus sõltub esmajoones mulla poorsusest, lõimisest ja vee temperatuurist, kuid ka füüsikalistest, keemilistest ja bioloogilistest protsessidest, mis mullas toimuvad. Mida kobedam ja struktuursem on muld, seda kergemini (kiiremini) vesi liigub. Vee temperatuuri tõusuga kasvab filtratsiooni kiirus.

Pinnase veeläbilaskvust iseloomustab filtratsioonikoefitsient.

Tabelis 3-1 on toodud I. I. Pljusnini järgi filtratsioonikoefitsiendi suurus põhiliste pinnaseliikide jaoks.

Pinnases esinevad lõhed ja vihmausside käigud, eriti aga tugevad tai-

Tabel 3-1

Filtratsioonikoefitsient *k*

(prof. I. I. Pljusnini järgi)

Pinnaseliik	Filtratsioonikoefitsient *k* (cm/sek)
Puhas liiv	0,01 ... 1,0
Savisegane liiv	0,005 ... 0,01
Saviliiv	0,003 ... 0,005
Liivsavi	0,00005 ... 0,001
Savi	0,000005 ... 0,0005
Vähe lagundunud turvas	
a) sfagnumiturvas	0,0008 ... 0,002
b) tarnaturvas	0,002 ... 0,006
Keskmiselt lagundunud turvas	
a) sfagnumiturvas	0,0001 ... 0,0002
b) tarnaturvas	0,0002 ... 0,0008

mejuured ja surnud juurtest mulda jäänud sooned suurendavad vee filtratsiooni kiirust. Metsamaadel, kus pinnase pealmine kiht on puude ja põõsaste juurtega tihedalt läbi põimunud, on filtratsiooni kiirus tunduvalt suurem kui põllumaadel.

§ 3-4. MULLA VEEMAHUTAVUS

1. MINERAALMULDADE VEEMAHUTAVUS

Mulla omadust vett mahutada ja seda endas kinni pidada nimetatakse mulla veemahutavuseks.

Kui muld sisaldab ainult keemiliselt mullaosakestega seotud vett ja sellele lisaks maksimaalsel määral hügroskoopsusvett, s. o. nii palju, kui ta seda veeauruga küllastatud õhuniiskuse juures sisaldada võib, siis on muld maksimaalse hügroskoopsusniiskusega. Kui sellele veemäärale lisandub veel kirmevesi ja muld sisaldab niisiis vett sellisel määral, kuivõrd molekulaarjõud seda üldse suudavad mullas siduda, on muld maksimaalse molekulaarniiskuse astmes.

Peale molekulaarjõudude seovad aga vett mullas ka kapillaarjõud. Maksimaalne veehulk, mida kapillaarjõud koos molekulaarjõududega suudavad mullas ülalpool kapillaarvöödet kinni pidada, ilma et mullast vett välja nõrguks, moodustab mulla veega küllastumise piiri ja seda veehulka mullas nimetatakse väliveemahutavuseks (ka piirveemahutavuseks ehk küllastusniiskuseks).

Väliveemahutavuse astmes ei ole kõik mullapoorid veel veega täidetud. Olukorras, kus kõik mullapoorid on veega täitunud, on mullas vett tema maksimaalsele veemahutavusele ehk täisveemahutavusele vastaval hulgal. Niisuguse veesisalduse juures on õhk mullast täielikult välja tõrjutud.

Eri muldadel on veemahutavus erisugune. L. J. Briggs ja H. L. Shantz on esitanud arvud tähtsamate mullaliikide veemahutavuse kohta (vt. tab. 3-2).

Peeneteralistel muldadel on veemahutavus suurem kui jämedateralistel; selle tõttu on need ka põuakindlamad.

Tabel 3-2

Mineraalmuldade veemahutavus

Mullaliik	Hügroskoopsusniiskus	Närbumisniiskus	Täisveemahutavus	Taimedele kättesaadav (produktiivne) vesi täisveemahutavuse juures
	Protsentides õhukuiva mulla kaalust			
Jäme liiv	0,5	0,9	23,4	22,5
Peenike liiv	1,5	2,6	28,0	25,4
Kerge liivsavi	2,3	4,8	33,4	28,6
Raske liivsavi	6,5	9,7	47,2	37,5
Raske savi	13,2	16,2	64,6	48,4

2. TURVASMULDADE VEEMAHUTAVUS

Turvasmuldade veemahutavus on tunduvalt suurem kui mineraalmuldadel (vt. tab. 3-3).

Tabel 3-3

Turvasmulla täisveemahutavus

(S. V. Astapovi järgi)

Mullaliik	Täisveemahutavus		
	kaaluprotsentides	mahuprotsentides	Veevaru 1 m paksuses kihis (m^3/ha)
Madalsooturvas:			
Tarna-	580	90	9000
Tarna-pruunsambla-	444	86	8600
Kase-tarna-	395	83	8300
Tarna-rohu-	195	80	8000

Tabel 3-4

Turvasmulla tuhasisaldus ja veemahutavus

Tuhasisaldus (% kuivainest)	Mahukaal (g/cm^3)	Maksimaalne hügroskoopsusniiskus (kaalu-%-des kuivainest)	Maksimaalne molekulaarniiskus		Vee surnud varu 1 m pakuses kihis (m^3/ha)
			kaalu-%-des kuivainest	mahu-%-des	
10	0,13	40	86	11,2	1120
20	0,18	36	79	14,2	1420
30	0,24	32	72	17,3	1730
40	0,30	29	65	19,5	1950
50	0,35	25	58	20,3	2030
60*	0,44	22	51	22,4	2240
70*	0,55	18	44	24,2	2420

* Turvastunud mineraalmullad.

Ka maksimaalne hügroskoopsusniiskus ja molekulaarniiskus on turvasmullas tunduvalt suuremad kui mineraalmuldades, kusjuures veemahutavus väheneb koos tuhasisalduse suurenemisega tunduvalt, nagu ilmneb tabelis 3-4 toodud ВНИИГиМ-i andmetest.

Turvasmullad omavad ka suurt varu taimedele kättesaadavat vett; sõltuvalt turbaliigist ja turba tuhasisaldusest kõigub see 3600 kuni 6500 m^3 piirides 1 ha kohta 1 m paksuses kihis.

Lagundumisastme suurenemisega väheneb turvasmulla veemahutavus.

3. MULLA EKVIVALENTNIISKUS

Aurutamise asemel on võimalik mullast vett eraldada ka tsentrifuugimise teel. Väikese tsentrifuugimiskiiruse juures eraldub mullast algul ainult vaba vesi, kuid kiiruse suurenedes eraldub mullast ka tihedamini seotud vett.

Tsentrifuugimisel kolmesaja kuuekümne tuhande kordse raskuskiirendusega g (kus $g=9{,}81$ m/sek^2) on võimalik mullast eraldada kogu vett, välja arvatud ainult maksimaalne hügroskoopsusvesi, ja viiekümne kuni seistmekümne tuhande kordse raskuskiirenduse puhul kogu vett, mis ületab maksimaalse molekulaarniiskuse. Tsentrifuugimisel tuhandekordse raskuskiirendusega (1000 g) jääb mulda veehulk, mis peaaegu võrdub mulla väliveemahutavusega ja mida nimetatakse mulla ekvivalentniiskuseks (*Eh*). Mulla ekvivalentniiskuse all mõistetakse seda veehulka protsentides mulla absoluutkuivast kaalust, mis jääb mulda pärast seda, kui mulda on 40 minuti kestel tsentrifuugitud kiirendusega 1000 g, s. o.

$$Eh = \frac{a}{b} 100\%,$$

kus *Eh* — mulla ekvivalentniiskus protsentides,
a — pärast tsentrifuugimist (40 min. kestel kiirendusega 1000 g) mulda jäänud vee kaal ja
b — absoluutkuiva mulla kaal.

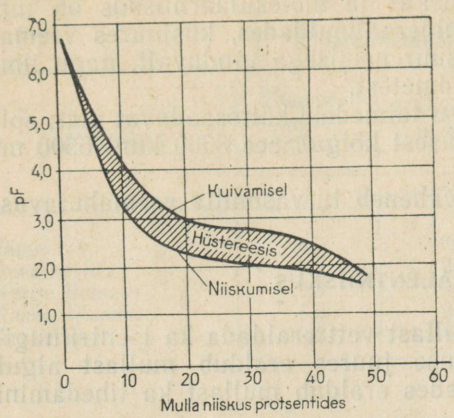
Ekvivalentniiskuse kaudu on võimalik avaldada ka närbumisniiskust ehk närbumiskoefitsienti järgmiselt:

$$\text{närbumiskoefitsient} = \frac{Eh}{1{,}84}.$$

4. MULLA NIISKUSE ISELOOMUSTAMINE NÄITARVU pF ABIL

Mulla veesisalduse üksikute piirväärtuste ehk hüdroloogiliste konstantide (nagu maksimaalne hügroskoopsusniiskus, maksimaalne molekulaarniiskus, väliveemahutavus, ekvivalentniiskus) asemel on mulla niiskuse iseloomustamiseks kasutusel ka niiskuse näitarv pF, mis kujutab mulla vee kinnipidamisvõime (ehk imemisvõime) sõltuvust tema veesisaldusest pideva funktsiooni näol. Selle sõltuvuse iseloomustamiseks on Q. K. Shofieldi ettepanekul kasutusele võetud näitarv pF, mis kujutab endast kümnendlogaritmi sellise (sentimeetrites väljendatud) veesamba kõrgusest, mille vaba energia on ekvivalentne mulla vee kinnipidamise võimega antud niiskuse juures.

Mulla niiskuse näitarv pF on seda suurem, mida väiksem on veesisaldus mullas. Maksimaalse väärtuse 7,0 saab näitarv absoluutkuiva mulla



Joonis 3-2. Mulla niiskuse näitarvu pF kõverad liivsavimullas (rohumaa katselapil Rothamstedi katsejaamas Inglismaal).

puhul; närbumispiirile vastava veesisalduse juures pF=4,2 (mulla kuivamisel). Ekvivalentniiskusele vastav pF on 3,0. Mida suurem on mulla niiskus, seda enam läheneb pF väärtus nullile.

Kuid samale veesisaldusele mullas vastab kaks erinevat pF-i väärtust: üks — kui olemasolev niiskus on saavutatud vee eemaldamise teel mullast, ja teine — kui see on saavutatud kuiva mulla niisutamise teel. Erinevust sama veesisalduse nende kahe näitarvu pF vahel nimetatakse hüstereesiseks.

5. MULLA VEELOOVUTUS

Veeloovutuse all mõistetakse mulla (pinnase) omadust raskusjõu toimel loovutada ehk ära anda osa sellest veest, mida muld või pinnas endas sisaldab täisveemahutavuse juures.

Veeloovutust iseloomustatakse nn. veeloovutuskoefitsiendi abil ja väljendatakse kas protsentides või murdosana mulla mahust. Tabelis 3-5 on toodud mõnede pinnaste veeloovutuskoefitsiendid.

Tabel 3-5

Veeloovutuskoefitsiendi ligikaudsed väärtused

(prof. A. A. Tšerkassovi järgi)

Mullaliik	Veeloovutus (protsentides mulla kogumahust)
Liiv	15...25
Saviliiv	10...15
Liivsavi	7...10
Savi	4...7
Madalsooturvas	3...10
Kõrgsooturvas	3...8

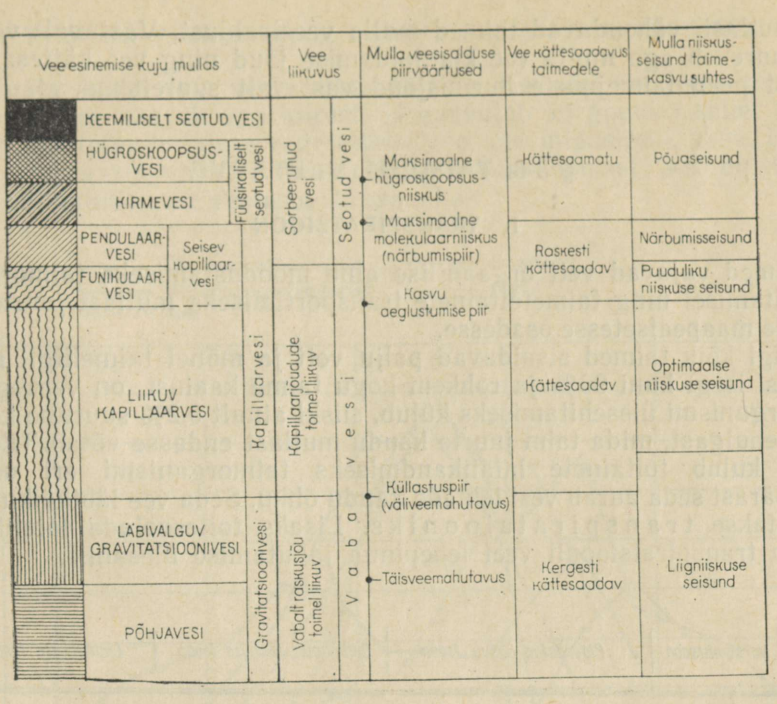
§ 3-5. MULLAVEE KÄTTESAADAVUS TAIMEDELE

1. MULLA SURNUD VEEVARU

Mullas mitmesugusel kujul esinev vesi ei ole taimejuurtele ühesugusel määral kättesaadav. Keemiliselt seotud vee hulk mullas on suhteliselt väike ja taimejuurtele on see täiesti kättesaamatu.

Füüsikaliselt mulda seotud veest (hügroskoopsus- ja kirmeveest) on hügroskoopsusvesi praktiliselt niisama liikumatu kui keemiliselt seotud vesi ja samal määral ka kättesaamatu. Kirmevee seos mullaosakestega on küll mõnevõrra nõrgem, kuid siiski liiga suur selleks, et taimejuured seda võiksid kätte saada.

Taimedele kättesaamatut veevaru mullas nimetatakse mulla surnud veevaruks.



Joonis 3-3. Mullavesi ja selle kättesaadavus taimedele.

2. NÄRBUMISPIIR

Pendulaar- ja funikulaarvee vähese liikuvuse tõttu on ka need veeliigid taimejuurtele raskesti kättesaadavad.

Alles sellest peale, kui veesisaldus mullas ületab 1,5- kuni 2-kordse maksimaalse hügroskoopsusniiskuse, muutub vesi taimejuurtele kättesaadavaks. Turvasmulla surnud veevaru vastab (S. V. Astapovi järgi) umbes maksimaalsele molekulaarniiskusele.

Seda veesisalduse piiri, millest väiksem veesisaldus mullas kutsub kultuurtaimedes esile jäädava toimega närbumise, kusjuures taimede turgor ei taastu isegi siis, kui neid asetada veeaurust küllastunud keskkonda, nimetatakse närbumispiiriks ja veehulka mullas selle piiri juures närbumisniiskuseks.

3. TAIMEDELE KÄTTESAADAV VESI

Kogu veehulk, mis ületab närbumispiiri (kuni täisveemahutavuseni), on taimedele kättesaadav. Taimedele kättesaadavat veehulka mullas nimetatakse mobiilseks (produktiivseks) veevaruks.

Põhilise osa taimede poolt mullast saadavast veest moodustab liikuv kapillaarvesi. Eesti NSV ilmastikutingimustes on kapillaarvesi tavaliselt ühenduses põhjaveega, mille tõttu ka põhjaveevaru muutub taimedele kättesaadavaks, kui kapillaarvee tõus ulatub taimejuurte piirkonnani.

Selleks et vesi võiks mullast taimejuurtesse kanduda, peab juurte imemisjõud olema suurem mulla vee kinnipidamise jõust. Imedes endasse

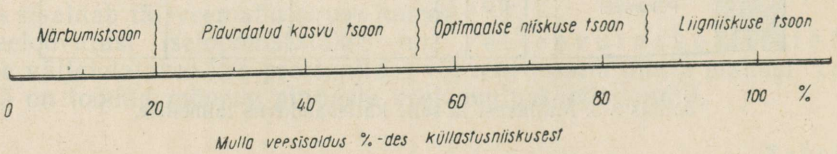
vett mullast, vähendavad taimed mulla veesisaldust. Vastavalt veekaotusele suureneb aga mulla vee kinnipidamise jõud ning vee kättesaamiseks mullast peab taimejuurte imemisjõud vastavalt suurenema.

§ 3-6. TAIMEDE VEETARVE

1. TRANSPIRATSIOON

Taimed vajavad vett orgaanilise aine moodustamiseks taimorganismi ülesehitamisel ning taimetoitainete transportimiseks mullast juurte kaudu taimede maapealsetesse osadesse.

Kuigi kõik taimed sisaldavad palju vett ja mõnel taimeliigil moodustab vesi isegi kuni 90% ja rohkem kogu taime kaalust, on veekogus, mis taimeorganismi ülesehitamiseks kulub, siiski ainult 0,2% suurune kogu sellest veehulgast, mida taim juurte kaudu mullast endasse võtab. Ülejäänud 99,8% kulub toitainete laialikandmiseks taimorganismi eri osadesse, kuna pärast seda aurab vesi lehtede kaudu õhku. Seda vee läbikäiku taimest nimetatakse transpiratsiooniks. Lisaks toitesoolade laialikandmisele on transpiratsioonil veel lehepinna jahutamise ülesanne.



Joonis 3-4. Taimekasvutingimused sõltuvalt mulla veesisaldusest.

Taimede veekulutust iseloomustatakse nn. transpiratsioonikoefitsiendi abil. Selle all mõistetakse arvu, mis näitab, kui mitu kg vett kulutab taim 1 kg kuivaine moodustamiseks.

Transpiratsioonikoefitsient ei ole püsiv suurus, vaid selle suurus sõltub taimeliigist, mulla toitainetesisaldusest, õhu temperatuurist, mulla veesisaldusest ja teistest teguritest. Teraviljadel on veetarve üldiselt väiksem kui valgu- ja rasvarikastel sööda- ning tehnilistel kultuuridel. Rohkesti tarvitavad vett rohumaad ja lehtpuumetsad. Tabelis 3-6 on toodud mõne põllukultuuri ja metsatüübi transpiratsioonikoefitsiendid.

Tabel 3-6

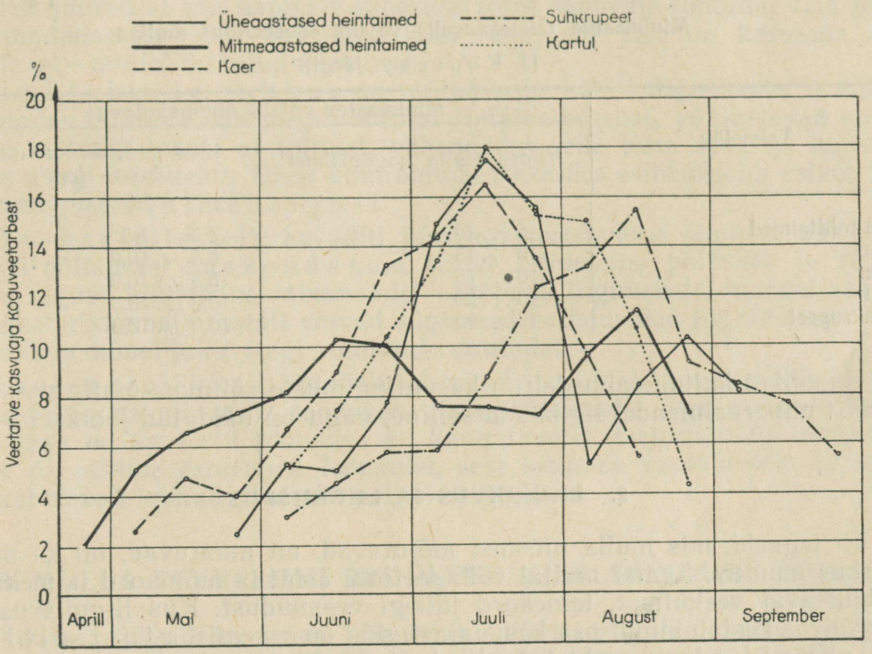
Transpiratsioonikoefitsient

(prof. A. A. Tšerkassovi järgi)

Taimeliik	Tr.-koefitsient	Taimeliik	Tr.-koefitsient
Nisu	270 ... 640	Ristikhein	330 ... 730
Rukis	430 ... 630	Lina	400 ... 940
Kaer	420 ... 880	Lutsern	570 ... 1070
Hernes	560 ... 750	Männimets	110 ... 120
Kartul	280 ... 570	Kuusemets	90 ... 240
Suhkrupeet	300 ... 380	Lehtpuumets	580 ... 1040
Kapsas	250 ... 600		

2. TAIMEDE VEETARVITUSE DÜNAAMIKA JA KOGU VEETARVE

Kasvuaja kestel pole veetarvitus ühtlane. Kevadel on veetarve suhteliselt väike. See kasvab aga kiiresti ja saavutab kõrgpunkti sellel kasvufaasil, millal toimub taime vegetatiivsete osade intensiivne kasv. Kasvuperioodi lõppfaasis väheneb veetarvitus uuesti. Joonisel 3-5 on toodud mõnede põllukultuuride veetarbe dünaamika.



Joonis 3-5. Põllukultuuride veetarve kasvuaja kestel.

Summaarne veetarvitus sõltub nii klimaatilistest ja agrotehnilistest tingimustest kui ka kasvatatavate kultuuride saagi suurusest. Viimane tuleb igal üksikjuhul kalkuleerida eraldi, kasutades selleks lähima agrometjaama vaatlusandmeid.

Veetarvitus saagiühiku kohta väheneb antud ilmastikutingimustes sel juhul, kui mulla viljakus tõuseb ja parandatakse agrotehnikat.

§ 3-7. MULLA VEEREŽIIMI REGULEERIMISE VAJADUS

1. VEE JA HAPNIKU VAHEKORD MULLAS

Kultuurtaimede kasvuks ja mullabakterite elutegevuseks peab muld taimekasvuperioodil sisaldama küllaldasel määral vett. Maksimaalselt võib muld endas sisaldada täisveemahutavusele vastava määra. Nii suur veesisaldus pole aga taimedele soodne, sest sellisel juhul on õhk mullast täielikult välja tõrjutud. Õhuhapnik on aga mullas vajalik taimejuurte hingamiseks, aeroobsete mullabakterite elutegevuseks, orgaanilise aine lagundamiseks ja nende hapendamisprotsesside jaoks, millega muudetakse kahjutuks mullas tekkivad mürgise toimega ühendid. Kahjulike ühendite tekkimist mullas soodustab asjaolu, et mullaõhu hapnikusisal-

dus on peaaegu poole võrra väiksem, söehappegaasisisaldus seevastu aga kuni sada korda suurem kui atmosfääriõhus.

Küllaldase hapnikuhulga tagamiseks aktiivses mullakihis peab selles toimuma intensiivne õhu ringvool. Sellist ringvoolu soodustab veevabade pooride rohkus mullas. Mida jämedateralisem või mida struktuursem muld on, seda õhurikkam ta on ja seda intensiivsemalt toimub temas õhuvahetus.

Tabel 3-7

Minimaalne taimekasvuks vajalik õhusisaldus mullas

(J. Kopecky järgi)

Taimeliik	Minimaalne vajalik õhumahutavus	
	%-des mulla kogumahust	1000 g õhukuiva mulla kohta (cm^3)
Soo-rohttaimed	6...10	4,5...5,5
Nisu	10...15	6,5...10,0
Kaer	10...15	6,5...10,0
Oder	15...20	10,0...13,3
Suhkrupeet	15...20	10,0...13,3

Enamikul kultuurtaimedel on kasvutingimuste sõltuvus mulla veesisaldusest mineraalmaadel ligikaudu selline, nagu on näidatud joonisel 3-4.

2. LIIGKUIVUS JA LIIGNIISKUS

Et tegurid, mis mulla niiskust mõjutavad, on muutuvad, on ka mulla niiskus muutuv. Samal mullal võib seetõttu esineda mõnikord taimekasvu kahjustavat veeküllust, teinekord jällegi veepuudust. Kus liigniiskus või liigkuivus kestab ainult osa kasvuajast, seal on tegemist *ajutiselt liigniiske* või *ajutiselt liigkuiva mullaga*; kus aga selline olukord valitseb kogu taimekasvuaja või suurema osa sellest, seal on tegemist *alaliselt liigniiske* või *alaliselt liigkuiva mullaga*.

Taimede juured tungivad mulda mitmesuguse sügavuseni, kuid valdav osa kultuurtaimede toitvast juurekavast jääb pindmisse aktiivsesse mullakihti, milles elutsevad mullabakterid ja mille paksuseks võib keskmiselt arvestada 30...50 cm. Metsamaal tuleb aktiivset kihti arvestada kuni 75 cm paksusena. Sellest aktiivsest mullakihist ammutavad taimed ka peamise osa tarvitatavast veest ja sellepärast on just selle kihi veerežiimi vaja taimede kasvule võimalikult soodsaks kujundada.

Liigkuivus. Kui veesisaldus mullas pole küllaldane taimede veetarbe rahuldamiseks, aeglustub taimede kasv, teravama veepuuduse korral aga taimed koguni närbuvad. Eesti NSV ilmastikutingimustes ei esine vegetatsiooniperioodil tavaliselt nii teravakujulist pidevat veepuudust. Kuid mõnel aastal esineb kevadel ja varasuvel siiski selliseid ajajärke, kus mulla looduslik niiskus ei ole küllaldane suure saagi saamiseks, seda eriti juurvilja- ja rohumaadel. Neil juhtudel võimaldab mulla täiendav niisutamine saaki tunduvalt suurendada; seda enam, et sellistel põua-aastatel on soojust tavaliselt piisavalt.

Liigniiskus. Sagedamini kui liigkuivus takistab Eesti NSV ilmastikutingimustes suure saagi saamist mulla liigniiskus.

Liigniiskete maade tunnuseid on kirjeldatud teises peatükis. Liigniiskus põhjustab hapniku ning taimetoitainete vähesust mullas, umbrohtude

rohkust, maa harimise ja saagi koristamise raskendamist, aga ka terviserikkeid inimestele ja loomadele.

Hapniku vähesus mullas on üks kõige suuremaid liigniiskuse pahesid. Liigniiskus pidurdab juurte hingamist, aeroobsete mullabakterite elutegevust ja vajalikke keemilisi hapendumisprotsesse. Selle tagajärjeks on mürgise toimega ühendite (nagu väävelvesinik, raua-alahapend, sipelghape jt.) tekkimine taimejuurte piirkonnas.

Taimetoitainete vähesus tekib liigniiskes mullas sellest, et taimede juured ei saa hapniku vähesuse tõttu sügavale tungida, vaid jäävad pindmisesse, enam õhustatud kihti, kus neil aga on kasutada ka ainult selle mullakihi toitainetevarud.

Umbrohtude rohkus on tuntud pahe kõigil liigniisketel maadel. Kulutades tunduva osa niigi vähesest toitainetevarust, põhjustavad umbrohud kultuurtaimede alatoitlust, vähendades selle tõttu saaki ja halvendades saagi kvaliteeti. Ühes umbrohtude rikkaliku esinemisega esineb ka mitmesuguseid taimehaigusi.

Maaharimistööd kevaditi ja saagi koristamine sügiseti on liigniiskel põllumaal raskendatud. Külvi hilinemine põldudel ja rohukasvu alguse hilinemine rohumaadel vähendab liigniisketel maadel saaki. Sademeterikkamail aastail võivad sügisesed koristustööd liigniiskuse tõttu raskeks ja mõnel juhul isegi võimatuks osutuda.

Ebatervislikkus liigniisketel maadel avaldub tervist kahjustavas rõskuses ja sageli, eriti soojemas ilmastikuvööndis, malaaria levikus. Sagedane on ka (eriti pinnavee all kannatavatel karjamaadel) mitmesuguste parasiitide esinemine loomadel, sest loomade parasiitidele on karjamaal olevad loimud soodsaks paljunemiskohaks.

§ 3-8. MULLA VEEREŽIIMI REGULEERIMISE ABINÕUDE LIIGITUS

Pahede vältimiseks, mida põhjustab niihästi puudulik kui ka liigne mulla niiskus, oleks vaja täielikult valitseda veerežiimi üle mullas, et seda saaks reguleerida vastavalt taimede nõuetele nende eri arenemisfaasidel. Täielikult on võimalik veerežiimi reguleerida kõikidel katmikaladel (kasvuhoonetes ja lavades), kus ühtlasi on reguleeritavad ka muud tähtsad kasvutegurid: soojus, toitainete hulk ja valguski. Põllu- ja metsamajanduslikus taimekasvatuses ei ole selline täielik veerežiimi reguleerimine esialgu veel teostatav. Küll aga on võimalik teataval määral mulla veerežiimi ja sellega kaudselt ka soojus- ja toitumistingimusi parandada.

Abinõud, mis selleks kasutada on, jagunevad nelja liiki: agrotehnilised, agromelioratiivsed, agro-metsamelioratiivsed ja hüdromelioratiivsed.

1. AGROTEHNILISED ABINÕUD

Agrotehnilised abinõud seisavad selliste maaharimisvõtete rakendamises, mille abil on võimalik osaliselt suurendada või pidurdada vee kapillaarset tõusu mulla pealmisse kihti. Agrotehniliste abinõude mõju piirdub küll ainult künnikihiga; kuid arvesse võttes, et künnikiht ongi see aktiivne mullakiht, millest taimed saavad oma peamise veevaru, on neil abinõudel siiski suur tähtsus.

Kui on vaja kapillaarvee tõusu soodustada, tihendatakse mulda rullimisega. Kultuurrohumaadel soos, kus rohukamar on külma mõjul kerkinud ja künnialusest kihist lahti rebenenud. kasutatakse raske rulliga rullimist lahtirebenenud kamara ühenduse taastamiseks alumiste kihtidega.

Kui on vaja takistada vee kapillaarset tõusu maapinnani selleks, et vähendada vee ebaproduktiivset auramist maapinnalt, kobestatakse mulla pindmist kihti libistamise, äestamise või kultiveerimisega. Kobestatud pindmises mullakihis katkevad kapillaarid ja pindmine kiht kujuneb kaitsekihiks, mis kaitseb allpool olevaid mullakihte päikese ja tuule kuivatava mõju eest. See agrotehniline veevarude säästmise võte on laialdaselt kasutusel kõikidel põllumaadel ka meie vabariigis.

Auramiskadusid maapinnalt on võimalik vähendada ka nn. multšeerimisega, mis seisneb selles, et maapind kaetakse mingi poorse materjaliga (õled, turbapuru, puulehed, saepuru vms.), mis tõkestab auramist maapinnalt.

Eriti suure tähtsusega mulla veerežiimi parandamisel on mulla struktuursus. Sügav struktuurne mullakiht, mis on kujundatud sügavkünni, rikkaliku orgaanilise väetise andmise ja lupjamisega (kus vajalik), on suurepärane veerežiimi regulaator. Selline muld on võimeline endasse suure hulga vett akumuleerima. Samal ajal on aga struktuurses mullas ka rikkalikult õhku, mille tõttu taimed ei kannata sellises mullas ei veepuuduse ega liigniiskuse all. See seletub sellega, et sademete vesi, kui seda on rikkalikult, imendub kiiresti struktuurse mulla sõmeraisse, sõmeratevahelised poorid jäävad aga vabaks õhu jaoks. Hea läbilaskvuse tõttu ei jää sademete vesi kauaks pealmisse, aktiivsesse mullakihti peatuma, vaid liigne osa veest, mis ei imendu mulla sõmeraisse, valgub mullaprofiili alumistesse kihtidesse. Struktuurses mullas on ka küllaldaselt hapnikku taimejuurte ja mullabakterite elutegevuseks ning nendeks hapendumisprotsessideks, mis on vajalikud mullas tekkivate alahapendite (rauaoksüduuli, väävelvesiniku) ja teiste mürgitava toimega keemiliste ühendite kahjutuks tegemiseks.

2. AGROMELIORATIIVSED ABINÕUD

Agromelioratiivsete abinõudega taotletakse mulla veerežiimi reguleerimist sügavamalt kui ainult künnikihi ulatuses, kusjuures nende abinõude puhul tuleb lisaks maaharimisvõtetele kasutada veel spetsiaalseid võtteid.

Oma toimelt jaotatakse agromelioratiivsed abinõud vett akumuleerivateks ja liigse pinnavee äravoolu kiirendavateks abinõudeks.

Vett akumuleerivate abinõude hulka kuuluvad: künnikihi süvendamine (koos lupjamisega või ilma selleta), künnialuse kihi kobestamine põhjakobestaja abil ja muttimine. Nende abinõude rakendamine soodustab liigse vee äravalgumist mulla ülemistest kihtidest alumistesse ning loob seal veevaru, mida taimed hilisemas arenemisfaasis (kevadsuvisel perioodil) kasutada saavad.

Liigse pinnavee äravoolu kiirendavate abinõudena kasutatakse vesivagusid, maapinna profileerimist, peenardamist ja kitsa-eelist kündi maapinna kallaku suunas.

Agromelioratiivsed abinõud leiavad kasutamist enamasti täiendusena drenaažile raskesti vett läbilaskvate maade kuivendamisel, kusjuures tavaliselt kasutatakse üheaegselt kahte või rohkemat eelloetletud abinõudest.

Enamiku agromelioratiivsete abinõude mõju on lühiaegne, mistõttu need vajavad igal aastal uuendamist. Ainult maapinna profileerimine ning sügavkünd koos lupjamise ja künnialuse kihi kobestamisega mõjuvad rea aastate kestel.

3. AGRO-METSAMELIORATIIVSED EHK METSANDUSLIKUD ABINÕUD

Agro-metsamelioratiivsed abinõud võivad olla metsaribade ja metsasalude kaudu põllumajanduslike maade massiivide mulla veerežiimile olulise mõjuga.

Metsaribad suurendavad mulla niiskust sel teel, et nad pidurdavad tuule kiirust, vähendades niiviisi auramist. Peale selle takistavad metsaribad lume ärapuhumist ja lume sulamisel võib vesi mulda imbuda. Ka pinnavee äravoolu takistades akumuleerib mets vett sügavamatesse mullahorisontidesse.

4. HÜDROMELIORATIIVSED ABINÕUD

Hüdromelioratiivsete abinõudega taotletakse püsivalt mõjuvat veerežiimi reguleerimist, ja seda mitte ainult künnikihis, vaid ka mullaprofiili sügavamates horisontides. Vastavalt sellele, mis suunas mulla veerežiim reguleerimist vajab, kas niiskuse suurendamise või liigniiskuse kõrvaldamise suunas, jagunevad hüdromelioratiivsed abinõud niisutusabinõudeks ja kuivendusabinõudeks. Katsed leida selliseid abinõusid, mis samade ehitiste abil tarvidust mööda võimaldaksid mulla veerežiimi mõlemas suunas reguleerida, ei ole senini rahuldavat lahendust andnud.

Niisutusabinõud. Eesti NSV territooriumil esineb mulla ülemises kihis kevadel ja varasuvel (mai-juuni) sademete vähesuse tõttu perioodilist niiskusepuudust. See puuduliku niiskuse ajajärk langeb kokku taimede kasvu algusega, millal taimede juurekava on alles mulla ülemises, kõige enam läbikuivanud kihis. See asjaolu pidurdab taimede arenemist ja vähendab tunduvalt kultuuride, eriti juurvilja- ja heintaimede saake. Selle tõttu on nende kultuuride niisutamine perioodiliste põudade ajal ka meie vabariigi ilmastikutingimustes majanduslikult otstarbekohane.

Maade niisutamise kasulik toime ei seisne üksi taimede varustamises pideva ja küllaldase veehulgaga, vaid niisutamise kaudu soodustatakse ka toitesoolade lahustumist mullas ja mullabakterite elutegevust, mis omakorda suurendavad mobiilseid taimetoitainete varusid mullas. Lisaks muule on võimalik taimedele üheaegselt niisutamisega lisaväetist anda ja tarbe korral ka taimekahjureid tõrjuda.

Kuivendusabinõude rakendamine osutub vajalikuks kõigil neil juhtumeil, kui taimekasv on mulla liigniiskuse kahjustava toime tõttu pidurdatud ja liigvee kõrvaldamine taimede juurte piirkonnast ei ole ainult agrotehniliste või agromelioratiivsete abinõudega, ilma põhjavee pinda alandamata, teostatav. Samaaegselt põhjavee pinna alandamisega tuleb sellistel kordadel kiirendada ka pinnavee äravoolu kuivendatavalt maa-alalt ja tõkestada nii pinna- kui ka põhjavee juurdevoolu naaberaladelt.

KIRJANDUST

1. Geisler, Th., Fröhlich, H., Krüger, K., Bauman, E. Bodenkunde und Düngerlehre. Berlin, 1957.
2. Lillema, A. Eesti NSV mullastik. Tallinn, 1958.
3. Александрова Л. Н., Антипов-Каратаев И. Н., Гаркуша И. Ф., Горшенин К. П., Соколев С. С. Почвоведение. Москва, 1958.
4. Астапов С. В. Мелиоративное почвоведение (практикум). Москва, 1958.
5. Доклады VI международному конгрессу почвоведов. Секция физики почв. Москва, 1956.
6. Ланге О. К. Основы гидрогеологии. Издательство Московского Университета, 1958.

7. Максимов В. М. и др. Справочное руководство гидрогеолога. Ленинград, 1959.
8. Плюснин И. И. Мелиоративное почвоведение. Москва, 1960.
9. Роде А. А. Почвоведение. Москва, 1956.
10. Розин В. А. Мелиорация с основами сельскохозяйственного водоснабжения. Москва, 1954.
11. Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. Москва, 1956.
12. Ситковский П. А. и др. Справочник гидротехника-мелиоратора. Москва, 1958.
13. Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Издание четвертое. Москва, 1958.
14. Цыганов М. С. Почвоведение. Москва, 1958.

NELJAS PEATÜKK

HÜDROLOOGILISED ARVUTUSED

§ 4-1. ARVUTUSTE ÜLESANNE

Kuivendussüsteemide rajamisel, eriti aga põhivõrgu ehitamisel tuleb anda veejuhtmetele sellised mõõtmed, mis tagavad maaparandusobjektidel nõuetekohase veerežiimi. Nende mõõtmete määramiseks on vaja teada arvutuslikke äravoolumooduleid ja vastavaid vooluhulki. Arvutuslikud äravoolumoodulid saadakse hüdroloogiliste arvutuste teel. Vooluhulkade järgi määratakse veejuhtmete mõõtmed, millest olenevalt kujuneb nende ehitustööde maht ning maksumus. Liiga suurte äravoolumoodulite puhul kujunevad ehituskulud asjatult kalliks. Seevastu ei ole liiga väikeste moodulite järgi dimensioneeritud veejuhtmed suutelised läbi laskma ettenähtud vooluhulka, mille tagajärjel võivad tekkida suured majanduslikud kahjud. Seetõttu on väga tähtis valida õige suurusega arvutuslikud äravoolumoodulid ja vooluhulgad. Viimased olenevad vesikonna suurusest ja iseloomust ning antud perioodi ilmastikutingimustest. Äravoolumoodulid erinevad seega territoriaalselt ja ajaliselt. Arvutusliku äravoolumooduli suurus määratakse kooskõlas antud maaparandusobjekti looduslike tingimustega. Seejuures arvestatakse ka objekti majanduslikku kasutamist, mis tingib liigvee ärajuhtimise vajaliku intensiivsuse ja tähtaja.

§ 4-2. ÄRAVOOLUREŽIIMI SELGITAMINE

1. JÕED JA VESIKOND

Kuivendatavatelt maa-aladelt ärajuhitava vee suurematcks vastuvõtjateks on jõed. Veeseisud veevastuvõtjates peavad võimaldama ümbruskonna maade kuivendamist ja vee edasijuhtimist kahjusid tekitamata. Suur osa Eesti NSV jõgedest ei vasta neile nõuetele, mistõttu nad vajavad reguleerimist. Põhja-, Loode- ja Lääne-Eesti jõed kuni Pärnu linnani voolavad pinnasekihtides, mille aluspõhjakivimiks on silur ja lubjakivi. Need jõed ei voola üldiselt sügavais ürgorgudes ega oma korrapäraselt väljakujunenud voolusängi. Aluspõhjakivimi uhtumatuse tõttu esineb neis jõgedes palju kärestikke, nende kaldad on tihti madalad ja soostunud. Lõuna-Eesti jõed looklevad enamasti sügavate ürgorgude põhjas, kuna devoni liivakivist koosnev aluspõhjakivim on siin uhtumise vastu vähem vastupidav. Väikestel Eesti jõgedel on kalduvus kinnikasvamisele. Lõuna-Eesti jõgedesse on tunginud kanada vesikatk (*Elodea canadensis*), mis on

kohati ummistanud magistraalkraavide ja jõgede voolusängid, mille tõttu vesi tõuseb isegi madalvee ajal kuni kallasteni. Põhja- ja Loode-Eesti madalates jõgedes areneb tihe kõrkjastik, mis on suureks takistuseks suviste suurvete läbimisel. Veetaimestiku mõju vähendamiseks on soovitatav projekteerida võimalikult sügavaid ja kitsaid veevastuvõtjate voolusänge.

Jõgede tähtsamaks iseloomustajaks on *vesikonna pindala*, millest sõltub jões voolav veehulk. Jõe vesikonna suurus määratakse tavaliselt topograafilistelt kaartidelt mõõdus 1:25 000, 1:42 000 või 1:50 000. Vesikonda piiravat veelahkmejoont on vähese kaldega soostunud vesikondades kaartide alusel tihti raske määrata. Sel juhul tuleb veelahe kindlaks määrata täiendavate loodimistega. Suurvee ajal, kui voolamine toimub mööda maapinda, on võimalik vesikonna piiri täpsustada ka vee liikumise suuna järgi.

Vettjuhtivates pinnastes, kus suur osa sademeid imbub pinnase sügavamatesse kihtidesse, moodustades seal põhjaveevoolu, ning karsti-maastikus võivad jõgede maapealsed ja maa-alused toitepiirkonnad suuresti erineda. Seda erinevust on raske kindlaks teha ja tegelike arvutuste juures arvestatakse harilikult vesikonna maapealset suurust.

Eesti NSV jõgede vesikonnad kuuluvad enamikus väikeste hulka, olles suuruselt alla 500 km². Ainult 16 jõe vesikonnad on üle 500 km² ning ainult Narva jõel, Suurel Emajõel ja Pärnu jõel on vesikond suurem kui 4000 km².

Veejuhtmete võrgu tihedus vesikonnas on veejuhtmete pikkus (km) jagatud vesikonna pindalaga (km²). See iseloomustab osaliselt vesikonna pinnase omadusi ja suurvee äravoolu tingimusi. Vesikondades, kus pinnase veejuhtivus on suurem, nagu Pandivere kõrgustikul, on veejuhtmete võrgu tihedus väiksem ja samuti on seal väiksemad ka suurveetipud. Ümberpöördult, vähem vettjuhtivatel savi- ja raskema liivsavipinnasega maa-aladel, näiteks Kasari ja osaliselt Pärnu jõe vesikonnas, on veejuhtmete võrk tihedam ja suurveetipud suuremad.

Kevadise maksimaalse äravoolu määramisel arvestatakse veejuhtmetena neid jõgesid koos harujõgedega, mis on märgitud topograafilistel kaartidel mõõdus 1:25 000, 1:42 000 ja 1:50 000 ja mille kaldad ei ole soostunud. Veejuhtmete võrgu tiheduse määramisel kuivendatud ja kanaliseeritud vesikondades arvestatakse vaid magistraal- ja peakraave, kuna kuivendajaid ja kogujaid ei võeta arvesse. Samuti ei võeta arvesse vanu ummistunud peakraave, kui nende sügavus on alla 1 m.

2. VEESEISU JA VOOLUHULGA MÕÕTMINE

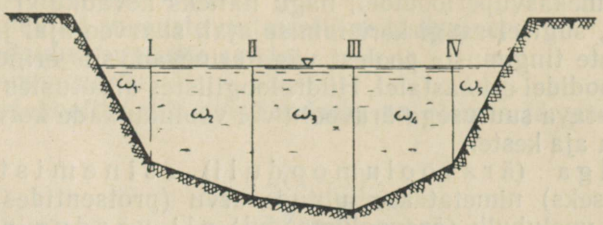
Äravoolurežiimi selgitamiseks vaadeldakse Eesti NSV Hüdrometeoroloogia Teenistuse Valitsuse poolt veeseisu ja mõõdetakse vooluhulka kokku 84 vaatluspostis (1961. a.). Sellest on 12 põhipostis äravoolu mõõdetud üle 25 aasta, 41 postis üle 10 aasta, 21 postis alla 10 aasta ning ülejäänud 10 postis vaadeldakse ainult veeseisu.

Veeseisu mõõdetakse vaatluspostides 2 korda päevas. Väiksemates veejuhtmetes (ojades ja kraavides) registreeritakse veeseis isekirjutajate (limnigraafide) abil.

Veeseisu ja vooluhulga vahelise seose (vooluhulga kõvera) määramiseks tehakse vaatluspostides vooluhulga mõõtmisi vähemalt 2 korda kuus ja täiendavaid mõõtmisi suurvee- ja jäätekkeperioodidel.

Vooluhulga mõõtmiseks rajatakse veejuhtme sirgel ning korrapärase ristlõikega lõigul nn. hüdromeetriline profiil (lävend). Voolu ristlõige (elav-

lõige) hüdromeetrilises profiilis jagatakse vee sügavuse murdepunktide järgi osadeks. Iga jaotuspunkti kohal (vertikaalis) mõõdetakse tiivikuga voolu kiirus mitmes (2...5) sügavuspunktis, mille alusel arvutatakse iga mõõtvertikaali kohta keskmine kiirus. Joonisel 4-1 on veejuhtme elav-



Joonis 4-1. Vooluhulga mõõtmise skeem.

lõige nelja vertikaaliga (I, II, III ja IV) viieks osaks (ω_1, ω_2, ω_3, ω_4 ja ω_5) jagatud. Korrutades iga elavlõikeosa voolu keskmise kiirusega selles osas ja summeerides need korrutised, saadakse kogu vooluhulk, s. o.

$$Q = \omega_1 \frac{2}{3} v_I + \omega_2 \frac{v_I + v_{II}}{2} + \omega_3 \frac{v_{II} + v_{III}}{2} + \omega_4 \frac{v_{III} + v_{IV}}{2} + \omega_5 \frac{2}{3} v_{IV},$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek);
$\omega_I \ldots \omega_5$ — elavlõike osapindalad (m^2) ja
$v_I \ldots v_{IV}$ — voolu keskmine kiirus mõõtvertikaalidel (m/sek).

Kui vooluhulka on mõõdetud mitmesuguse veeseisu puhul, on antud vaatluspunktis (hüdromeetrilises profiilis) võimalik koostada graafiline seos veeseisude ja vooluhulkade vahel ehk nn. v o o l u h u l g a k õ v e r.

Tuleb silmas pidada, et nimetatud seosel ei ole alati püsiv iseloom. Voolusängis areneb veetaimestik, tekib jää, suurveevalli möödumisel muutub veepinna kalle jne., mis muudavad pidevalt veeseisu ja vooluhulga vahelist seost veejuhtmes. Kõigi nende muutuste hindamiseks tuleb vaatluspostides vooluhulka pidevalt mõõta.

3. ÄRAVOOLU ARVUTAMISVIISE

Igapäevaste veeseisude järgi arvutatakse vooluhulga kõvera abil iga päeva keskmine vooluhulk (m^3/sek) antud vaatluspostis.

Peale vooluhulga kasutatakse hüdroloogilistes arvutustes tihti äravoolu suurust ühelt pinnaühikult ühes ajaühikus ehk ä r a v o o l u m o o d u l i t (l/sek. km^2 või l/sek. ha), mis saadakse vooluhulga jagamisel antud vaatlusposti vesikonna pindalaga.

Kasutatakse veel ä r a v o o l u m o o d u l k o e f i t s i e n t e, s. o. suhtarve, mis saadakse vaadeldava perioodi vooluhulga jagamisel selle perioodi vooluhulga pika aastate rea keskmise väärtusega. Näiteks aasta maksimaalse äravoolu moodulkoefitsient on vastava aasta maksimaalne vooluhulk, jagatud kõikide esitatud aastate keskmise maksimaalse vooluhulgaga. Nii võib arvutada aasta, sesooni (hooaja), kuu jne. äravoolu moodulkoefitsiente.

Ä r a v o o l u k o e f i t s i e n d i k s nimetatakse teatava ajavahemiku äravoolu hulga jagatist selle ajavahemiku sademete hulgaga, kusjuures äravoolu hulka arvestatakse nagu sademeidki ühtlase veekihi tüsedusena üle

kogu vesikonna. Seega näitab äravoolukoefitsient, missugune osa sademetest moodustab äravoolu.

Aasta äravoolunormiks nimetatakse aasta keskmist äravoolumoodulit pikas aastate reas (üle 30 a.) (l/sek. km^2).

Kuivendussüsteemi projekteerimisel on vaja teada äravoolu suurust mitmesugustel taimekasvuperioodidel, nagu näiteks kevadkülvi ajal, vegetatsiooniperioodil, sügisel saagi koristamise ajal, suurvee ajal jne. Et aastad meteoroloogiliste tingimuste poolest väga erinevad, siis erineb ka äravool vastavatel peroodidel eri aastatel. Hüdroloogilistes arvutustes on tihti vajalik määrata teatava suurusega äravoolu või vooluhulkade korduvust ja tõenäosust pikema aja kestel.

Vooluhulga (äravoolumooduli) esinemistõenäosuseks (sageduseks) nimetatakse juhtude arvu (protsentides kogujuhtude arvust), millal vooluhulk (äravoolumoodul) oli võrdne antud suurusega.

Vooluhulga (äravoolumooduli) ületustõenäosuseks (tagatuseks) nimetatakse juhtude arvu (protsentides kogu juhtude arvust), millal vooluhulk (äravoolumoodul) ei olnud väiksem antud suurusest.

ГОСТ 39999-48 alusel tuleb vooluhulkade ületustõenäosust arvutada valemiga:

$$P = \frac{m}{n+1} 100. \qquad (4\text{-}1)$$

Kasutatakse ka valemeid:

$$P = \frac{m-0{,}3}{n+0{,}4} 100 \text{ ja } P = \frac{m-0{,}5}{n} 100, \qquad (4\text{-}2)$$

kus P — ületustõenäosus protsentides;
m — antud liikme järjekorranumber suuruste alanevas reas ja
n — liikmete arv reas.

Hüdroloogilistes arvutustes ei huvita meid tavaliselt mitte äravoolu esinemistõenäosus, vaid ainult selle integraalväärtus — ületustõenäosus, mispärast edaspidi käsitletakse ainult viimast ja nimetatakse seda lihtsalt äravoolu tõenäosuseks (tagatuseks).

Vooluhulkade korduvus, tõenäosuse juures vähem kui 50%, arvutatakse valemi

$$K = \frac{100}{P} \text{ järgi.}$$

Tõenäosuse puhul üle 50% arvutatakse korduvus valemiga

$$K = \frac{100}{100-P}.$$

Kasutades valemeid 4-1 või 4-2, võib arvutada vaadeldud rea kõikide liikmete tõenäosust ning koostada nn. empiirilise kestuskõvera. Selleks tuleb ordinaatteljele kanda vaadeldud vooluhulga suurused ja abstsissideks võtta valemiga 4-1 või 4-2 arvutatud tõenäosused. Niimoodi joonisele kantud punktid ühendatakse sujuva kõverjoonega.

Tuleb märkida, et enam-vähem usaldusväärsed kestuskõverad saadakse vaatlusridadest, mille pikkus on vähemalt 30 aastat.

Kestuskõveraid on võimalik koostada ka teoreetilisel teel, kasutades selleks matemaatilise statistika meetodit. Selle meetodi rakendamiseks tuleb teada kolme parameetrit: a) vaadeldavate suuruste keskmist aritmeetilist väärtust $\bar{x}$, b) variatsioonikoefitsienti C_v ja c) asümmeetriakoefitsienti C_s.

Variatsioonikoefitsient arvutatakse valemiga:

$$C_v = \sqrt{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{\bar{x}^2(n-1)}}, \qquad (4\text{-}3)$$

kus x — vaadeldud suurused;
$\bar{x}$ — vaadeldud suuruste aritmeetiline keskmine;
n — vaadeldud suuruste arv ja
Σ — summa märk.

Asümmeetriakoefitsiendi arvutamiseks on olemas järgmine teoreetiline valem:

$$C_s = \frac{\Sigma(x-\bar{x})^3}{nC_v^3\bar{x}^3}. \qquad (4\text{-}4)$$

Valemiga 4-4 saadakse C_s väärtus küllaldase täpsusega vaid C_v suuremate väärtuste ($C_v > 0{,}50$) ja pikema vaatlusrea puhul ($n > 30$). Lühemate ridade puhul määratakse C_s umbkaudu järgmiselt:

$$C_s = 2C_v \text{ või } C_s = \frac{2C_v}{1-\frac{x_{min}}{\bar{x}}}, \qquad (4\text{-}5)$$

kus x_{min} — vaadeldud suuruste minimaalne väärtus.

Teoreetilise kestuskõvera (seda nimetatakse ka tagatuskõveraks) koostamiseks kasutatakse Foster-Rõbkini tabelit 4-1. Selle tabeli arvud (Φ) väljendavad moodulkoefitsientide hälbeid (kõrvalekaldumisi) nende keskväärtusest, s. o. ühest, juhul kui $C_v = 1$. C_v teistsuguse väärtuse puhul tuleb tabeli arvusid korrutada antud C_v suurusega. Seega saadakse teoreetilise kestuskõvera ordinaatide suurused järgmisest valemist:

$$x = (\Phi C_v + 1)\bar{x}. \qquad (4\text{-}6)$$

Kestuskõverate koostamise näiteks on toodud Leivajõe magistraalkraavil asuva Pajuba vaatlusposti andmed, mille alusel on koostatud juuni-juuli keskmise vooluhulga kestuskõver.

Tabelis 4-2 toodud andmete põhjal arvutame valemiga 4-3 variatsioonikoefitsiendi

$$C_v = \sqrt{\frac{2{,}361}{0{,}31^2(30-1)}} = 0{,}92.$$

Et C_v ja n on võrdlemisi suured arvud, siis võib asümmeetriakoefitsienti arvutada valemiga 4-4, seega:

$$C_s = \frac{1{,}767}{30 \cdot 0{,}92^3 \cdot 0{,}31^3} = 2{,}53.$$

Kasutades Foster-Rõbkini tabelit (4-1), koostame teoreetilise kestuskõvera ordinaatide arvutamiseks tabeli 4-3.

Kandes tabelis 4-3 viimases reas toodud kestuskõvera ordinaadid joonisele, saame vooluhulga teoreetilise kestuskõvera (vt. joon. 4-2).

Tabelis 4-2 esitatud veergude 3 ja 7 põhjal on võimalik koostada ka empiirilist kestuskõverat (vt. katkendjoont joon. 4-2).

Lühikeste vaatlusridade pikendamiseks on vajalik leida seos lühikese- ja pikarealise vaatlusposti äravooluandmete vahel, milleks koostatakse kas vastav graafik või kasutatakse korrelatsioonimeetodit.

Tabel 4-1

Kestuskõvera ordinaatide hälbed keskmisest (Φ); $\bar{x}=1$ ja $C_v=1$ (Foster-Rõbkini järgi)

Asümmeetriakoefitsient C_s	Tõenäosus protsentides																		C_s
	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99,0	99,9	
0,0	3,09	2,33	1,88	1,65	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25	0,00	−0,25	−0,52	−0,67	−0,84	−1,28	−1,64	−1,88	−2,33	−3,09	0,0
0,1	3,23	2,40	1,92	1,67	1,29	0,84	0,66	0,51	0,24	−0,02	−0,26	−0,54	−0,68	−0,85	−1,27	−1,62	−1,84	−2,25	−2,95	0,1
0,2	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	−0,03	−0,28	−0,55	−0,69	−0,85	−1,26	−1,59	−1,79	−2,18	−2,81	0,2
0,3	3,52	2,54	2,00	1,72	1,31	0,82	0,64	0,49	0,21	−0,05	−0,30	−0,56	−0,70	−0,85	−1,24	−1,56	−1,75	−2,10	−2,67	0,3
0,4	3,67	2,62	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	−0,07	−0,31	−0,57	−0,71	−0,86	−1,23	−1,52	−1,70	−2,03	−2,53	0,4
0,5	3,81	2,68	2,08	1,77	1,32	0,80	0,62	0,46	0,17	−0,08	−0,33	−0,58	−0,71	−0,86	−1,21	−1,49	−1,66	−1,95	−2,40	0,5
0,6	3,96	2,76	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16	−0,10	−0,34	−0,59	−0,72	−0,86	−1,20	−1,46	−1,61	−1,88	−2,27	0,6
0,7	4,10	2,82	2,15	1,82	1,33	0,79	0,60	0,43	0,14	−0,12	−0,36	−0,60	−0,72	−0,86	−1,18	−1,42	−1,56	−1,81	−2,14	0,7
0,8	4,24	2,89	2,19	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	−0,13	−0,37	−0,60	−0,73	−0,86	−1,17	−1,39	−1,52	−1,73	−2,02	0,8
0,9	4,39	2,96	2,22	1,86	1,34	0,77	0,57	0,40	0,10	−0,15	−0,38	−0,61	−0,73	−0,85	−1,15	−1,35	−1,47	−1,66	−1,90	0,9
1,0	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	−0,16	−0,39	−0,62	−0,73	−0,85	−1,13	−1,32	−1,42	−1,59	−1,79	1,0
1,1	4,67	3,09	2,28	1,89	1,34	0,74	0,54	0,37	0,07	−0,18	−0,41	−0,62	−0,73	−0,85	−1,11	−1,28	−1,38	−1,52	−1,68	1,1
1,2	4,82	3,15	2,31	1,91	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05	−0,20	−0,42	−0,63	−0,74	−0,84	−1,09	−1,24	−1,33	−1,45	−1,58	1,2
1,3	4,96	3,21	2,34	1,92	1,34	0,72	0,51	0,33	0,04	−0,21	−0,43	−0,64	−0,74	−0,84	−1,06	−1,21	−1,28	−1,38	−1,48	1,3
1,4	5,10	3,27	2,37	1,94	1,34	0,70	0,49	0,31	0,02	−0,22	−0,44	−0,64	−0,74	−0,83	−1,04	−1,17	−1,23	−1,32	−1,39	1,4
1,5	5,23	3,33	2,39	1,95	1,33	0,69	0,48	0,30	0,00	−0,24	−0,45	−0,64	−0,73	−0,82	−1,02	−1,13	−1,18	−1,26	−1,31	1,5
1,6	5,37	3,39	2,42	1,96	1,33	0,68	0,46	0,28	−0,02	−0,25	−0,46	−0,64	−0,73	−0,82	−0,99	−1,09	−1,14	−1,20	−1,24	1,6
1,7	5,51	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	−0,03	−0,27	−0,47	−0,64	−0,72	−0,81	−0,97	−1,06	−1,10	−1,14	−1,17	1,7
1,8	5,64	3,50	2,47	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	−0,05	−0,28	−0,48	−0,64	−0,72	−0,80	−0,94	−1,02	−1,05	−1,09	−1,11	1,8
1,9	5,78	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,40	0,22	−0,07	−0,29	−0,48	−0,64	−0,72	−0,79	−0,92	−0,98	−1,01	−1,04	−1,05	1,9
2,0	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	−0,08	−0,31	−0,49	−0,64	−0,71	−0,78	−0,90	−0,95	−0,98	−0,99	−1,00	2,0
2,2	6,20	3,70	2,48	2,01	1,28	0,58	0,37	0,17	−0,11	−0,33	−0,49	−0,63	−0,69	−0,75	−0,85	−0,90	−0,90	−0,90	−0,90	2,2
2,4	6,47	3,78	2,49	2,01	1,25	0,54	0,33	0,13	−0,14	−0,35	−0,50	−0,62	−0,66	−0,71	−0,79	−0,82	−0,82	−0,83	−0,83	2,4
2,6	6,73	3,87	2,50	2,01	1,23	0,51	0,31	0,10	−0,17	−0,37	−0,50	−0,60	−0,64	−0,68	−0,74	−0,76	−0,76	−0,77	−0,77	2,6
2,8	6,99	3,95	2,51	2,02	1,20	0,47	0,26	0,06	−0,20	−0,38	−0,50	−0,59	−0,62	−0,65	−0,70	−0,71	−0,71	−0,71	−0,71	2,8
3,0	7,25	4,02	2,52	2,02	1,18	0,42	0,25	0,03	−0,23	−0,40	−0,50	−0,57	−0,60	−0,62	−0,65	−0,66	−0,66	−0,66	−0,67	3,0

Tabel 4-2

Juuni-juuli keskmine vooluhulk eri aastatel Leivajõel Pajuba vaatluspostis

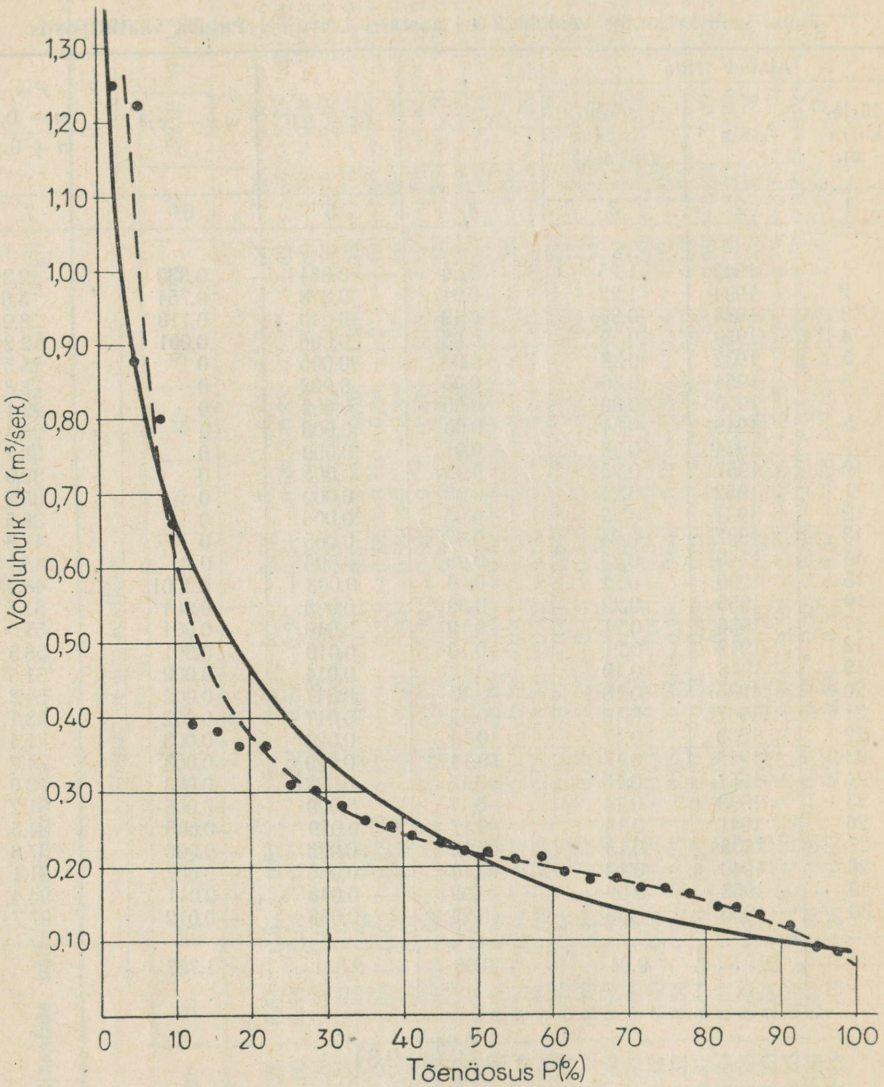
Alanev rida						
Järjekorra nr.	Aasta	Vooluhulk x (m³/sek)	$x-\bar{x}$	$(x-\bar{x})^2$	$(x-\bar{x})^3$	$P=\frac{m-0,3}{n+0,4}100$
1	2	3	4	5	6	7
1	1943	1,25	0,94	0,884	0,830	2,3
2	1934	1,22	0,91	0,828	0,754	5,6
3	1928	0,80	0,49	0,240	0,118	8,9
4	1929	0,39	0,08	0,006	0,001	12,2
5	1932	0,38	0,07	0,006	0	15,5
6	1954	0,36	0,05	0,002	0	18,8
7	1956	0,36	0,05	0,002	0	22,1
8	1949	0,31	0,00	0,000	0	25,4
9	1934	0,30	—0,01	0,000	0	28,7
10	1957	0,28	—0,03	0,001	0	32,0
11	1952	0,26	—0,05	0,002	0	35,2
12	1931	0,25	—0,06	0,006	0	38,5
13	1937	0,24	—0,07	0,005	0	41,8
14	1945	0,23	—0,08	0,006	0	45,1
15	1930	0,22	—0,09	0,008	—0,0001	48,4
16	1955	0,22	—0,09	0,008	—0,001	51,7
17	1936	0,21	—0,10	0,010	—0,001	55,0
18	1942	0,21	—0,10	0,010	—0,001	58,3
19	1946	0,19	—0,12	0,014	—0,002	61,5
20	1935	0,18	—0,13	0,017	—0,002	64,8
21	1947	0,18	—0,13	0,017	—0,002	68,1
22	1939	0,17	—0,14	0,020	—0,003	71,4
23	1948	0,17	—0,14	0,020	—0,003	74,7
24	1951	0,16	—0,15	0,022	—0,003	78,0
25	1933	0,14	—0,17	0,029	—0,005	81,2
26	1941	0,14	—0,17	0,029	—0,005	84,5
27	1938	0,13	—0,18	0,032	—0,006	87,8
28	1940	0,12	—0,19	0,036	—0,007	91,1
29	1953	0,09	—0,22	0,048	—0,011	94,4
30	1950	0,08	—0,23	0,053	—0,012	97,7
	$\Sigma\ldots$	9,24	—0,06	2,361	1,767	

$$\bar{x}=\frac{9,24}{30}=0,31$$

Tabel 4-3

Kestuskõvera ordinaatide arvutus

P. %	1	3	5	10	20	50	75	95	97	99
Φ	3,84	2,50	2,01	1,24	0,52	—0,36	—0,65	—0,78	—0,78	—0,79
ΦC_v	3,53	2,30	1,85	1,14	0,48	—0,33	—0,60	—0,72	—0,72	—0,73
ΦC_v+1	4,53	3,30	2,85	2,14	1,48	0,67	0,40	0,28	0,28	0,27
$(\Phi C_v+1)\bar{x}$	1,40	1,02	0,88	0,66	0,46	0,21	0,12	0,09	0,09	0,08



Joonis 4-2. Vooluhulkade kestuskõver.

Graafiku koostamiseks kantakse täisnurksesse koordinaatide süsteemi lühi- ja pikaajalise vaatlusposti ühesuguste vaatluste andmed, kusjuures ordinaadiks on ühe vaatlusposti andmed ja abstsissiks teise posti andmed. Joonisele kantud punktidest tõmmatakse sirgjoon läbi nii, et punktide hälvete (sirgjoonest kõrvalekaldumise suuruste) ruutude summa oleks minimaalne. Saadud sirgjoone võrrandi $y=ax+b$ tõusunurga tangensi a leidmiseks tuleb võtta sellel sirgel kahe vabalt valitud punkti koordinaadid y_2, y_1 ja x_2, x_1 ning arvutada a valemist:

$$a=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}. \qquad (4\text{-}7)$$

Parameetri b leidmiseks tuleb sirgjoont pikendada kuni y-teljega lõikumiseni ja lugeda sealt lõikumispunkti ordinaadid.

Juhul kui punktid asuvad väga hajutatult, on soovitatav sirgjoone parameetrid arvutada minimaalruutude meetodi põhjal järgmiste valemitega:

$$a = \frac{n\Sigma yx - \Sigma y \Sigma x}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \tag{4-8}$$

ja

$$b = \frac{\Sigma y - a\Sigma x}{n}, \tag{4-9}$$

kus y ja x — vaadeldud suurused ja
n — punktide üldarv.

Näiteks olgu toodud Väo oja magistraalkraavi Väo vaatlusposti juuni ja juuli keskmine vooluhulk aastatest 1938...1957. Vaatlusrida on vaja pikendada kuni 1928. a. Selleks leiame seose Väo vaatluspostis vaadeldud juuni-juuli keskmiste vooluhulkade ja lähedal asuva pika vaatlusreaga Leivajõe Pajuba vaatlusposti samaaegsete vooluhulkade vahel (vt. tab. 4-4).

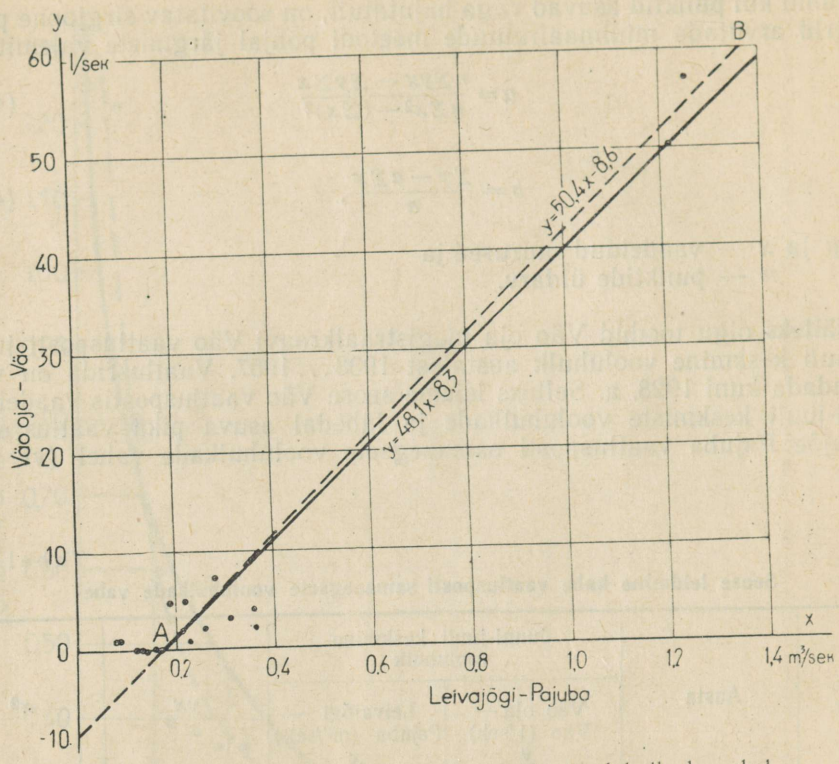
Tabel 4-4

Seose leidmine kahe vaatlusposti samaaegsete vooluhulkade vahel

Jrk. nr.	Aasta	Juuni-juuli keskmine vooluhulk		yx	x^2
		Väo oja — Väo (l/sek) y	Leivajõgi — Pajuba (m^3/sek) x		
1	1938	0	0,13	0	0,22
2	1939	0	0,17	0	0,03
3	1940	0	0,12	0	0,01
4	1941	0	0,14	0	0,02
5	1942	1,8	0,21	0,38	0,04
6	1943	57,0	1,25	71,25	1,56
7	1944	50,2	1,22	61,24	1,49
8	1945	0,1	0,23	0,02	0,05
9	1946	4,6	0,19	0,87	0,04
10	1949	3,2	0,31	0,99	0,10
11	1950	0,1	0,08	0,01	0,01
12	1951	0	0,16	0	0,03
13	1952	2,2	0,26	0,57	0,07
14	1953	0,1	0,09	0,01	0,01
15	1954	0,4	0,36	0,14	0,13
16	1955	0,5	0,22	0,11	0,05
17	1956	2,2	0,36	0,79	0,13
18	1957	7,1	0,28	1,99	0,08
	Σ...	129,5	5,78	138,37	3,87

Joonisel 4-3 on tabelis 4-4 antud vooluhulgad kujutatud punktidena. Nende punktide alusel on silma järgi tõmmatud katkendjoon. Sellel joonel on võetud kaks punkti A ja B, mille ordinaadid on $y_A = 0$ ja $y_B = 60{,}0$ ning abstsissid $x_A = 0{,}17$ ja $x_B = 1{,}36$. Nende koordinaatide järgi arvutame valemi 4-7 järgi sirgjoone tõusunurga tangensi:

$$a = \frac{60{,}0 - 0}{1{,}36 - 0{,}17} = 50{,}4.$$



Joonis 4-3. Seos juuni- ja juulikuu keskmiste vooluhulkade vahel

Teine parameeter b, s. o. sirgjoone ja y-telje lõikumispunkti ordinaat, on — 8,6. Seega saame otsitud seosele võrrandi:

$$y = 50{,}4x - 8{,}6.$$

Minimaalruutude meetodi põhjal saame valemite 4-8 ja 4-9 järgi sirgjoone parameetritele järgmised suurused:

$$a = \frac{18 \cdot 138{,}37 - 129{,}5 \cdot 5{,}78}{18 \cdot 3{,}87 - 5{,}78^2} = 48{,}1$$

ja

$$b = \frac{129{,}5 - 48{,}1 \cdot 5{,}78}{18} = -8{,}3$$

ning seose võrrandi

$$y = 48{,}1x - 8{,}3.$$

Tingimusele, et punktide hälvete ruutude summa nende punktide järgi tõmmatud sirgjoonest oleks minimaalne, vastab korrelatsioonimeetodil saadud sirge, mida nimetatakse r e g r e s s i o o n i s i r g e k s.

Regressioonisirge võrrand on järgmise kujuga:

a) kui y on avaldatud x-i kaudu, siis

$$y - \bar{y} = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}); \qquad (4\text{-}10)$$

b) kui x on avaldatud y-i kaudu, siis

$$x - \bar{x} = r_{xy} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}). \qquad (4\text{-}10a)$$

Neis valemeis: r_{xy} — korrelatsioonikoefitsient, mis määratakse valemiga:

$$r_{xy}=\frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2\,\Sigma(y-\bar{y})^2}}; \tag{4-11}$$

σ_y ja σ_x — keskmised ruuthälbed, mis määratakse järgmiselt:

$$\sigma_y=\sqrt{\frac{\Sigma(y-\bar{y})^2}{n-1}} \tag{4-12}$$

ja

$$\sigma_x=\sqrt{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{n-1}}, \tag{4-13}$$

kus n — rea liikmete arv ja
$\bar{y}$ ja $\bar{x}$ — vaatluste aritmeetilised keskmised.

Regressioonivõrrandi keskmine ruuthälve S_y arvutatakse valemitega:

$$S_y=\sigma_y\sqrt{1-r_{xy}^2} \tag{4-14}$$

ja

$$S_x=\sigma_x\sqrt{1-r_{xy}^2}. \tag{4-14a}$$

Korrelatsioonikoefitsiendi r_{xy} tõenäoline viga

$$E=0{,}674\,\frac{1-r_{xy}^2}{\sqrt{n}}. \tag{4-15}$$

Korrelatsioonikoefitsiendi r_{xy} vea piirväärtuseks võetakse $4E$. Seos uuritavate suuruste vahel loetakse tõestatuks, kui summa $r_{xy}\pm 4E$ säilitab korrelatsioonikoefitsiendi märgi. Mida väiksem on $4E$ suurus, võrreldes r_{xy} väärtusega, seda parem on seos.

Korrelatsioonikoefitsiendi suuruse järgi võib hinnata ka seose tihedust. Kui $r_{xy}=1$, siis on seos funktsionaalne. Kui $r_{xy}<0{,}6$, siis seos on väga nõrk. Praktiliselt on seosed kasutatavad, kui $r_{xy}>0{,}8$.

Nagu ülaltoodust selgub, võimaldab korrelatsioonimeetod hinnata leitud seose täpsust ja arvutustes esinevate võimalike vigade suurust, mille tõttu see meetod leiab laialdast rakendamist.

Näitena korrelatsioonimeetodi rakendamisest vooluhulkade vahelise seose leidmiseks on kasutatud juba eespool mainitud Väo oja ja Leivajõe vaatluspostide andmeid (vt. tab. 4-5).

Veergude 6, 8 ja 9 summade järgi arvutame valemiga 4-11 korrelatsioonikoefitsiendi

$$r_{xy}=\frac{96{,}89}{\sqrt{4932{,}8\cdot 1{,}99}}=0{,}98$$

ja valemi 4-12 ning 4-13 järgi keskmised ruuthälbed:

$$\sigma_y=\sqrt{\frac{4932{,}8}{18-1}}=17{,}04,$$

$$\sigma_x=\sqrt{\frac{1{,}99}{18-1}}=0{,}34.$$

Võrrandi 4-10 põhjal on regressioonikoefitsient:

$$b = r_{xy}\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0{,}98\frac{17{,}04}{0{,}34} = 50{,}1$$

ja regressioonisirge võrrand:

$$y - \bar{y} = 50{,}1\ (x - \bar{x}) \text{ ehk } y - 7{,}0 = 50{,}1\ (x - 0{,}32),$$

kust

$$y = 50{,}1x - 9{,}0.$$

Tabel 4-5

Korrelatsioonimeetodi rakendamine vooluhulkade vahelise seose leidmiseks

Jrk. nr.	Aasta	Juuni-juuli keskmine vooluhulk		$y-\bar{y}$	$(y-\bar{y})^2$	$x-\bar{x}$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})\cdot(x-\bar{x})$
		Väo oja (l/sek) y	Leivajõgi—Pajuba (m^3/sek) x					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1938	0	0,13	—7,0	49,0	—0,19	0,04	1,33
2	1939	0	0,17	—7,0	49,0	—0,15	0,02	1,12
3	1940	0	0,12	—7,0	49,0	—0,20	0,04	1,40
4	1941	0	0,14	—7,0	49,0	—0,18	0,03	1,26
5	1942	1,8	0,21	—5,2	27,0	—0,11	0,01	0,57
6	1943	57,0	1,25	50,0	2500,0	0,93	0,86	46,50
7	1944	50,2	1,22	43,2	1866,0	0,90	0,81	38,88
8	1945	0,1	0,23	—6,9	47,6	—0,09	0,01	0,62
9	1946	4,6	0,19	—2,4	5,8	—0,13	0,02	0,31
10	1949	3,2	0,31	—3,8	14,4	—0,01	0	0,04
11	1950	0,1	0,08	—6,9	47,6	—0,24	0,06	1,66
12	1951	0	0,16	—7,0	49,0	—0,16	0,03	1,12
13	1952	2,2	0,26	—4,8	23,0	—0,06	0	0,29
14	1953	0,1	0,09	—6,9	47,6	—0,23	0,05	1,59
15	1954	0,4	0,36	—6,6	43,6	0,04	0	—0,26
16	1955	0,5	0,22	—6,5	42,2	—0,10	0,01	0,65
17	1956	2,2	0,36	—4,8	23,0	0,04	0	—0,19
18	1957	7,1	0,28	0,1	0,0	—0,04	0	0
	Σ	125,9	5,78		4932,8		1,99	96,89

Korrelatsioonikoefitsiendi tõenäoline viga valemi 4-15 järgi on:

$$\bar{y} = \frac{125{,}9}{18} = 7{,}0;$$

$$\bar{x} = \frac{5{,}78}{18} = 0{,}32.$$

$$E = 0{,}674\frac{1 - 0{,}98^2}{\sqrt{18}} = 0{,}0063;$$

$$4E = 4 \cdot 0{,}0063 = 0{,}025 < r_{xy} < 0{,}98.$$

Nagu selgub, on saadud regressioonivõrrandi kasutamisel esinevad võimalikud vead väikesed ja korrelatsioonikoefitsient suur. Seega on Väo oja—Väo vaatlusposti juuni-juuli keskmise vooluhulga vaatlusrea pikendamine Leivajõe—Pajuba vaatluspunkti andmetel täiesti võimalik.

§ 4-3. ÄRAVOOLU MÕJUTAVAD TEGURID JA NENDE ARVUTAMINE

1. SADEMED

Üheks tähtsamaks äravoolu mõjutavaks klimaatiliseks teguriks on sademed. Sademeid mõõdetakse Hüdrometeoroloogia Teenistuse Valitsuse poolt organiseeritud sademete vaatluspunktides. Käesoleval ajal (1961) mõõdetakse sademeid Eesti NSV piires kokku 113 punktis. Sademeid on Eestis mõõdetud palju kauem kui äravoolu. Üle-eestilisi sademete kartogramme on koostatud juba alates 1891. aastast.

Sademete kartogrammi koostamiseks kantakse kaardile meteoroloogiajaamade ja vaatluspostide juurde nende keskmine sademete hulk, mille alusel tõmmatakse sademete samajooned ehk isohüeedid 5, 10 või 25 mm vahedega.

Sademete keskmise hulga arvutamiseks mingil territooriumil (vesikonnas) kasutatakse kaalutud keskmise meetodit. Selle meetodi rakendamisel jagatakse vesikond osadeks selliselt, et iga sademete vaatlusposti piirkonda kuulub osa vesikonnast. Selle osa vesikonna pindala moodustab vaatlusposti kaalu, millega tuleb korrutada antud postis mõõdetud sademete hulgad. Summeerides korrutised ja jagades saadud summa kogu vesikonna pindalaga, saame kogu vesikonna keskmise sademete hulga soovitavas ajavahemikus (vt. MK III, kartogramm I).

Aasta, poolaasta ja kuu sademete hulka kasutatakse samaaegsete äravoolude suuruste arvutamiseks [4; 2; 3].

Pikaajaline (1891—1950) aasta sademete hulk Eesti NSV territooriumil on 590 mm. Pandivere, Otepää ja Haanja kõrgustiku ning Edela-Eestis Läti NSV piiri ääres ületab aasta sademete hulk 650 mm. Kõige vähem esineb sademeid saartel, mere- ja Peipsi järve rannikul, kus aasta sademete hulk kõigub 500 ... 550 mm vahemikus.

Soojaperioodi (1. aprillist kuni 31. oktoobrini) pikaajaline sademete hulk on 407 mm. Kõrgustikel ületab soojaperioodi sademete hulk 450 mm ja saartel ning mererannikul läänes ja loodes kõigub see 325 ja 365 mm vahel.

Kuudest on sademeterikkaim august, millal keskmine sademete hulk on 84 mm, kuna juuli, septembri ja oktoobri sademete hulk on vastavalt 74, 73 ja 64 mm. Kõige kuivemad soojaperioodi kuudest on mai ja juuni, sademete hulgaga keskmiselt 55 ja 57 mm.

Vihmast tingitud maksimaalse äravoolu arvutamiseks on vaja teada üksikute vihmasadude suurust ja iseloomu.

Isekirjutavate sademetemõõtjate (pluviograafide) andmete (pluviogrammide) alusel on koostatud valemid vihma intensiivsuse arvutamiseks. Üldiselt on teada, et tugevad vihmad on lühiajalised ja väikese intensiivsusega vihmad pika kestusega. Seega on vihma intensiivsus ja kestus pöördvõrdelised. ГГИ poolt on koostatud vihma intensiivsuse määramiseks järgmine valem [5]:

$$i = \frac{S_N}{(t+1)^{0,67}}, \tag{4-16}$$

kus i — vihma keskmine intensiivsus mm/min, korduvusega 1 kord N aastas;
t — vihma kestus minutites ja
S_N — vihma maksimaalne intensiivsus, korduvusega 1 kord N aastas;

$$S_N = A + B \log N, \tag{4-17}$$

kus A ja B — parameetrid, mis määratakse pluviogrammide alusel.

Määranud valemi 4-16 järgi vihma keskmise intensiivsuse, saab arvutada vastava sademete hulga H lihtsa valemiga:

$$H = it, \tag{4-18}$$

kusjuures vihma maksimaalseks kestuseks võib võtta 600 minutit.

G. A. Aleksejevi poolt hiljem tuletatud valemid H ja i [6] arvutamiseks annavad vaatlusandmetega võrreldes suuremaid erinevusi kui valem 4-16.

Linna kanalisatsioonivõrgu dimensioneerimiseks vajalike paduvihma parameetrite määramiseks on M. V. Molokov [7] kasutanud ГГИ valemit mõnevõrra muudetud kujul.

M. V. Molokovi vihma intensiivsuse põhivalem on järgmine:

$$q = \frac{A_1 f(P)}{t^n}, \tag{4-19}$$

kus q — vihma keskmine intensiivsus l/sek. ha;

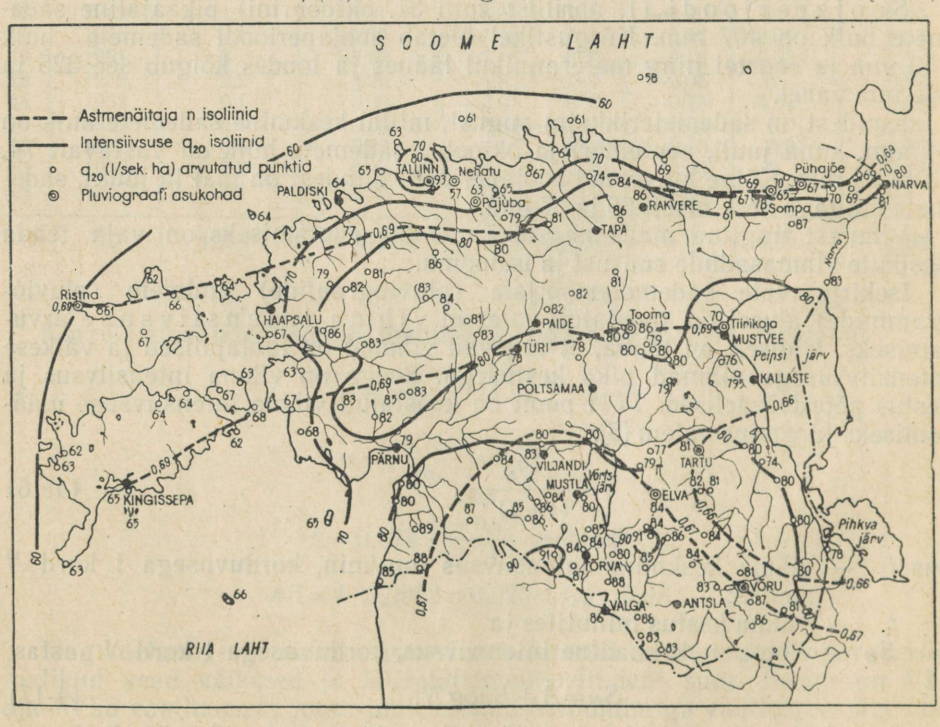
A_1 — vihma intensiivsus, mille kestus $t = 1$ min.

Et aga vihma intensiivsuse määramisel, mille kestus on 1 minut, võib esineda ebatäpsusi, siis on valemisse 4-19 viidud vihma intensiivsus q_{20}, mille kestus $t = 20$ min. ja korduvus $P = 1$ aasta, ning mis on korrutatud koefitsiendiga 20^n, seega

$$A_1 = 20^n q_{20}. \tag{4-20}$$

Funktsiooni $f(P)$ väljendab M. V. Molokov järgmiselt:

$$f(P) = 1 + C \log P, \tag{4-21}$$



Joonis 4-4. Paduvihma parameetrite q_{20} ja n kartogramm.

kus $C=\frac{B}{A}$; A ja B on parameetrid ГГИ valemis (4-17); P — sama mis N valemis 4-17, s. o. korduvus 1 kord aastas.

Asendades valemis 4-19 suurused A_1 ja $f(P)$ valemitega 4-20 ning 4-21, sai M. V. Molokov vihma intensiivsuse määramiseks, olenevalt selle kestusest ja korduvusest, järgmise valemi:

$$q=\frac{20^n q_{20}(1+C\log P)}{t^n}. \qquad (4\text{-}22)$$

Seda valemit kasutatakse vooluhulga määramiseks linnade ja asulate kanalisatsioonivõrgu dimensioneerimisel.

Parameetrite q_{20} ja n määramiseks (valemis 4-22) on Eesti NSV territooriumi jaoks A. Kõivi poolt koostatud kartogramm, mis on esitatud joonisel 4-4. Sellest kartogrammi üldpildist moodustab erandi Tallinna linn, kus $q_{20}=93{,}5$ l/sek. ha ja $n=0{,}72$.

Koefitsiendi C suuruseks tuleb kogu Eesti NSV kohta võtta 0,85.

Valemit 4-22 võib kasutada kavihma hulga (H) arvutamiseks millimeetrites; sel juhul tuleb valemit korrutada vihma kestusega t ja mõõtühikult l/sek.ha üleminekuks mõõtühikule mm korrutada veel koefitsiendiga $\frac{60}{10^4}=0{,}006$, seega:

$$H=\frac{0{,}006\ 20^n q_{20}(1+C\log P)t}{t^n}. \qquad (4\text{-}23)$$

Valem 4-22 on tuletatud paduvihmade alusel, mille kestus ei ületa 120 minutit, seepärast on sademete hulga H arvutamine valemi 4—22 alusel õigustatud vihma kestuse (t) puhul kuni 120 min.

Valemite 4-16, 4-17 ja 4-18 ühendamisel saame sademete hulga arvutamiseks järgmise valemi:

$$H=\frac{A(1+\frac{B}{A}\log N)\,t}{(t+1)^{0{,}67}}. \qquad (4\text{-}24)$$

Asendades $\frac{B}{A}$ C-ga, N P-ga ning astendaja 0,67 n-ga, saame:

$$H=\frac{A(1+C\log P)\,t}{(t+1)^n}. \qquad (4\text{-}25)$$

On näha, et valemid 4-23 ja 4-25 on peaaegu võrdsed, kui parameeter A asendada avaldisega

$$A=0{,}006\cdot 20^n q_{20}. \qquad (4\text{-}26)$$

Seega saab kartogrammi 4-4 kasutada ka parameetri A määramiseks, ja $B=0{,}85\,A$.

G. A. Aleksejevi uurimiste andmetest [6] selgub, et kui vihma kestuseks t võtta 600 min, siis saab valemite 4-24 ja 4-23 alusel arvutada ka ööpäeva maksimaalset sademete hulka, vastavalt selle korduvusele.

2. ÕHU TEMPERATUUR JA NIISKUS

Pikaajaline (1881—1947) aasta keskmine õhu temperatuur kõigub Eesti NSV territooriumil 4,4-st kuni 6,0°-ni. Madalam aasta keskmine temperatuur esineb Kesk- ja Põhja-Eestis. Kõrgem on aasta keskmine temperatuur Lääne-Eestis, eriti Saaremaa edelarannikul.

Aasta keskmist õhu temperatuuri koos aasta sademete hulgaga kasutatakse aasta auramise ja äravoolu hulga arvutamiseks [8].

Täpsemalt arvutatakse auramise ja äravoolu hulka sademete ja õhu niiskuse defitsiidi alusel [9]. Õhuniiskuse defitsiit on vahe õhus antud temperatuuri juures võimaliku maksimaalse niiskuse (õhu küllastusniiskuse) ja õhu faktilise niiskuse vahel.

Õhus tegelikult esinevat veeauru rõhku nimetatakse absoluutniiskuseks (e). Tegelikult õhus leiduva veeauru rõhu suhet sama temperatuuri juures õhu küllastuseks vajaliku veeauru rõhusse (E) nimetatakse relatiivniiskuseks (r):

$$r = \frac{e}{E}.$$

Harilikult väljendatakse relatiivniiskust protsentides:

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100.$$

Õhu niiskuse vajak ehk defitsiit (d) arvutatakse valemiga:

$$d = \frac{e(100-r)}{r} \quad \text{ehk} \quad d = E - e.$$

Õhu küllastusniiskust on võimalik määrata tabeli 4-6 järgi.

Tabel 4-6

Õhu küllastusniiskus

Temperatuur C°	Küllastusniiskus E (mm)	Temperatuur C°	Küllastusniiskus E (mm)	Temperatuur C°	Küllastusniiskus E (mm) (vee kohal)
+35	42,19	+17	14,53	— 1	4,25
34	39,91	16	13,64	— 2	3,95
33	37,74	15	12,79	— 3	3,67
32	35,67	14	11,99	— 4	3,40
31	33,71	13	11,23	— 5	3,16
30	31,83	12	10,52	— 6	2,93
29	30,05	11	9,85	— 7	2,71
28	28,36	10	9,21	— 8	2,51
27	26,75	9	8,61	— 9	2,32
26	25,22	8	8,05	—10	2,14
25	23,76	7	7,51	—11	1,98
24	22,38	6	7,01	—12	1,83
23	21,07	5	6,54	—13	1,68
22	19,83	4	6,10	—14	1,55
21	18,66	3	5,68	—15	1,43
20	17,54	2	5,29	—16	1,32
19	16,48	+ 1	4,93	—17	1,22
18	15,48	0	4,58	—18	1,12

Õhu niiskust mõõdetakse meteoroloogiajaamades, mida Eesti NSV territooriumil on arvult 32 (1961. a.).

Pikaajaline aasta keskmine õhu niiskuse defitsiit on Eestis saartel, mererannikul ja Peipsi järve lääneranniku 1,6 mm, Pandivere kõrgustikul ja selle ümbruses 1,8 mm ning Lõuna-Eestis 1,9 mm.

3. AURAMINE

Auramise hulga arvutamiseks Eesti NSV territooriumi vesikondadelt kasutatakse E. Oldekopi valemit:

$$z = 205\, d\, \mathrm{th}\, \frac{x}{205\, d}, \qquad (4\text{-}27)$$

kus z — pikaajaline aasta auramise hulk (mm);
d — samaaegne aasta keskmine õhu niiskuse defitsiit (mm);
x — pikaajaline aasta sademete hulk (mm) ja
th — hüperboolse tangensi tähis.

Valemi 4-27 järgi on võimalik arvutada aasta auramise hulka ainult pika aastate rea (üle 20 aasta) keskmisena. Alla kahekümne aasta keskmise auramise hulga arvutamisel tuleb valemi koefitsienti 205 täpsustada nende vesikondade andmetel, kus on teada äravoolu ja seega ka auramise hulk.

Valemi 4-27 alusel on Eesti NSV vesikondade kohta koostatud auramise kartogramm (vt. MK III, kartogramm II). Lahutades pikaajalisest aasta sademete hulgast auramise hulga, saadakse nn. aasta kliimaatiline äravoolunorm (vt. MK III, kartogramm III).

4. PINNASE VEEJUHTIVUS

Sademete kaudu äravoolu arvutamisel on vajalik teada pinnasesse imbuvat sademete hulka, mis oleneb peamiselt pinnase veejuhtivusest.

Pinnase veejuhtivuse kaudseks hindajaks on aasta keskmine minimaalne äravool. Mida vettjuhtivam on pinnas, seda rohkem imbub sademete vett põhjavette ja seda suurem on põhjavee äravool ning suurem minimaalne ja väiksem maksimaalne vooluhulk veejuhtmeis.

Vettjuhtivamad pinnased asuvad Eestis Pandivere, Viljandi, Otepää ja Haanja kõrgustikul, kus aasta keskmine minimaalne äravoolumoodul tõuseb kuni 3 l/sek.km^2 (Pandiveres isegi kuni 4 l/sek.km^2). Vettpidava pinnasega vesikonnad on levinud Lääne-Eestis Kasari ja Pärnu jõe alamjooksul, kus keskmine minimaalne äravoolumoodul on väiksem kui 0,5 l/sek.km^2 ja langeb tihti kuni nullini. Soodes ja kuivendatud maades, kuhu ei valgu naaberaladelt vett peale, on minimaalne äravool samuti ligilähedane nullile.

MK III-s on toodud keskmise aasta minimaalse äravoolumooduli kartogramm (IV), mis on koostatud järvedeta harujõgede vesikondades, peajõgede keskmise minimaalse äravoolu ajal mõõdetud äravoolu andmeil. Peajõgedes tuleb lugeda keskmiseks aasta minimaalseks äravooluks 95%-lise tõenäosusega päeva keskmist äravoolu aastas, mis saadakse alanevasse järjekorda asetatud päeva keskmiste äravoolude põhjal koostatud kestuskõverast.

5. JÄRVED

Järved, samuti kui vettjuhtivad pinnased ühtlustavad äravoolu, s. t. vähendavad maksimaalset ja suurendavad minimaalset äravoolu. Järvede mõju äravoolule hinnatakse minimaalse äravoolu suurenemise järgi. Järvedega vesikondades, kus puuduvad äravoolu mõõtmise andmed, võib keskmise minimaalse äravoolu suurenemist arvutada valemiga:

$$\Delta k_{95\,\%} = 1 - [2{,}04\,(1 - \Delta\omega^{0{,}22})]^{0{,}62}, \qquad (4\text{-}28)$$

kus $\Delta k_{95\%}$ — $k_{95\%}$ muutumine (suurenemine) järvede mõjul;

$$k_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{\bar{q}},$$

milles $q_{95\%}$ — keskmine aasta minimaalne äravoolumoodul (l/sek.km^2);

$\bar{q}$ — aasta äravoolunorm (l/sek.km^2);

$$\Delta\omega = \frac{W_r}{W_a},$$

kus W_r — äravoolu reguleeriv järve maht (milj. m^3):

$$W_r = \frac{\Delta h}{300}(S_{max} + S_{min} + \sqrt{S_{max} S_{min}});$$

S_{max} — järve pindala keskmise kevadise maksimaalse veeseisu puhul (ha);

S_{min} — järve pindala keskmise aastase minimaalse veeseisu puhul (ha);

Δh — keskmise kevadise maksimaalse ja keskmise aastase minimaalse veeseisu vahe (m);

W_a — aasta keskmine äravoolu maht vesikonnas (milj. m^3):

$$W_a = 0{,}0315\,\bar{q}F;$$

F — veejuhtme vesikonna pindala (km^2).

MK III-s on $\Delta k_{95\%}$ määramiseks esitatud nomogramm XXXIV-B.

6. SOOD JA METSAD

Sood ja metsad aeglustavad tunduvalt suurvee äravoolu, mille tõttu maksimaalne äravool on täiesti soostunud või täielikult metsaga kaetud vesikonnast kuni 5 korda väiksem kui täiesti lagedalt maa-alalt. Auramise hulk aastas on võsa ja kidura metsaga kaetud liigniisketel maadel väiksem kui lagedatel aladel, sest võsa ja kidura metsa transpiratsioon on väiksem kui muul taimestikul ja tuule pidurduse tõttu on sellisel alal ka auramine maapinnalt väiksem. Liigniiskete maade ja metsade pindala vesikonnas määratakse topograafiliselt kaardilt mõõdus 1:25 000, 1:42 000 või 1:50 000. Liigniisked maad on enamasti võsa või kidura metsaga kaetud.

7. KUIVENDUSE MÕJU

Kuivenduse mõjul suureneb maksimaalne äravool, sest tihedama veejuhtmete võrgu tõttu kiireneb suurvee äravool.

Vesikond loetakse kanaliseerituks, kui suuremate kraavide, mille sügavus on vähemalt 1,0 m, ja soostumata kallastega looduslike veejuhtmete tihedus on üle 1 km/km^2. Raskete pinnastega vesikondi võib lugeda kanaliseerituks, kui selliste veejuhtmete tihedus on üle 0,7 km/km^2. Vesikonda loetakse soostunuks, kui nimetatud veejuhtmete tihedus liigniiskel maa-alal on alla 0,15 km/km^2. Kui vesikonnas esineb mitmesugust veejuhtmete tihedust, hinnatakse kanaliseerimise mõju kaalutud keskmisena, kus kaaluks võetakse erineva veejuhtmete tihedusega vesikonnaosade pindalad (vt. MK III, nomogramm XXXI).

Suurvee äravoolu kiirenemise tõttu kuivenduse mõjul väheneb keskmine äravool kevadel ja kevad-suvisel perioodil. Sügisene keskmine (septembri-oktoobri) äravool on aga, ümberpöördult, kuivendatud vesikondadest suurem kui soostunud aladelt.

Aasta keskmise äravoolu suurenemist võib täheldada kuivendatud vesikondades, kus esineb põhjavee juurdevool. Kuivendatud madalsoodest on aasta keskmine äravool ligikaudu 10% suurem kui kuivendamata madalsoost ja ligikaudu 20% suurem kui kuivendust mittevajavatelt maa-aladelt.

§ 4-4. ÄRAVOOLU ARVUTAMISE VALEMID

1. VALEMITE ÜLDISELOOMUSTUS

Kuivendussüsteemide projekteerimiseks vajalike arvutuslike äravoolumoodulite määramiseks saab väga harva kasutada äravoolu otsese mõõtmise andmeid. Vaatluspostid asuvad tavaliselt suurtes vesikondades, mille iseloom on alati erinev väikesest vesikonnast, mida kavatsetakse kuivendada. Ka sel juhul, kui kuivendatav ala moodustab osa samast vesikonnast, mille kohta on olemas vaatlusandmed, ei ole võimalik vaadeldud äravoolumooduleid vahetult kasutada, sest peale vesikonna suuruse mõjutavad äravoolu iseloomu veel vesikonna pinnase ja taimkatte omadused, mis võivad suures ja väikeses vesikonnas väga erinevad olla. Neid juhtumeid, kus vaatlusposti vesikonna omadused sarnaneksid kuivendatava vesikonna omadustega, esineb väga harva. Suuremate jõgede reguleerimisel tuleb aga püüda võimalikult rohkem kasutada vaatlusandmeid vesikondadest, mille omadused on sarnased, sest suurte vesikondade iseloom on sarnasem ja ka vaatlusandmeid on rohkem. Vajaduse korral tuleb vaatlusrida korrelatsioonimeetodil pikendada.

Äravoolu arvutamiseks kuivendussüsteemides on K. Hommik koostanud vastavad valemid.

Soovitatava vooluhulga saamiseks tuleb valemite abil saadud äravoolumoodul korrutada vesikonna pindalaga, seega:

$$Q = \frac{qF}{1000}, \tag{4-29}$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek);
F — vesikonna pindala (km^2, ha) ja
q — järgnevate valemitega arvutatav äravoolumoodul (l/sek.km^2 või l/sek.ha).

Aasta äravoolunormi määramiseks on koostatud Eesti NSV territooriumi kohta klimaatilise äravoolunormi ($\bar{q}_k$) kartogramm (vt. MK III, kartogramm III). Antud vesikonna aasta faktilise äravoolunormi ($\bar{q}$) saamiseks tuleb kartogrammilt leitud aasta klimaatilisele äravoolunormile ($\bar{q}_k$) liita vesikonna kohalikke looduslikke iseärasusi hindav parandus ($\Delta\bar{q}$):

$$\bar{q} = \bar{q}_k + \Delta\bar{q}, \tag{4-30}$$

kusjuures $\Delta\bar{q}$ (l/sek.km^2) arvutatakse valemiga

$$\Delta\bar{q} = 0{,}025\,C + 0{,}50\,q_{95\%} - 1{,}63, \tag{4-31}$$

kus $C = 1{,}5C_1 + C_2$;
C_1 — kuivendatud, põhjaveega toituvad maa-alad, kui nad asuvad vesikonna piiril (maa-alad, kuhu on võimalik põhjavee juurdevool naabervesikonnast);
C_2 — võsastunud või kidura metsaga kaetud soostunud mineraalmaad ja sood (detailvõrgu puhul $C_2 = 0$); C_1 ja C_2 väljendatakse protsentides vesikonna pindalast;

$q_{95\%}$ — keskmine aasta minimaalne äravoolumoodul l/sek.km², mis mõõtmisandmete puudumise korral määratakse minimaalse äravoolu kartogrammi alusel (vt. MK III, kartogramm IV). Kuivendatud maadel, kus märgatavat põhjavee juurdevoolu ei ole, $q_{95\%} = 0$.

Drenaaži kollektorite dimensioneerimisel ja dreenide vahekauguse arvutamisel põhjaveega toituvatel maadel kujuneb äravoolunormi parandus järgmiseks: $\Delta\bar{q} = 0{,}025 \cdot 1{,}5 \cdot 100 + 0 - 1{,}63 \approx 2{,}1$ l/sek.km².

Allpool esitatakse K. Hommiku valemid veerežiimi karakteersete perioodide kohta, millel on kuivendussüsteemide projekteerimisel eriline tähtsus. Arvesse võttes, et valemite küllalt keeruline struktuur tekitab raskusi nende kasutamisel projekteerimise praktikas, on MK III-s esitatud nende valemite alusel koostatud nomogrammid, millega arvutuslikke äravoolumooduleid saab määrata graafilisel teel (nomogrammid XXXI ... XXXIV).

Valemites ja nomogrammides esinev äravoolu tõenäosus (P %-des) valitakse majanduslike kaalutluste põhjal, mille kohta on antud tagapool juhised (§ 4-5).

2. KEVADINE MAKSIMAALNE ÄRAVOOL

Kevadise maksimaalse äravoolumooduli määramiseks on koostatud valemid:

$$q_{\text{kev. max } 1-10\%} = \frac{100\bar{q}E}{(F+1)^{0,144}\, 10^{1,4\,(k_{95\%}+r)}\, P^{0,22}} \tag{4-32}$$

ja

$$q_{\text{kev. max } 10-50\%} = \frac{200\bar{q}E}{(F+1)^{0,144}\, 10^{1,4\,(k_{95\%}+r)}\, P^{0,52}}. \tag{4-32a}$$

Nende valemite asemel võib kasutada ka järgmist üldist valemit:

$$q_{\text{kev. max } P\%} = \bar{q}\left[\frac{112 - 52\log(P+1)}{(F+1)^{0,144}}\right]^{(1-k_{95\%}-r)}. \tag{4-32b}$$

Erinevused valemite 4-32 ning 4-32a ja 4-32b vahel ei ole suured, kuid valem 4-32b on teoreetiliselt paremini põhjendatud ja seetõttu on seda võimalik kasutada ka tõenäosuse (P) puhul alla 1% ja üle 50%.

Ülaltoodud valemites esinevate tegurite tähendus on:

$q_{\text{kev. max } 1-10\%}$ — kevadine maksimaalne äravoolumoodul tõenäosusega 1 ... 10% (l/ sek.km²);

$q_{\text{kev. max } 10-50\%}$ — kevadine maksimaalne äravoolumoodul tõenäosusega 10 ... 50% (l/sek.km²);

$q_{\text{kev. max } P\%}$ — kevadine maksimaalne äravoolumoodul tõenäosusega P% (l/sek.km²);

F — vesikonna pindala (km²);

$\bar{q}$ — aasta äravoolunorm (l/sek.km²), mis määratakse valemiga 4-30;

P — äravoolu tõenäosus protsentides;

$$k_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{\bar{q}},$$

milles $q_{95\%}$ — keskmine minimaalne äravoolumoodul (l/sek.km²), ja

$$r = 0{,}0045(A + 1{,}13B) - 0{,}285. \tag{4-33}$$

Ligikaudsetel arvutustel võetakse:
A — soode ja soostunud mineraalmaade protsent vesikonnas ja
B — metsade protsent vesikonnas.
Täpsematel arvutustel määratakse A ja B järgmiselt:

$$A = A_{ms} + 0{,}5\,(A_{mk} + A_{ks}) + 0{,}65A_{sm} + 0{,}28D \text{ ja} \qquad (4\text{-}33a)$$

$$B = B_1 + 0{,}85B_2, \qquad (4\text{-}33b)$$

milles

A_{ms} — kuivendamata madalsoode protsent vesikonnas;
A_{mk} — kuivendatud madalsoode protsent vesikonnas;
A_{ks} — kõrgsoode protsent vesikonnas;
A_{sm} — soostunud mineraalmaade protsent vesikonnas (liigniisked maa-alad kaldega 0,1 ... 0,3%);
D — lagedate või võsastunud kuivade maa-alade protsent vesikonnas, mille kalle on väiksem kui 2%;
B_1 — metsade protsent vesikonnas, välja arvatud metsad soostunud rasketel mineraalmaadel ja maa-aladel, mille kalle on üle 2%;
B_2 — soostunud rasketel mineraalmaadel ja maa-aladel, kaldega üle 2%, asuvate metsade protsent vesikonnas ja
E — vesikonna kanaliseerimise mõju hindav koefitsient: soostunud kanaliseerimata vesikonnas $E = 0{,}80$, kanaliseeritud vesikonnas $P = 10\%$ puhul $E = 1{,}23$ ja $P = 2 \ldots 5\%$ puhul $E = 1{,}63$. Lähemalt E määramise kohta vt. MK III, nomogramm XXXI.

Juhul kui A arvutatakse valemiga 4-33a, tuleb koefitsiendiks E valemites 4-32 ja 4-32a võtta 1,0. Määratakse aga A ja B ligikaudselt, tuleb valemiga 4-32b saadud tulemust korrutada koefitsiendiga E.

Maksimaalse päeva keskmise äravoolumooduli arvutamisel väikestes vesikondades ($F < 100$ km^2) tuleb valemite 4-32a ja 4-32b nimetajas asendada tegur $(F+1)^{0{,}144}$ jääva suurusega 1,94 või korrutada lugejat koefitsiendiga 0,52. Suuremates vesikondades ($F > 100$ km^2) võetakse maksimaalne äravool võrdseks päeva keskmise maksimaalse äravooluga.

Kevadist päeva keskmist maksimaalset vooluhulka kasutatakse projekteeritava veejuhtme voolusängi mitteuhutavuse kontrollimiseks (voolu kiiruse ülempiiri kindlakstegemiseks) ja vajaduse korral kevadise üleujutuspiirkonna kindlaksmääramiseks. Kevadist maksimaalset vooluhulka kasutatakse sildade ja truupide dimensioneerimiseks.

3. VEGETATSIOONIPERIOODI (V ... X KUU) MAKSIMAALNE ÄRAVOOL

Vegetatsiooniperioodi maksimaalne äravoolumoodul arvutatakse valemiga

$$q_{\text{veg. max 2–22\%}} = \frac{24\bar{q}}{(F+1)^{0{,}11}\, 10^{(k_{95\%} + r')}\, P^{0{,}22}}, \qquad (4\text{-}34)$$

milles

$q_{\text{veg. max 2–22\%}}$ — vegetatsiooniperioodi maksimaalne äravoolumoodul tõenäosusega 2—22% (l/sek. km^2),

või valemiga

$$q_{\text{veg. max } P\%} = \bar{q}\left[\frac{26 - 11{,}5 \log (P+1)}{(F+1)^{0{,}11}}\right]^{(1 - k_{95\%} - r')}, \qquad (4\text{-}34a)$$

mis on kehtiv ka tõenäosuse puhul alla 2% ja üle 22%.

Valemitesse 4-34 ja 4-34a kuuluv tegur r' arvutatakse valemiga

$$r' = 0{,}0045(A' + 1{,}13B') - 0{,}285,$$

milles ligikaudsetel arvutustel võetakse:

A' — soostunud mineraalmaade ja soode protsent vesikonnas, välja arvatud kuivendatud ja kuivendamisele võetavad soostunud mineraalmaad ning intensiivselt kuivendatud sood;

täpsematel arvutustel määratakse A' valemiga:

$$A' = A_{ms} + 0{,}65(A_{ks} + A_{sm}) + 0{,}30A_{mk} - 0{,}2D',$$

milles D' — lagedate või võsastunud kuivade või kuivendatud raskete mineraalmaade protsent vesikonnas ja maa-alade protsent, mille kalle on suurem kui 2%, ja

B' — metsade protsent vesikonnas, välja arvatud kuivendatud ja kuivendust mittevajavad metsad.

Ülejäänud tegurite tähendust vt. val. 4-33a ja b.

Väikeste veejuhtmete, nagu kogujakraavide ja kollektorite dimensioneerimisel võib kasutada vegetatsiooniperioodi maksimaalse äravoolu arvutamiseks järgmisi lihtsaid valemeid:

põllu ja kultuurkarjamaade kuivendamisel

$$q_{\text{veg.max}} = 6{,}7\bar{q} \qquad (4\text{-}35)$$

ja kultuurheinamaade kuivendamisel

$$q_{\text{veg.max}} = 4{,}8q. \qquad (4\text{-}36)$$

Vegetatsiooniperioodi maksimaalset vooluhulka kasutatakse veejuhtmete dimensioonide kontrollimiseks, et vältida sügissuviseid üleujutusi, kusjuures tõenäosuseks võetakse tavaliselt 10%.

4. KEVADINE KÜLVIAEGNE ÄRAVOOL

Kevadise külviaegse äravoolumooduli arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$q_{\text{külv.}(P+20\%)} = q_{\text{kev. max } P\%}\left(\frac{t_c - z}{t_c}\right)^{3{,}7} + q_p, \qquad (4\text{-}37)$$

kus $q_{\text{külv. }(P+20\%)}$ — kevadine külviaegne äravoolumoodul tõenäosusega P+20 protsenti;

$q_{\text{kev.max } P\%}$ — arvutatakse valemi 4-32 või 4-32a järgi;

t_c — kevadise suurvee kestus päevades;

$$t_c = \frac{132}{\sqrt[3]{\frac{q_{\text{kev.max } P\%}}{\bar{q}}\,P^{0{,}21}}}, \qquad (4\text{-}38)$$

kus P — kevadise maksimaalse äravoolumooduli tõenäosus %-des;

z — päevade arv kevadise suurvee tipust kuni külviajani;

$$z = \frac{0{,}16\,q_{\text{kev.max } P\%}}{\bar{q}} + 12{,}5; \qquad (4\text{-}39)$$

$\bar{q}$ — aasta äravoolunorm (l/sek.km²);

q_p — põhjavee äravool kevadise suurvee lõpul.

Mõõtmisandmete puudumisel võib q_p arvutamiseks kasutada aasta keskmist minimaalset äravoolu $q_{95\%}$, korrutades seda koefitsiendiga 2,5 (s. o. $q_p = 2{,}5q_{95\%}$).

Soostunud vesikondades, kus soode ja soostunud maade protsent on üle 75%, võib kasutada lihtsustatud valemit

$$q_{\text{külv.}} = \left(\frac{13{,}8}{P^{0{,}185}} - 5\right)\bar{q}, \qquad (4\text{-}40)$$

kus $q_{\text{külv.}}$ — kevadine külviaegne äravoolumoodul (l/sek.km²);
P — kevadise külviaegse äravoolumooduli tõenäosus %-des.

Kuivendatud aladel tuleb valemi 4-40 järgi arvutatud äravoolu vähendada 30% võrra.

Väikestes vesikondades, suurusega alla 5 km², võib tõenäosuse puhul 33% kasutada külviaegse äravoolu arvutamiseks lihtsat valemit:

$$q_{\text{külv.}} = 2{,}2\bar{q}. \qquad (4\text{-}41)$$

Kevadist külviaegset vooluhulka tõenäosusega 33% kasutatakse veejuhtmete dimensioneerimiseks põllumaadel.

5. VEGETATSIOONIPERIOODI (V...X KUU) KESKMINE ÄRAVOOL

Vegetatsiooniperioodi keskmine äravoolumoodul arvutatakse järgmise valemi järgi:

$$q_{\text{veg.2-50\%}} = \left(\frac{2{,}95}{P^{0{,}22}} - 0{,}5\right)\bar{q}, \qquad (4\text{-}42)$$

kus $q_{\text{veg.2-50\%}}$ — vegetatsiooniperioodi (V...X kuu) keskmine äravoolumoodul tõenäosusega $P = 2 \ldots 50\%$ (l/sek.km²).

6. SUVINE (VI...VII KUU) KESKMINE ÄRAVOOL

Äravoolumooduli arvutamiseks suvisel madalveeperioodil kasutatakse valemit

$$q_{\text{suv.2-90\%}} = \eta[1{,}32 - 1{,}58(k_{95\%} - 0{,}50)^2]\bar{q}, \qquad (4\text{-}43)$$

kus $q_{\text{suv.2-90\%}}$ — suvise kahe kuu (VI...VII) keskmine äravoolumoodul tõenäosusega $P = 2 \ldots 90\%$;

$$\eta = \frac{3{,}30 - 1{,}20\, k_{95\%}}{P^{0{,}25 - 0{,}25\, k_{95\%}}} - 1 \qquad (4\text{-}44)$$

ja

$$k_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{\bar{q}}.$$

Suvist keskmist vooluhulka tõenäosusega 50% kasutatakse voolu kiiruse alampiiri kindlakstegemiseks projekteeritavas veejuhtmes.

7. SÜGISENE (IX...X KUU) KESKMINE ÄRAVOOL

Sügisene keskmine äravoolumoodul arvutatakse valemiga

$$q_{\text{sügis.2-90\%}} = [k_{95\%}(1{,}82 \log P - 2{,}74) - 1{,}82 \log P + 3{,}74]\bar{q}, \qquad (4\text{-}45)$$

kus $q_{\text{sügis. 2-90\%}}$ — sügisene (IX...X kuu) keskmine äravoolumoodul tõenäosusega $P = 2 \ldots 90\%$ ja

$$k_{95\%} = \frac{q_{95\%}}{\bar{q}}.$$

Sügisest keskmist vooluhulka kasutatakse veejuhtmete dimensioneerimiseks. Põllu- ja kultuurkarjamaade kuivendamisel võetakse aluseks vooluhulk, mille tõenäosus on 7%, kultuurheinamaade puhul 13%.

Väikestes vesikondades, pindalaga alla 5 km², võib sügisest keskmist äravoolumoodulit arvutada tõenäosuse puhul 7% valemiga

$$q_{\text{süg.}} = 2{,}2\bar{q}, \tag{4-46}$$

ja tõenäosuse puhul 13% valemiga

$$q_{\text{süg.}} = 1{,}9\bar{q}. \tag{4-47}$$

§ 4-5. KUIVENDUSSÜSTEEMIDE ARVUTUSTE ALUSED

Äravoolu andmeil on kuivendatud maa-alal võimalik arvutada põhjavee seisu vastavalt valitud kuivenduse intensiivsusele. Küsimus seisab vaid selles, missuguse perioodi äravool tuleb võtta kuivendussüsteemide projekteerimisel arvutuste aluseks ja missuguse korduvusega võivad esineda aastad, millal ettenähtud äbinõud ei taga nõutavat veerežiimi.

Majanduslikust seisukohast lähtudes ei ole põhjendatud kuivendussüsteemide arvutused mingi taimekasvufaasi-aegse harva korduva maksimaalse äravoolu alusel. Valides aga arvutuse aluseks tihti korduva äravoolusuuruse, võib oodata suuri saagikadusid mitteküllaldase kuivenduse tagajärjel. Seepärast tuleb kuivendussüsteemide arvutusnormide valikul lähtuda seisukohast, et kuivendussüsteemide ekspluatatsiooni ja amortisatsiooni aastaste kulude summa pluss liigniiskusest tingitud keskmine aastane saagikadu pärast kuivendust oleks minimaalne, ehk, teisiti väljendades, vahe saakidest saadavate tulude ja kuivenduse kulude vahel oleks maksimaalne [1].

Arvutused näitavad, et Eesti NSV oludes tuleb kollektorid dimensioneerida põllumaade puhul äravoolumooduli järgi, mille suurus vastab 6,7-kordsele aasta äravoolunormile.

Põhivõrgu veejuhtmete ja veevastuvõtjate dimensioneerimise aluseks põllumaadel tuleb väikestes vesikondades (alla 5 km²) võtta 2,2-kordne aasta äravoolunorm, suurematés vesikondades (üle 5 km²) aga 33%-lise tõenäosusega külviaegne või 7%-lise tõenäosusega sügisene keskmine äravoolumoodul. Seejuures ei ole lubatav tekitada paisutust detailvõrgus.

Kontrollarvutus on soovitatav teha vegetatsiooniperioodi 10%-lise tõenäosusega maksimaalse äravoolu järgi, et oleks võimalik hinnata piirkonda, kus põhjavee alanemine suurvee ajal on takistatud.

Dreenide vahekauguse määramisel tuleb põllumaadel lähtuda põhjavee sügavusest 0,50 m ja äravoolumoodulist, mille väärtus vastab aasta äravoolunormi 2,2-kordsele suurusele.

Kollektorid tuleb dimensioneerida kultuurheinamaadel äravoolumooduli järgi, mille suurus vastab 4,8-kordsele aasta äravoolunormile.

Põhivõrgu veejuhtmete ja veevastuvõtjate dimensioneerimise aluseks tuleb siin väikestes vesikondades ($F<5$ km²) võtta 1,9-kordne aasta äravoolunorm, suurematés vesikondades ($F>5$ km²) aga 13%-lise tõenäosusega sügisene keskmine äravoolumoodul. See-

juures ei ole lubatav tekitada detailvõrgus paisutust. Veejuhtmete kontrollarvutus on soovitatav teha vegetatsiooniperioodi 10%-lise tõenäosusega maksimaalse äravoolumooduli järgi, tingimusel, et veepind jääks kraavi kallastest allapoole. Sellega välditakse suvised uputused, mille kestus on ligikaudu 3 päeva.

Dreenide vahekauguse määramisel tuleb kultuurheinamaadel lähtuda põhjavee sügavusest 0,45 m ja äravoolumoodulist, mille väärtus vastab aasta äravoolunormi 1,9-kordsele suurusele.

KIRJANDUST

1. Hommik, K. Kuivendussüsteemide arvutuse hüdroloogilistest alustest. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised, V k. Bioloogiline seeria, 1956, nr. 2.
2. Wellner, A. Abflussverhältnisse einiger Flussgebiete Estlands. IV Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Leningrad, 1933.
3. Hommik, K. Bestimmung der Mittelabflussmengen der Sommermonate. Warszawa, 1930.
4. Vellner, A., Hommik, K. Beitrag zur Erforschung des Abflusses von Flussgebieten Estlands. V Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Helsinki, 1936.
5. Алексеев Г. А. Метод установления зависимости между интенсивностью и повторяемости ливней. Труды НИУ ГУГМС, серия IV, вып. I. Москва, 1941.
6. Алексеев Г. А. Расчет дождевых осадков на основе применения кривых и поверхностей распределения вероятностей. Труды ГГИ, вып. 26 (80). Гидрометеоиздат, 1950.
7. Молоков М. В. Методы определения интенсивности дождей при расчете дождевых канализаций. ЛНИИ КХ, Сборник работ «Санитарная Техника», вып. 1 (4), изд. МКХ РСФСР, Л.-М. 1949.
8. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Гидрометиздат, Л. 1958.
9. Хоммик К. Т. Влияние осушения на режим стока в условиях ЭССР. АН ЭССР, Таллин, 1958.

VIIES PEATÜKK

HÜDRAULILISED ARVUTUSED

§ 5-1. ÜLDTEATMED

1. HÜDRAULIKA MÕISTE

Hüdraulika on rakenduslik teadus, mis käsitleb vedelike (eriti vee) tasakaalu ja mehaanilise liikumise seadusi ning nende seaduste rakendamise meetodeid mitmesuguste ülesannete lahendamisel. Tähtsamad alad, kus leiavad kasutamist hüdraulikaseadused, on hüdrotehnika, maaparandus, veevarustus, kanalisatsioon, hüdroenergeetika ja veetransport.

2. VEDELIKE TÄHTSAMAD FÜÜSIKALISED OMADUSED

Vedelike füüsikalistest omadustest omab hüdraulikas suuremat tähtsust mahukaal, kokkusurutavus ja sitkus (viskoossus). Mahukaaluks (γ) nimetatakse füüsilise keha (antud juhul vedeliku) mahuühiku kaalu, seega $\gamma=\frac{G}{W}$, kus G on vedeliku kaal ja W — vedeliku maht. Mahukaalu ühi-

Tabel 5-1

Vedelike mahukaal (t/m³)

Vedelik	Temperatuuri juures (C°)	Mahukaal γ
Alkohol	0	0,80
Bensiin	15	0,68 . . . 0,70
Vesi (puhas, mage)	4	1,00
Vesi (soolane, mere-)	15	1,02 . . . 1,03
Glütseriin	0	1,26
Petrooleum	15	0,79 . . . 0,82
Kreosootõli	15	1,07
Piim	15	1,032
Nafta (kerge)	15	0,85 . . . 0,88
„ (raske)	15	0,92 . . . 0,93
„ (keskmiselt)	15	0,88 . . . 0,90
Elavhõbe	0	13,59
Solaarõli	15	0,88 . . . 0,89
Määrdeõlid	15	0,89 . . . 0,92
Tärpentiniõli	15	0,86
Eeter	0	0,74

kuna kasutatakse tavaliselt t/m³, harvemini g/cm³ ja kg/m³. Vedelikud on võrdlemisi vähe kokkusurutavad, mispärast mahukaal vedelikule avaldatava rõhu mõjul muutub vähe; vee kokkusurutavus $\beta \approx \frac{1}{21\,000}$ (cm²/kg); seega vee elastsusmoodul $E_v = \frac{1}{\beta} \approx 21\,000$ kg/cm². Ka temperatuuri muutumine mõjutab vedeliku mahukaalu suhteliselt vähe (vt. tab. 5-2). Neil asjaoludel võetakse vedelike mahukaal enamikul juhtudel ülesannete lahendamisel konstantseks suuruseks (vt. tab. 5-1).

Tabel 5-2

Vee mahukaalu (γ) ja kinemaatilise sitkuskoefitsiendi (ν) sõltuvus temperatuurist

Temperatuur (C°)	γ (t/m³)	ν (cm²/sek)	Temperatuur (C°)	γ (t/m³)	ν (cm²/sek)
0	0,99987	0,0179	20	0,99823	0,0101
3	0,99999	0,0162	30	0,99567	0,0080
4	1,00000	0,0157	40	0,99224	0,0066
5	0,99999	0,0152	50	0,98807	0,0055
10	0,99973	0,0131	70	0,97784	0,0042
15	0,99913	0,0115	100	0,95837	0,0029

Vedelike sitkuseks (viskoossuseks) nimetatakse vedelike omadust avaldada vastupanu nihkejõududele. Sitkus avaldub vedeliku liikumisel ning on tunduval määral sõltuv vedeliku temperatuurist. Hüdraulikas iseloomustatakse sitkust kinemaatilise sitkuskoefitsiendiga (ν).

§ 5-2. HÜDROSTAATIKA

1. HÜDROSTAATILINE RÕHK

Vedeliku sees esineb sisepinge, mis on põhjustatud vedeliku enda raskusjõust ning vedelikule mõjuvatest välisjõududest. Sisepinget, mida põhjustab vedeliku raskusjõud, nimetatakse hüdrostaatiliseks rõhuks (p) ning see arvutatakse valemiga

$$p = \gamma h, \tag{5-1}$$

milles p — hüdrostaatiline rõhk vedeliku sees vaadeldavas punktis (t/m²);
γ — vedeliku mahukaal (t/m³) ja
h — punkti sügavus, s. o. kõrgusvahe veepinna ja vaadeldava punkti vahel (m).

Kui vedelikule mõjub ka välisjõud, mille intensiivsus vedeliku pinnal (nn. välisrõhk) on p_o, siis nimetatakse vedelikus valitsevat sisepinget absoluutseks hüdrostaatiliseks rõhuks (p_a) ning selle suurus määratakse valemiga

$$p_a = p_o + \gamma h, \tag{5-2}$$

milles p_a — absoluutne hüdrostaatiline rõhk (t/m²) vaadeldavas punktis ja
p_o — välisrõhk (õhurõhk, kolvirõhk jne; t/m²).

Manomeetriliseks rõhuks (p_m) nimet. rõhku, mida osutab (näitab) manomeeter

$$p_m = p_a - p_b = p_o + \gamma h - p_b, \tag{5-3}$$

kus p_b — baromeetriline rõhk (t/m²), s. o. õhurõhk, mida näitab baromeeter.

Kui välisrõhuks on õhurõhk, s. o. $p_o = p_b$, siis

$$p_m = \gamma h. \tag{5-4}$$

Vaakuummeetriliseks rõhuks ehk lühidalt vaakuumiks (p_v) nimetatakse rõhu puudujääki kuni normaalse õhurõhuni (p_b), s. o.

$$p_v = p_b - p \tag{5-5}$$

ning seda väljendatakse samades ühikutes nagu rõhkugi. Maksimaalne vaakuum on 1,0 atm = 1,033 kg/cm² = 10,33 t/m² ning sellele vastab veesamba kõrgus 10,33 m.

Rõhku (p_a, p_o, p_b, p_m, p_v) väljendatakse mitmes ühikus:

1) tehniline atmosfäär (at); 1 at = 1 kg/cm² = 10 t/m², millele vastab veesamba kõrgus 10,0 m;

2) füüsiline atmosfäär (atm); 1 atm = 1,033 kg/cm² = 10,33 t/m², millele vastab veesamba kõrgus 10,33 m ning elavhõbedasamba kõrgus 760 mm.

Hüdrostaatiline rõhk (p, p_a) on suunatud risti vaadeldava pinnaga.

Torude ja reservuaaride seina paksus määratakse lähtudes sellele mõjuvast hüdrostaatilisest rõhust järgmise valemiga:

$$\delta = \frac{pD}{2[\sigma]} + a, \tag{5-6}$$

kus δ — seina paksus (cm);
p — hüdrostaatiline rõhk seinal (kg/cm²);
D — toru või reservuaari läbimõõt (cm);
$[\sigma]$ — lubatud tõmbepinge seina materjalis (kg/cm²) ja
a — tagavara seina paksuses korrosiooni ja materjali defektide arvel (cm); metalli puhul võetakse $a \approx 3 \ldots 7$ mm.

Needitud reservuaaride puhul suurendatakse valemiga leitud suurust 25% võrra.

2. HÜDROSTAATILINE SURVEJÕUD

Kogu seda jõudu, mida paigalolev vedelik avaldab temaga kokkupuutuvale seinale (kujundile), nimetatakse hüdrostaatiliseks survejõuks P.

Hüdrostaatiline survejõud tasapinnalisele kujundile on:

$$P = \gamma h_c F, \tag{5-7}$$

kus P — hüdrostaatiline survejõud kujundile (t);
γ — vedeliku mahukaal (t/m³);
F — kujundi pindala (m²) ja
h_c — kujundi raskuskeskme sügavus (m), s. o. kõrgusvahe veepinna ja kujundi raskuskeskme vahel.

Hüdrostaatiline survejõud on suunatud risti vaadeldava kujundi pinnaga ning selle rakenduspunkt ehk nn. survekese määratakse valemiga

$$h_s = h_c + \frac{J_x \sin^2\alpha}{F h_c}, \tag{5-8}$$

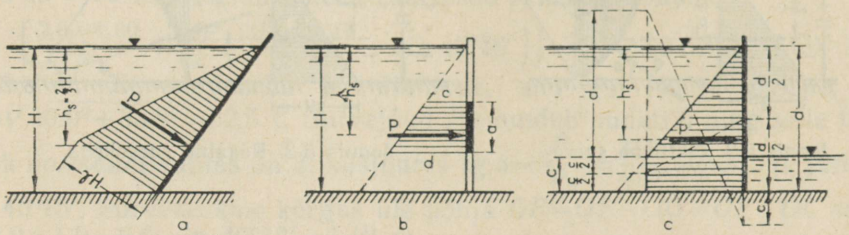
milles h_s — survekeskme sügavus (m);
J_x — kujundi inertsmoment horisontaaltelje x—x suhtes, mis läbib kujundi raskuskeset (m⁴), ja
α — kujundi kaldenurk horisondi suhtes.

Hüdrostaatiline survejõud P **rööpkülikutele** on määratav ka valemiga

$$P=bS, \tag{5-9}$$

milles b — rööpküliku alus (horisontaalne mõõde, m) ja
S — rööpkülikule kujutatud hüdrostaatilise rõhu epüüri pindala, milles γh tuleb väljendada t/m²-tes (vt. joon. 5-1).

Survejõud P läbib hüdrostaatilise rõhu epüüri raskuskeset ja tema rakenduspunkt on seega kergesti määratav: kolmnurkse epüüri puhul asub see $^2/_3H$ sügavusel (vt. joon. 5-1, *a*) ning trapetsikujulise epüüri puhul (vt.



Joonis 5-1. Hüdrostaatilise rõhu epüürid:
a — kolmnurkne; *b* — trapetsikujuline; *c* — trapetsikujuline (epüüri raskuskeskme leidmine graafilisel teel).

joon. 5-1, *b*) $\frac{(c+2d)a}{3(c+d)}$ sügavusel (arvestades trapetsi ülemisest alusest),

kus H — kolmnurga vertikaalprojektsiooni kõrgus;
a — trapetsi kõrgus;
c — trapetsi ülemine alus ja
d — trapetsi alumine alus.

Trapetsi raskuskeset on eriti lihtne leida graafilisel teel (vt. joon. 5-1, *c*).

Hüdrostaatiline survejõud silindrilisele pinnale, mille moodustaja on horisontaalne, arvutatakse valemiga

$$P=\sqrt{P_h^2+P_v^2}, \tag{5-10}$$

milles P_h — selle survejõu horisontaalkomponent (t) ja
P_v — „ „ vertikaalkomponent (t).

P_h on võrdne hüdrostaatilise survejõuga silindrilise pinna vertikaalprojektsioonile, mis on kujutatud silindrilise pinna moodustajaga paralleelselt, ning see jõud on suunatud vedeliku poolt risti vertikaalprojektsiooni poole:

$$P_h=\gamma h_c F_v, \tag{5-11}$$

milles h_c — silindrilise pinna vertikaalprojektsiooni raskuskeskme sügavus (m) ja
F_v — sama vertikaalprojektsiooni pindala (m²).

Survejõu vertikaalkomponent (P_v) on võrdne nn. survekeha raskusega, s. o.

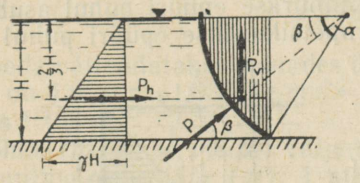
$$P_v=\gamma W, \tag{5-12}$$

milles W — survekeha ruumala (m³).

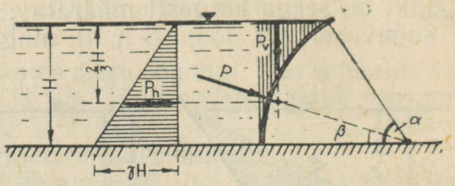
Survekeha on ettekujutatav keha, mis on piiratud silindrilise pinnaga (üldjuhul kõverpinnaga), vedelikupinnaga või selle pikendusega ning vedelikuga kokkupuutuva silindrilise pinna perimeetrilt püstitatud verti-

kaalpindadega (joonistel 5-2 ja 5-3 on survekeha ristlõige viirutatud vertikaalkriipsudega).

Survejõu vertikaalkomponent P_v läbib survekeha raskuskeset ning on reaalse survekeha puhul (survekeha kujuneb vedeliku sisse, vt. joon. 5-3) suunatud ülalt alla, fiktiivse puhul (survekeha kujuneb väljapoole vedelikku, vt. joon. 5-2) alt üles.



Joonis 5-2. Fiktiivne survekeha.

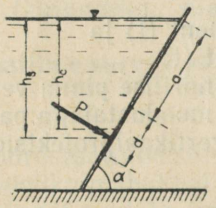


Joonis 5-3. Reaalne survekeha.

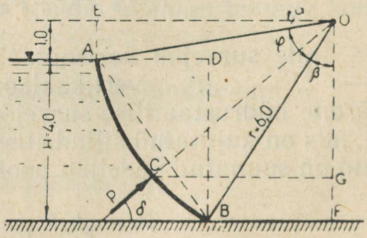
Resultantsurvejõu P suund on määratav kas komponentjõudude P_h ja P_v hulknurgast või valemiga $\operatorname{tg}\beta = \frac{P_v}{P_h}$, kusjuures ta läbib komponentide P_h ja P_v mõjusirgete lõikumispunkti ning suundub silindri teljele.

Näide 1. Määrata vee survejõud ümmargusele klapile, mille läbimõõt $d = 1{,}00$ m (joon. 5-4), ning survekese, kui $a = 2{,}00$ m ja $\alpha = 60°$.

Lahendus. Survejõud valemi 5-7 järgi $P = \gamma h_c F$, kus $\gamma = 1{,}0$ t/m³, $h_c = \left(a + \frac{d}{2}\right)\sin\alpha = \left(2{,}00 + \frac{1{,}00}{2}\right)\sin 60° = 2{,}16$ m, $F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}00^2}{4} = 0{,}79$ m²; seega $P = 1{,}0 \cdot 2{,}16 \cdot 0{,}79 = 1{,}70$ t. Survekeskme sügavus (valem 5-8) $h_s = h_c + \frac{J_x \sin^2\alpha}{F h_c}$, kus $J_x = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}00^4}{64} = 0{,}049$ m⁴; seega $h_s = 2{,}16 + \frac{0{,}049 \cdot \sin^2 60°}{0{,}79 \cdot 2{,}16} \approx 2{,}18$ m.



Joonis 5-4. Ümmargune klapp.



Joonis 5-5. Segmentvari.

Näide 2. Segmentvarja pikkus $l = 5{,}0$ m, raadius $r = 6{,}0$ m; vee sügavus varja ees $H = 4{,}0$ m, varja taga vett ei ole; varja pöördetelg asub 1,0 m võrra veepinnast kõrgemal. Leida vee survejõud varjale ja survekese (vt. joon. 5-5).

Lahendus. Survejõu horisontaalkomponent valemi 5-11 järgi on $P_h = \gamma h_c F_v$, kus $\gamma = 1{,}0$ t/m³; $h_c = \frac{H}{2} = \frac{4{,}0}{2} = 2{,}0$ m; $F_v = Hl = 4{,}0 \cdot 5{,}0 = 20{,}0$ m², seega $P_h = 1{,}0 \cdot 2{,}0 \cdot 20{,}0 = 40{,}0$ t. Survejõu vertikaalkomponent valemi 5-12

järgi $P_v = \gamma W$, kus $\gamma = 1{,}0$ t/m³ ja W — survekeha ruumala. Survekeha pikkus on võrdne segmentvarja pikkusega, s. o. $l = 5{,}0$ m, ristlõige on kolmnurk ADB + segment ACB, seega $W = (S_{ADB} + S_{ACB}) \cdot l = \left[\frac{AD \cdot DB}{2} + \frac{r^2}{2}\left(\frac{\pi\varphi^\circ}{180} - \sin\varphi\right)\right] 1 \cdot AD = OE - BF = \sqrt{AO^2 - AE^2} - \sqrt{OB^2 - OF^2} = \sqrt{6{,}0^2 - 1{,}0^2} - \sqrt{6{,}0^2 - (4{,}0 + 1{,}0)^2} = 2{,}60$ m; $\sin\alpha = \frac{AE}{AO} = \frac{1{,}0}{6{,}0} = 0{,}167$, seega $\alpha = 9°36'$; $\cos\beta = \frac{OF}{BO} = \frac{4{,}0 + 1{,}0}{6{,}0} = 0{,}833$, seega $\beta = 33°36'$; $\varphi = 90° - \alpha - \beta = 90° - 9°36' - 33°36' = 46°48'$. Asetades need väärtused valemisse, saame:

$W = \left[\frac{2{,}60 \cdot 4{,}00}{2} + \frac{6{,}0^2}{2}\left(\frac{3{,}14 \cdot 46°48'}{180°} - \sin 46°48'\right)\right] \cdot 5{,}0 = 33{,}9$ m³; $P_v = 1{,}0 \cdot 33{,}9 = 33{,}9$ t. Et survekeha on fiktiivne, siis P_v suund on alt üles. $P = \sqrt{40{,}0^2 + 33{,}9^2} = 52{,}5$ t. Survejõud P suundub punkti 0 ning selle tõusunurk horisondi suhtes on δ, kusjuures $\operatorname{tg}\delta = \frac{P_v}{P_h} = \frac{33{,}9}{40{,}0} = 0{,}847$ ja järelikult $\delta = 40°15'$. Survekeskme kõrgus üle põhja $GF = OF - OG = OF - OC \sin\delta = 4{,}0 + 1{,}0 - 6{,}0 \sin 40°15' = 1{,}12$ m.

3. KEHADE UJUMINE VEDELIKUS

Archimedese seadus: vedelikku paigutatud kehale avaldab vedelik vertikaalset üleslükkejõudu (R), mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku (nn. survekeha) raskusega:

$$R = \gamma W, \tag{5-13}$$

milles W — survekeha ruumala (m³).
See jõud on sisuliselt sama mis eespool mainitud P_v (vt. valem 5-12).

Archimedese seadusega on seletatav ka pinnase mahukaalu vähenemine allpool põhjaveepinda. Pinnase mahukaal määratakse sel juhul valemiga

$$\gamma_p' = \gamma_k - \left(1 - \frac{n}{100}\right)\gamma, \tag{5-14}$$

milles γ_p' — pinnase skeletimahukaal allpool põhjaveepinda (t/m³);
γ_k — absoluutkuiva pinnase mahukaal (t/m³);
γ — vee mahukaal (t/m³) ja
n — pinnase poorsus (protsentides).

Et $n = \left(1 - \frac{\gamma_k}{\gamma_o}\right) 100$ ja enamiku pinnaste erikaal $\gamma_o \approx 2{,}66 \ldots 2{,}72$, keskmiselt 2,69 t/m³, ning $\gamma = 1{,}0$ t/m³, siis

$$\gamma_p' \approx 0{,}628\,\gamma_k. \tag{5-15}$$

4. SÜVISE MÄÄRAMINE

Süviseks (s) nimetatakse ujuva keha kõige madalama punkti sukeldumise sügavust.

Kui ujuva keha (pontoon, praam jne.) laius on b, pikkus l ja kaal G, siis on süvis määratav valemiga

$$s = \frac{G}{\gamma l b}, \tag{5-16}$$

milles γ — vedeliku mahukaal.

Ujuv keha on püsivas tasakaalus, s. t. ei pöördu küljeli ega ümber siis, kui metatsentriline kõrgus (h_m) on positiivne suurus; tavaliselt on piisav, kui $h_m \geqslant 0{,}5$ m.

Metatsentriline kõrgus (h_m) arvutatakse valemiga

$$h_m = \frac{J_o}{W} - d, \tag{5-17}$$

kus J_o — keha ujupinna minimaalne inertsmoment tsentraaltelje suhtes (ujupinnaks nimetatakse pinda, mille ujuv keha lõikab välja vedelikupinnast);

W — survekeha ruumala (see osa ujuvast kehast, mis asub allpool vedelikupinda) ja

d — ujuva keha raskuskeskme kõrgus üle survekeskme (survekeha raskuskeskme).

§ 5-3. PÕHITEATMEID HÜDRODÜNAAMIKAST

1. VOOLAMISE LIIGITUS

Sõltuvalt vedelikule mõjuvatest liikumapanevatest jõududest jaguneb voolamine surveta ehk vabaks voolamiseks ja surveliseks voolamiseks. Esimesel juhul on liikumapanevaks jõuks ainult vedeliku enda raskusjõud, kuna teisel juhul esineb peale raskusjõu veel vedelikusamba või pumbakolvi survejõud. Esimene liik voolamist esineb kõigis lahtistes veejuhtmetes, kinnistes aga sel juhul, kui need töötavad osalise täitega. Vaba voolamise tunnuseks on vedeliku vaba pinna olemasolu. Surveline voolamine esineb ainult kinnistes veejuhtmetes (pumbatorustikus, veetornist või reservuaarist väljuvas torustikus, vihmutustorustikus jne.). Survelisel voolamisel puudub vedelikul vaba pind, vedelik täidab toru täielikult.

Vedeliku voolamist liigitatakse hüdraulikas ka sõltuvalt vedeliku liikumise iseloomust: püsivaks ja eba- ehk mittepüsivaks voolamiseks. Vedeliku liikumist iseloomustab vedelikuosakeste kiirus ja hüdrodünaamiline rõhk (rõhk, mida avaldab liikuv vedelik). Püsival voolamisel ei muutu vedelikuosakeste kiirus ega hüdrodünaamiline rõhk ükskõik millises vedeliku punktis aja jooksul (s. t. on püsiv). Ebapüsival voolamisel seevastu muutuvad kiirus ja hüdrodünaamiline rõhk aja jooksul. Püsiv voolamine esineb veejuhtmetes, kus veeseis aja jooksul ei muutu, samuti voolamisel anuma avadest, kui veeseis anumas jääb muutumatuks. Ebapüsiv voolamine seevastu esineb seal, kus veeseis aja jooksul muutub, näiteks anumate tühjendamisel, veejuhtmetes lume sulamise või vihmaperioodil jne.

Püsiv voolamine jaguneb omakorda ühtlaseks ja ebaühtlaseks voolamiseks. Ühtlaseks nimetatakse sellist voolamist, kus vedeliku liikumise kiirus piki vooluteed on ühtlane. Ebaühtlane on vastupidi selline voolamine, kus vedeliku liikumise kiirus piki vooluteed muutub. Ühtlane voolamine esineb korrapärase kujuga (prismaatilistes) voolusängides, kus voolu sügavus on konstantne, ja ühtlase läbimõõduga torustikus. Ebaühtlane voolamine esineb ebakorrapärase kujuga (mitteprismaatilistes) voolusängides, kuid samuti ka prismaatilistes voolusängides, kui voolu sügavus piki veejuhet muutub.

2. VOOLUSÄNGI PROFIILI (RISTLÕIKE) HÜDRAULILISED ELEMENDID, VOOLUHULK JA VOOLU KESKMINE KIIRUS

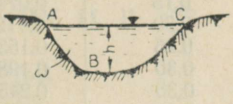
Voolu sügavus h — sügavus voolava vedeliku pinnast kuni voolusängi profiili madalaima punktini (m).

Elavlõige ω — voolu ristlõige (m^2).

Veealune perimeeter (märg perimeeter) χ — voolusängi profiili perimeetri osa, mis asub allpool veepinda (m; joonisel 5-6: A-B-C).

Hüdrauliline raadius R — elavlõike ja veealuse perimeetri suhe (m):

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \qquad (5\text{-}18)$$



Joonis 5-6. Voolusängi ristlõige.

Vooluhulk Q — elavlõikest 1 sekundi jooksul läbivoolav vedelikuhulk (m^3/sek):

$$Q = \omega V. \qquad (5\text{-}19)$$

Voolu keskmine kiirus (m/sek):

$$V = \frac{Q}{\omega} \qquad (5\text{-}20)$$

(edaspidi nimetatakse seda lihtsalt voolu kiiruseks).

Kui veejuhtme lõigu ulatusel Q=const, siis kehtib voolu pidevuse võrrand

$$\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2 = \ldots = \omega V = Q. \qquad (5\text{-}21)$$

A. Ümmarguse profiiliga voolusäng (toruveejuhe)
(vt. joon. 5-17)

Osalise täite puhul:

$$\omega = \frac{1}{8}(\varphi - \sin\varphi)\, d^2; \qquad (5\text{-}22)$$

$$\chi = \frac{1}{2}\varphi d; \qquad (5\text{-}23)$$

$$R = {}^1/_4 \left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right) d. \qquad (5\text{-}24)$$

Täistäite puhul:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}785\, d^2; \qquad (5\text{-}25)$$

$$\chi = \pi d; \qquad (5\text{-}26)$$

$$R = \frac{d}{4}. \qquad (5\text{-}27)$$

Elavlõiget ja hüdraulilist raadiust on voolusängi osalise täite puhul lihtne määrata tabelist 5-3.

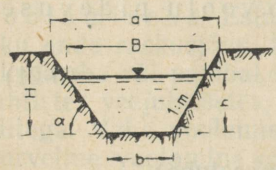
Tabel 5-3

Elavlõige (ω) ja hüdrauliline raadius (R) osalise täitega töötavas ümmarguses toruveejuhtmes

Voolu suhteline sügavus $\eta=\frac{h}{d}$	Elavlõige ω	Hüdrauliline raadius R	Voolu suhteline sügavus $\eta=\frac{h}{d}$	Elavlõige ω	Hüdrauliline raadius R
0,05	$0{,}015d^2$	$0{,}033d$	0,55	$0{,}443d^2$	$0{,}265d$
0,10	$0{,}041d^2$	$0{,}063d$	0,60	$0{,}492d^2$	$0{,}278d$
0,15	$0{,}074d^2$	$0{,}093d$	0,65	$0{,}540d^2$	$0{,}288d$
0,20	$0{,}112d^2$	$0{,}121d$	0,70	$0{,}587d^2$	$0{,}296d$
0,25	$0{,}153d^2$	$0{,}147d$	0,75	$0{,}632d^2$	$0{,}302d$
0,30	$0{,}198d^2$	$0{,}171d$	0,80	$0{,}674d^2$	$0{,}304d$
0,35	$0{,}245d^2$	$0{,}193d$	0,85	$0{,}712d^2$	$0{,}303d$
0,40	$0{,}293d^2$	$0{,}214d$	0,90	$0{,}745d^2$	$0{,}298d$
0,45	$0{,}343d^2$	$0{,}233d$	0,95	$0{,}771d^2$	$0{,}286d$
0,50	$0{,}393d^2$	$0{,}250d$	1,00	$0{,}785d^2$	$0{,}250d$

B. Trapetsikujulise profiiliga voolusäng (kraav, kanal)

Nõlva järskust ehk nn. n õ l v u s t väljendatakse suhtena $1:m$, milles esimene liige on nõlva vertikaalprojektsioon (resp. voolusängi sügavus H), mis on võetud pikkusühikuks, ning teine (m) on nõlva horisontaalprojektsioon; seega näitab nõlvuskoefitsient m, kui mitu korda nõlva horisontaalprojektsioon (nõlva alus) on suurem nõlva vertikaalprojektsioonist (voolusängi sügavusest).



Joonis 5-7. Trapetsikujulise profiiliga voolusäng.

$$\omega=(b+mh)h \tag{5-28}$$

$$\chi=b+2h\sqrt{1+m^2} \tag{5-29}$$

$$B=b+2mh. \tag{5-30}$$

Neis $m=\operatorname{ctg}\alpha$ — nõlvuskoefitsient.

Tähistades avaldise $2\sqrt{1+m^2}$ m'-ga (vt. tab. 5-14), saame:

$$\chi=b+m'h. \tag{5-31}$$

Tähistades põhja laiuse (b) ja voolu sügavuse (h) suhte tähega β, s. o. $\frac{b}{h}=\beta$, saame:

$$\omega=(\beta+m)h^2 \tag{5-32}$$

$$\chi=(\beta+m')h \tag{5-33}$$

$$R=\frac{(\beta+m)h}{\beta+m'} \tag{5-34}$$

$$B=(\beta+2m)h. \tag{5-35}$$

Ristküliku kui trapetsi erijuhu puhul on $m=0$ ja seega $\omega=bh$; $\chi=b+2h$; $B=b$.

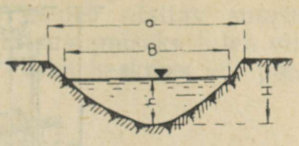
C. Paraboolse profiiliga voolusäng (kanal)

$$\omega=\frac{2}{3}Bh; \tag{5-36}$$

$$\chi = B\left[1 + \frac{8}{3}\left(\frac{h}{B}\right)^2 - \frac{32}{5}\left(\frac{h}{B}\right)^4\right], \qquad (5\text{-}37)$$

milles h — voolu sügavus (m) ja
B — voolu laius (m).

Voolusängi profiili hüdrauliliste elementide hõlpsamaks määramiseks on koostatud järgmised tabelid ja nomogrammid.



Joonis 5-8. Paraboolse profiiliga voolusäng.

Elavlõike ω jaoks:

1) trapetsikujulise profiiliga voolusängi puhul — mullatööde tabelid (MK II, lk. 9 ... 163) ja nomogrammid III ja IV (MK III);
2) paraboolse profiiliga voolusängi puhul — tabel (MK II, lk 173 ... 176);
3) ümmarguse profiiliga voolusängi puhul — tabel 5-3.

Veealuse perimeetri χ jaoks:

1) trapetsikujulise profiiliga voolusängi puhul — nomogramm V-A (MK III);
2) paraboolse profiiliga voolusängi puhul — tabel (MK II, lk. 173 ... 176);
3) ümmarguse profiiliga voolusängi puhul — tabel 5-3, arvutades $\chi = \frac{\omega}{R}$.

Hüdraulilise raadiuse R jaoks:

1) trapetsikujulise profiiliga voolusängi puhul — nomogramm V-B (MK III);
2) paraboolse profiiliga voolusängi puhul — tabel (MK II, lk. 173 ... 176), arvutades $R = \frac{\omega}{\chi}$;
3) ümmarguse profiiliga voolusängi puhul — tabel 5-3.

3. BERNOULLI VÕRRAND

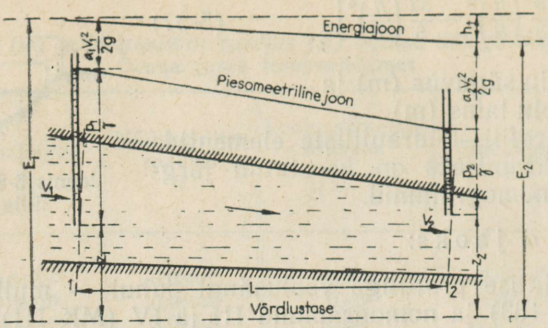
D. Bernoulli võrrand kehtib püsiva voolamise tingimustes ning ta seob omavahel kolm tegurit (suurust): asendikõrguse, voolu kiiruse ja hüdrodünaamilise rõhu. Võrrand kirjutatakse kahe ristlõikega piiratud voolulõigu kohta, milles indeksitega 1 ja 2 tähistatud tegurid kuuluvad vastavalt esimesse (ülemisse) ning teise (alumisse) ristlõikesse (vt. joon. 5-9). Ristlõiked võib valida kohtades, kus vedelikule ei mõju inerts- ega tsentrifugaaljõud (ei esine kohalikke survekadusid) või kus nende mõju on suhteliselt väike.

Võrrand kirjutatakse tavaliselt järgmisel kujul:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_t, \qquad (5\text{-}38)$$

milles Z_1 ja Z_2 — voolu esimeses (1) ja teises (2) ristlõikes suvaliselt valitud punkti asendikõrgus (m) vabalt valitud võrdlustaseme suhtes;

$\frac{p_1}{\gamma}$ ja $\frac{p_2}{\gamma}$ — piesomeetriline kõrgus (m) samades punktides (vedelikusamba kõrgus piesomeetris);



Joonis 5-9. Skeem Bernoulli võrrandi juurde.

$\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$ ja $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$ — kiiruskõrgus esimeses ja teises ristlõikes (m);

h_t — survekadu (takistuste võitmiseks kahe ristlõike vahel ärakuluv voolu mehaaniline energia vedeliku kaaluühiku kohta (m));

p_1 ja p_2 — hüdrodünaamiline rõhk eespool mainitud punktides (t/m²);

γ — vedeliku mahukaal (t/m³);

g — raskuskiirendus (=9,81 m/sek²);

V_1 ja V_2 — voolu kiirus esimeses ja teises ristlõikes (m/sek) ja

α_1 ja α_2 — nn. Coriolise koefitsient. (Koefitsiendi α väärtus sõltub vedelikuosakeste kiiruste jaotusest elavlõikes. Tavaliselt võetakse turbulentsel voolamisel $\alpha=1{,}0\ldots 1{,}1$. Toruveejuhtmete ja väiksemate lahtiste voolusängide puhul ühtlasel voolamisel võetakse $\alpha=1{,}0$, suurte voolusängide puhul ja ebaühtlasel voolamisel $\alpha\approx 1{,}1$. Voolamisel avadest $\alpha=1{,}0$.)

Bernoulli võrrandis esinevad liikmed Z, $\frac{p}{\gamma}$ ja $\frac{\alpha V^2}{2g}$ väljendavad ühtlasi ka nn. erienergiat, s. o. energiat vedeliku ühe kaaluühiku (1 kg, 1 t) kohta; neist kaks esimest $\left(Z \text{ ja } \frac{p}{\gamma}\right)$ väljendavad potentsiaalset ning viimane kineetilist erienergiat. Akad. N. Pavlovski ettepanekul nimetatakse nende kolme liikme summat voolu erienergiaks ja tähistatakse lühidalt tähega E. Seega

$$E=Z+\frac{p}{\gamma}+\frac{\alpha V^2}{2g}. \qquad (5\text{-}39)$$

Asetades ristlõigetesse 1 ja 2 piesomeetrid ning ühendades piesomeetrite vedelikusamba tipud omavahel, saadakse piesomeetriline joon. Sellest joonest kiiruskõrguse $\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)$ võrra kõrgemal kulgeb energiajoon (vt. joon. 5-9). Lahtistes veejuhtmetes langeb piesomeetriline joon ühte veepinnaga.

Bernoulli võrrandit nimetatakse ka hüdrodünaamika põhivõrrandiks ning sellest tuletatakse sobivaid spetsiaalseid valemeid mitmete voolamisjuhtude kohta (voolamine avadest, ülevool jne.). Sellega on võimalik paljudel juhtudel küllalt lihtsalt lahendada ka puhtpraktilisi ülesandeid, kusjuures otsitavaks suuruseks on tavaliselt voolu kiirus V või mõnel juhul ka rõhk p. Selleks valitakse veejuhtmes kaks ristlõiget (1 ja

2), kusjuures üks neist peab asetsema seal, kus esineb otsitav suurus (V või p), ning valitakse võrdlustase. Arvutuste lihtsustamiseks tuleb viimane valida kas veejuhtme alumise (2) ristlõike raskuskeskmes või põhjal.

4. VOOLU HÜDRAULILISED TAKISTUSED

Vedeliku liikumisel voolusängis esineb takistusi, mille ületamiseks kulub teatav hulk voolu energiat. Seda ärakuluvat energiat, mis kulub Bernoulli võrrandi koosseisu viimase liikmena (h_t), nimetatakse hüdraulikas *survekaoks*. Survekaod (energiakaod) liigitatakse kahte liiki, sõltuvalt põhjustest, millest nad on tingitud:

a) hõõrdumisest tingitud survekaod ehk nn. *jooksvad* (e. *pidevad*) *survekaod* (h_j);

b) muudest asjaoludest tingitud survekaod ehk nn. *kohalikud survekaod* ($h_{koh.}$).

Jooksvad survekaod esinevad kogu veejuhtme ulatuses, kuna kohalikud esinevad käänakul, kõverusel, järsul laienemisel ja kitsenemisel, kraanis jne. ehk lühidalt kohtades, kus tekib kas inerts- või tsentrifugaaljõud. Seega üldine survekadu

$$h_t = h_j + h_{koh.}. \tag{5-40}$$

Survekao suurus sõltub voolamise režiimist, mida on kaks: *laminaarne* (voolamine jugadena) ning *turbulentne* voolamine (korratu voolamine).

Voolamise režiimi iseloomustavaks kriteeriumiks on *Reynoldsi arv*

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \tag{5-41}$$

milles V — voolu kiirus (m/sek);
d — toru läbimõõt (m) ja
ν — vedeliku kinemaatiline sitkuskoefitsient (m²/sek).

Läbimõõdu d asemel võib valemis 5-41 kasutada $4R$, milles R — hüdrauliline raadius (m).

Kui $Re < 2320$, on tegemist laminaarse voolamisega ning kui $Re > 2320$, on voolamine turbulentne. Laminaarne režiim, mida iseloomustab väike kiirus, esineb peamiselt sitkete vedelike (nafta, määrdeõlid jt.) voolamisel ning vee liikumisel pinnasepoorides ja peentes (kapillaar-) torudes. Enamikul juhtudel, näiteks jõgedes, kanalites, veevarustus- ja vihmutustorustikes ning teistes veejuhtmetes tavaliselt esinevate kiiruste puhul, on tegemist turbulentse voolamisega.

A. Jooksvad survekaod

Jooksvate survekadude arvutamise põhivalemiks on *Darcy valem*:

$$h_j = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \tag{5-42}$$

milles l — veejuhtme pikkus (m);
d — " diameeter (m); d võib asendada $4R$-ga; ja
λ — hõõrdekoefitsient, mis määratakse vastavate valemitega; muude tegurite tähendus on endine.

Laminaarse voolamise puhul

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \tag{5-43}$$

Turbulentse voolamise puhul on λ määramiseks olemas mitu valemit, sõltuvalt turbulentsuse astmest (Reynoldsi arvust ja voolusängi karedusest). Ligikaudsetel arvutustel võib torudes ($\varnothing \leqslant 500$ mm) võtta $\lambda \approx 0{,}015 \ldots 0{,}050$, keskmiselt 0,025 (jämedamates ja siledamates väiksem, peenemates ja karedamates suurem).

Metalltorude jaoks võib λ väärtust orienteerivalt määrata Darcy valemiga, mis uute torude puhul on:

$$\lambda = 0{,}020 + \frac{0{,}0005}{d}, \tag{5-44}$$

milles d — toru sisemine läbimõõt (m); ekspluatatsioonis olevate torude puhul tuleb valemiga 5-44 saadud väärtust suurendada 30 ... 80% võrra (vt. § 5-4, p. 7).

Kõrvuti valemiga 5-42 kasutatakse praktikas väga sageli ka teistsuguse struktuuriga valemeid, kus λ asemel figureerib C (Chézy koefitsient), kusjuures λ ja C vahekord on järgmine:

$$\lambda = \frac{8g}{C^2 a}; \qquad C = \sqrt{\frac{8g}{a\lambda}}. \tag{5-45}$$

Chézy koefitsiendi C määramine

1) Ganguillet—Kutteri järgi (1869):

$$C = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}. \tag{5-46}$$

2) Manningi järgi (1890): $C = \frac{R^{1/6}}{n}$. (5-47)

3) N. N. Pavlovski järgi (1925): $C = \frac{R^y}{n}$, (5-48)

milles $y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1) - 0{,}13$. (5-49)

Astendaja y määramist hõlbustab tabel 5-4.

Ligikaudu määratakse y järgmiselt.

Kui $R < 1{,}0$ meetrit, siis $y = 1{,}5\sqrt{n}$,
kui $R > 1{,}0$ meetrit, siis $y = 1{,}3\sqrt{n}$. (5-50)

4) I. I. Agroskini järgi (1948):

$$C = 17{,}72\left(\frac{0{,}05643}{n} + \log R\right). \tag{5-51}$$

Neis valemeis esinevate tegurite tähendus on järgmine:

R — hüdrauliline raadius (m);

n — voolusängi karedusarv, mis määratakse kas katseliselt vastaval veejuhtmel või võetakse orienteerivana sellekohastest tabelitest (tabel 5-5) ja

i — veejuhtme põhja kalle.

Toodud valemeist tuleb valemid 5-48 ja 5-51 lugeda universaalseteks, sest nad kehtivad n-i ja R-i küllaltki suures diapasoonis ($R = 0{,}1 \ldots 3{,}0$ m; $n = 0{,}011 \ldots 0{,}040$); valem 5-46 annab häid tulemusi eriti suurte R-i väär-

Tabel 5-4

Astendaja y N. N. Pavlovski valemi
$y=2{,}5\sqrt{n}-0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0{,}1)-0{,}13$ järgi

n \ R(m)	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
0.010	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
0.011	0,131	0,131	0,130	0,129	0,129	0,129	0,128	0,127	0,126	0,126	0,125	0,125
0.012	0,142	0,141	0,140	0,139	0,138	0,137	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	0,130
0,013	0,152	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,141	0,140	0,139	0,137	0,135	0,134
0,014	0,161	0,160	0,157	0,155	0,154	0,152	0,149	0,146	0,144	0,142	0,140	0,138
0,015	0,171	0,168	0,165	0,163	0,161	0,159	0,155	0,152	0,150	0,147	0,145	0,142
0,017	0,189	0,186	0,182	0,179	0,176	0,173	0,168	0,164	0,160	0,156	0,153	0,150
0,018	0,197	0,194	0,189	0,186	0,183	0,180	0,174	0,169	0,165	0,161	0,158	0,154
0,020	0,214	0,210	0,204	0,200	0,196	0,192	0,186	0,180	0,174	0,170	0,166	0,162
0,0225	0,233	0,228	0,221	0,216	0,211	0,208	0,199	0,192	0,185	0,180	0,175	0,170
0,025	0,251	0,246	0,238	0,232	0,227	0,221	0,212	0,204	0,197	0,190	0,183	0,178
0,0275	0,269	0,263	0,254	0,247	0,241	0,236	0,224	0,215	0,206	0,199	0,192	0,185
0.030	0,286	0,278	0,268	0,261	0,254	0,248	0,236	0,225	0,216	0,208	0,200	0,193
0,0325	0,302	0,294	0,283	0,275	0,268	0,261	0,247	0,236	0,226	0,217	0,204	0,197
0.035	0,317	0,310	0,297	0,288	0,280	0,273	0,258	0,246	0,235	0,225	0,208	0,201
0.0375	0,332	0,323	0,309	0,299	0,291	0,284	0,268	0,255	0,243	0,232	0,219	0,211
0,040	0,346	0,336	0,323	0,312	0,303	0,295	0,278	0,264	0,251	0,240	0,230	0,220

Tabel 5-5

Voolusängide karedusarv

Tabel on koostatud «Glavgidroenergostroi» tehniliste tingimuste (ТУ-24-108-48) ja «Glavvodhozi» poolt 1957. a. väljaantud kuivendussüsteemide projekteerimise tehniliste tingimuste ja normide alusel. Osaliselt on kasutatud ka akad. N. N. Pavlovski soovitusi («Gidravlitšeski spravotšnik», 1937) ning prof. A. A. Tšerkassovi andmeid.

Voolusängi iseloomustus	Karedusarv n		
	minimaalne	keskmine	maksimaalne
I. *Kunstlikud veejuhtmed (korrashoitavad)*			
1. Kaljusse raiutud kanalid			
a) puhtalt väljaraiutud kanalid ja laiad kanalid kivimi horisontaalse ladestumise puhul	0,020	—	0,025
b) voolusängi konarused maha raiutud	0,025	0,033	0,035
c) voolusängi konarused tasandamata	—	0,040	0,045
2. Kanalid murendpinnastes			
a) laitmatus seisukorras olevad paksu püsiva mudakihiga kaetud või tiheda peene kruusa puhul pideva mudakelmega kaetud kanalid	—	0,018	—
b) heas seisukorras hoitud, ilma settekihita, kuid mudakelmega kaetud kanalid tihedas kruusas ja mullas	—	0,020	—
c) kanalid tihedas savis; ebapüsiva mudakelmega kaetud kanalid kruusas ja mullas; hästi korrashoitud suured ja keskmised kanalid	—	0,0225	—
d) suured kanalid (arvutuslik vooluhulk üle 25 m³/sek) turbas, liivas, saviliivas ja sidusates ilma rähata ja kivideta pinnastes	—	0,025	—
e) suured kanalid (arvutuslik vooluhulk üle 25 m³/sek) kruusas, rähas ja räha ning kivide lisandiga muudes pinnastes	—	0,0275	—
f) keskmised kanalid (arvutuslik vooluhulk 3...25 m³/sek) turbas, liivas, saviliivas ja sidusates ilma rähata ja kivideta pinnastes	—	0,030	—
g) keskmised kanalid (arvutuslik vooluhulk 3...25 m³/sek) kruusas, rähas ja räha ning kivide lisandiga muudes pinnastes	—	0,0325	—
h) väikesed kanalid (arvutuslik vooluhulk alla 3,0 m³/sek) turbas, liivas, saviliivas ja sidusates ilma rähata ja kivideta pinnastes	—	0,035	—
i) väikesed kanalid (arvutuslik vooluhulk alla 3,0 m³/sek) kruusas, rähas ja räha ning kivide lisandiga muudes pinnastes	—	0,040	—
3. Puitrennid ja -torud			
a) piki voolu suunda asetatud hööveldatud lauad ja prussid	0,011	0,0125	0,014

Voolusängi iseloomustus	Karedusarv n		
	minimaalne	keskmine	maksimaalne
b) sama, kuid lauad ja prussid on höövel-damata	0,012	0,015	0,018
Märkus. Laudade asetamisel risti voolu suunaga suureneb karedus-arv sõltuvalt laudade kokkusobitamise headusest 0,001 ... 0,002 võrra.			
c) Ümarpuidust freestorud	0,013	0,015	0,016
4. Krohvimata ja lihvimata betoon- ja raud-betoonvooder			
a) betooni pind sile, põhjas puudub liiva- ja kruusasete, veejuhtme trassi kõve-rusraadiused keskmise suurusega	0,013	0,014	0,015
b) betooni pind kare, raketise jäljendi-tega; betooni sileda pinna puhul põh-jas liiva- ja kruusasete ning veejuht-me trassi kõverusraadiused väikesed	0,015	0,016	0,018
5. Krohvitud või lihvitud betoon- ja raud-betoonvooder			
a) puhas tsementkrohv ning laitmatult silutud pind	—	0,011	—
b) pind silutud ja tasandatud, põhjas puudub sete, veejuhtme trassil esineb vähesel määral suure kõverusraadiu-sega kõverikke	0,011	0,012	0,013
6. Kivivooder			
a) kivimüüritis mõrdil	0,017	0,0225	0,030
b) munakivisillutis	0,020	0,025	0,027
c) kruuspuiste (keskm. Ø 10 mm)	—	0,020	—
d) „ (keskm. Ø 50 mm)	—	0,025	—
e) telliskivimüüritis tsementmõrdil	0,012	0,015	0,017
f) kivipuiste	0,027	0,030	0,035
g) kivimüüritis kuivalt (mõrdita)	0,025	0,030	0,035
7. Mätastus (sõltuvalt rohu pikkusest)	—	0,030 ... 0,035	—
8. Lattkindlustis	—	0,020	—
9. Fašiinkindlustis	—	0,025	—
10. Põletatud savitorud (drenaažitorud)	0,011	0,012	0,013
11. Keraamilised torud	—	0,012	0,013
12. Klaastorud	—	0,011	—
13. Asbesttsementtorud (eterniittorud)	—	0,012	—
14. Teras- ja malmtorud	0,011	0,013	0,015
15. Betoon- ja raudbetoontorud	0,013	0,014	0,015
II. *Looduslikud veejuhtmed, ilma korrashoiuta kanalid*			
1. Puhas sirge voolusäng ilma nõlvade varisemiseta	0,025	0,030	0,033
2. Sama, kuid kividega	0,030	0,035	0,040
3. Puhas looklev voolusäng vähese arvu süvikutega ja koolmetega	0,033	0,040	0,045
4. Sama, kuid veidi rohtunud ja kividega	0,035	0,045	0,050
5. Jõed väga aeglase vooluga, tunduvalt rohtunud ja paljude süvikutega	0,050	0,065	0,080
6. Väga tugevalt rohtunud jõed ja luhad	0,075	0,100	0,150
III. *Vee liikumine õhukese kihina maapinnal*			
1. Haritud põld, vagudega piki nõlvakut	—	0,05	—
2. Tasaseks rullitud kamarata pind	—	0,08	—
3. Haritud põld, ilma vagudeta	—	0,125	—
4. Sammalkate	—	0,5	—
5. Looduslik rohumaa, värskelt niidetud	—	0,8 ... 0,9	—
6. Looduslik rohumaa, tavalises seisukorras	—	0,9 ... 1,0	—
7. Mätlik rohumaapind	—	1,0 ... 2,0	—

Tabel 5-6

Chézy koefitsient C Pavlovski järgi

$$C=\frac{R^y}{n},\quad \text{milles } y=2{,}5\sqrt{n}-0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0{,}1)-0{,}13$$

R (m) \ n	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017	0,018	0,020	0,0225	0,025	0,0275	0,030	0,035	0,040
0,05	61,3	54,8	48,7	44,2	40,1	33,2	30,5	26,1	21,2	18,6	16,2	13,9	10,9	8,7
06	62,8	56,2	50,1	45,5	41,3	34,4	31,6	27,2	22,6	19,5	17,0	14,7	11,5	9,3
07	64,1	57,4	51,3	46,7	42,4	35,5	32,7	28,2	23,5	20,4	17,7	15,5	12,2	9,9
08	65,2	58,5	52,4	47,7	43,3	36,4	33,5	29,0	24,3	21,1	18,4	16,1	12,8	10,3
09	66,2	59,4	53,4	48,5	44,2	37,2	34,3	29,8	25,1	21,8	19,0	16,7	13,3	10,8
0,10	67,2	60,3	54,3	49,3	45,1	38,1	35,1	30,6	26,0	22,4	19,6	17,3	13,8	11,2
12	68,8	61,9	55,8	50,8	46,5	39,5	36,4	31,8	27,2	23,5	20,6	18,3	14,7	12,1
14	70,3	63,3	57,2	52,2	47,8	40,7	37,6	33,0	28,2	24,5	21,6	19,1	15,4	12,8
16	71,5	64,5	58,4	53,3	48,9	41,8	38,7	34,0	29,2	25,4	22,4	19,9	16,1	13,4
18	72,6	65,6	59,5	54,4	49,9	42,7	39,5	34,8	30,0	26,2	23,2	20,6	16,8	14,0
0,20	73,7	66,6	60,4	55,3	50,9	43,6	40,4	35,7	30,8	26,9	23,8	21,3	17,4	14,5
22	74,6	67,5	61,3	56,2	51,7	44,4	41,0	36,4	31,5	27,6	24,5	21,9	17,9	15,0
24	75,5	68,3	62,1	57,0	52,5	45,2	41,9	37,1	32,2	28,3	25,1	22,5	18,5	15,5
26	76,3	69,1	62,9	57,7	53,2	45,9	42,7	37,8	32,8	28,8	25,7	23,0	18,9	16,0
28	77,0	69,8	63,6	58,4	53,9	46,5	43,3	38,4	33,4	29,4	26,2	23,5	19,4	16,4
0,30	77,7	70,5	64,3	59,1	54,6	47,2	44,0	39,0	33,9	29,9	26,7	24,0	19,9	16,8
32	78,3	71,1	65,0	59,7	55,2	47,8	44,6	39,5	34,4	30,3	27,1	24,4	20,3	17,2
34	79,0	71,8	65,7	60,3	55,6	48,3	45,1	40,0	34,9	30,8	27,6	24,9	20,7	17,6
36	79,6	72,4	66,1	60,9	56,3	48,8	45,5	40,5	35,4	31,3	28,0	25,3	21,1	17,9
38	80,1	72,9	66,7	61,4	56,8	49,3	46,0	41,0	35,9	31,7	28,4	25,6	21,4	18,3
0,40	80,7	73,4	67,1	61,9	57,3	49,8	46,6	41,5	36,3	32,2	28,8	26,0	21,8	18,6
42	81,3	73,9	67,7	62,4	57,8	50,2	47,1	41,9	36,7	32,6	29,2	26,4	22,1	18,9
44	81,8	74,4	68,2	62,9	58,3	50,7	47,5	42,3	37,1	32,9	29,6	26,7	22,4	19,2
46	82,3	74,8	68,6	63,3	58,8	51,1	47,9	42,7	37,5	33,3	29,9	27,1	22,8	19,5
48	82,7	75,3	69,1	63,7	59,2	51,5	48,3	43,1	37,8	33,6	30,2	27,4	23,1	19,8

Tabel 5-6 (järg)

R (m) \ n	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017	0,018	0,020	0,0225	0,025	0,0275	0,030	0,035	0,040
0,50	83,1	75,7	69,5	64,1	59,6	51,9	48,7	43,5	38,2	34,0	30,4	27,8	23,4	20,1
52	83,5	76,1	69,9	64,5	60,0	52,3	49,1	43,9	38,5	34,3	30,8	28,1	23,6	20,4
54	83,9	76,6	70,3	64,9	60,4	52,6	49,5	44,2	38,8	34,6	31,2	28,4	23,9	20,7
56	84,3	77,0	70,7	65,3	60,8	53,0	49,9	44,6	39,2	34,9	31,5	28,6	24,1	20,9
58	84,7	77,3	71,1	65,6	61,1	53,3	50,3	44,9	39,5	35,2	31,8	28,9	24,4	21,1
0,60	85,0	77,7	71,4	66,0	61,4	53,7	50,6	45,2	39,8	35,5	32,1	29,2	24,7	21,3
62	85,4	78,1	71,8	66,3	61,7	54,0	50,9	45,5	40,1	35,8	32,4	29,4	24,9	21,6
64	85,8	78,4	72,1	66,6	62,0	54,3	51,2	45,8	40,4	36,1	32,7	29,7	25,2	21,8
66	86,1	78,8	72,4	67,0	62,3	54,6	51,5	46,0	40,6	36,3	33,0	29,9	25,4	22,0
68	86,5	79,1	72,7	67,3	62,6	54,9	51,8	46,3	40,9	36,6	33,2	30,2	25,6	22,2
0,70	86,8	79,4	73,0	67,6	62,9	55,2	52,0	46,6	41,2	36,9	33,4	30,4	25,8	22,4
72	87,1	79,7	73,3	67,9	63,2	55,5	52,3	46,9	41,4	37,1	33,7	30,6	26,0	22,6
74	87,4	80,0	73,6	68,2	63,5	55,7	52,6	47,1	41,7	37,3	33,9	30,8	26,2	22,8
76	87,7	80,2	73,9	68,4	63,8	56,0	52,9	47,4	41,9	37,5	34,1	31,1	26,4	23,0
78	88,0	80,5	74,2	68,7	64,1	56,2	53,1	47,6	42,2	37,7	34,3	31,3	26,6	23,2
0,80	88,3	80,8	74,5	69,0	64,3	56,5	53,3	47,9	42,4	38,0	34,5	31,5	26,8	23,4
82	88,5	81,0	74,7	69,2	64,5	56,7	53,5	48,1	42,6	38,2	34,7	31,7	27,0	23,6
84	88,7	81,2	74,9	69,4	64,7	56,9	53,7	48,3	42,7	38,4	34,9	31,8	27,1	23,8
86	88,9	81,4	75,1	69,5	64,9	57,1	53,9	48,4	42,9	38,5	35,1	32,0	27,3	23,9
88	89,2	81,6	75,3	69,7	65,1	57,3	54,1	48,6	43,0	38,7	35,3	32,1	27,4	24,0
0,90	89,4	81,8	75,5	69,9	65,3	57,5	54,3	48,8	43,2	38,9	35,5	32,3	27,6	24,1
92	89,7	82,1	75,8	70,2	65,5	57,8	54,6	49,0	43,4	39,1	35,7	32,5	27,8	24,3
94	90,0	82,4	76,1	70,5	65,8	58,0	54,9	49,3	43,7	39,3	35,9	32,7	28,0	24,5
96	90,3	82,7	76,4	70,8	66,1	58,3	55,2	49,5	43,9	39,6	36,1	32,9	28,2	24,7
98	90,5	83,0	76,7	71,1	66,4	58,5	55,4	49,8	44,2	39,8	36,3	33,1	28,4	24,9
1,00	90,9	83,3	76,9	71,4	66,7	58,8	55,6	50,0	44,4	40,0	36,4	33,3	28,6	25,0
05	91,4	83,8	77,5	71,9	67,2	59,3	56,1	50,4	44,8	40,4	36,9	33,7	28,9	25,4
10	92,0	84,4	78,0	72,5	67,7	59,8	56,5	50,9	45,3	40,9	37,3	34,1	29,3	25,7
15	92,5	84,9	78,5	72,9	68,1	60,2	57,0	51,3	45,7	41,2	37,7	34,4	29,6	26,0
20	93,1	85,4	79,0	73,4	68,5	60,7	57,4	51,8	46,1	41,6	38,0	34,8	30,0	26,3

Tabel 5-6 (järg)

R (m) \ n	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017	0,018	0,020	0,0225	0,025	0,0275	0,030	0,035	0,040
1,25	93,5	85,9	79,5	73,8	69,0	61,1	57,8	52,1	46,5	41,9	38,4	35,1	30,3	26,6
30	94,0	86,3	79,9	74,3	69,4	61,5	58,1	52,5	46,9	42,3	38,7	35,5	30,6	26,9
35	94,4	86,7	80,3	74,7	69,8	61,8	58,5	52,8	47,2	42,6	39,0	35,8	30,8	27,2
40	94,8	87,1	80,7	75,1	70,1	62,2	58,8	53,2	47,5	43,0	39,3	36,1	31,1	27,5
45	95,3	87,6	81,1	75,5	70,5	62,5	59,2	53,5	47,9	43,3	39,6	36,4	31,4	27,8
1,50	95,7	88,0	81,5	75,9	70,9	62,9	59,5	53,9	48,2	43,6	39,8	36,7	31,7	28,0
55	96,1	88,3	81,9	76,2	71,2	63,2	59,9	54,2	48,4	43,8	40,1	36,9	31,9	28,3
60	96,5	88,7	82,2	76,5	71,5	63,6	60,2	54,5	48,7	44,1	40,4	37,2	32,2	28,5
65	96,9	89,1	82,6	76,9	71,9	63,9	60,5	54,8	49,0	44,4	40,7	37,4	32,4	28,7
70	97,3	89,5	82,9	77,2	72,2	64,3	60,8	55,1	49,3	44,7	41,0	37,7	32,7	28,9
1,75	97,6	89,8	83,2	77,5	72,5	64,5	61,1	55,3	49,5	44,9	41,2	37,9	32,9	29,1
80	98,0	90,1	83,5	77,8	72,8	64,8	61,3	55,6	49,8	45,1	41,4	38,1	33,0	29,3
85	98,3	90,4	83,9	78,1	73,1	65,1	61,6	55,8	50,0	45,3	41,6	38,3	33,2	29,5
90	98,6	90,8	84,2	78,4	73,4	65,4	61,8	56,1	50,3	45,6	41,8	38,5	33,4	29,7
95	99,0	91,1	84,5	78,7	73,7	65,6	62,1	56,3	50,5	45,8	42,1	38,7	33,6	29,9
2,00	99,3	91,4	84,8	79,0	73,9	65,9	62,3	56,6	50,8	46,0	42,3	38,9	33,8	30,0
10	99,8	91,9	85,4	79,5	74,4	66,3	62,8	57,0	51,2	46,4	42,7	39,2	34,1	30,4
20	100,4	92,4	85,9	80,0	75,0	66,8	63,2	57,4	51,6	46,8	43,0	39,6	34,4	30,7
30	101,0	93,0	86,4	80,5	75,3	67,2	63,6	57,9	51,9	47,1	43,4	39,9	34,8	31,0
40	101,5	93,5	86,9	81,0	75,8	67,7	64,0	58,3	52,3	47,5	43,7	40,3	35,1	31,2
2,50	102,1	94,0	87,5	81,5	76,2	68,1	64,4	58,7	52,7	47,9	44,0	40,6	35,4	31,5
60	102,5	94,5	88,1	81,9	76,6	68,4	64,7	59,0	53,0	48,2	44,2	40,9	35,6	31,7
70	103,0	94,9	88,4	82,3	76,9	68,8	65,1	59,3	53,3	48,5	44,5	41,1	35,9	32,0
80	103,5	95,3	88,7	82,6	77,3	69,1	65,4	59,7	53,6	48,7	44,8	41,4	36,1	32,2
90	104,0	95,8	89,1	83,0	77,6	69,5	65,8	60,0	53,9	49,0	45,1	41,6	36,4	32,4
3,00	104,4	96,2	89,4	83,4	78,0	69,8	66,0	60,3	54,2	49,3	45,3	41,9	36,6	32,5
10	104,8	96,6	89,8	83,7	78,3	70,1	66,3	60,5	54,4	49,5	45,5	42,1	36,8	32,7
20	105,2	96,9	90,1	84,1	78,6	70,4	66,6	60,8	54,6	49,7	45,7	42,3	36,9	32,9
30	105,6	97,3	90,4	84,4	78,9	70,7	66,9	61,0	54,9	49,9	45,9	42,4	37,1	33,0

tuste ning väikese kalde ($i<0{,}5‰$) puhul; valemit 5-47 kasutatakse aga peaasjalikult veevarustuse ja drenaažitorustike hüdraulilistes arvutustes.

Chézy koefitsiendi C hõlpsamaks määramiseks on toodud tabel 5-6 (Pavlovski järgi) ning III köites on antud valemite 5-46 ja 5-48 järgi konstrueeritud nomogrammid (VI ja VIII-B).

Kõik ülaltoodud valemid C määramiseks kehtivad täisturbulentsel voolamisel (ruuttakistuse piirkonnas).

B. Kohalikud survekaod

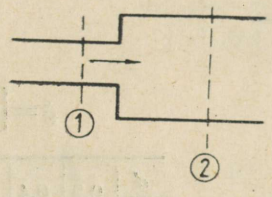
Kohalike survekadude arvutamise põhivalem on:

$$h_{koh.}=\xi\,\frac{V^2}{2g}, \qquad (5\text{-}52)$$

milles ξ — kohalike survekadude koefitsient, mis määratakse järgnevate valemite ja tabelite järgi;
V — voolu kiirus takistuse taga (ristlõikes 2).

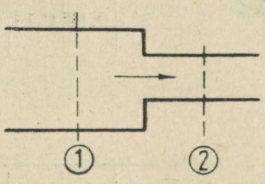
Kohalike survekadude koefitsient survetorudes

Järsk laiendus



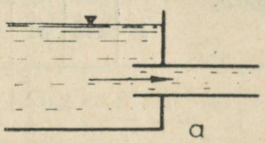
$$\xi=\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}-1\right)^2$$

Järsk kitsendus

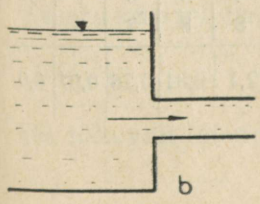


$$\xi=0{,}5\left(1-\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$$

Sissevool torusse



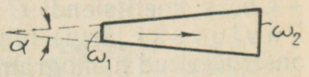
a) $\xi=0{,}5\ldots1{,}0$



b) sissevooluava servad ümardamata $\xi=0{,}50$
„ „ ümardatud $\xi=0{,}15\ldots0{,}25$
„ „ sujuvalt ümardatud $\xi=0{,}05\ldots0{,}10$

Väljavool torust: a) õhku $\xi=0$; b) vee alla suurde basseini $\xi=1{,}0$.

Siirdekoonus: a) laienev (difuusor) — kui $\alpha\leqslant 25°$, siis $\xi\approx\sin 2\alpha\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}-1\right)^2$;



kui $\alpha>25°$, siis arvutada nagu järsu laienduse puhul;

b) koonduv (konfuusor)

$\alpha°$	$\leqslant 5$	7	10	20	30	40	60	80
ξ	0,01 ... 0,06	0,10	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,35

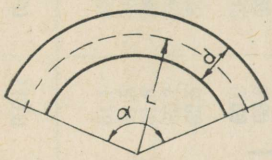
Käänak



$\alpha°$	30	40	50	60	70	80	90
ξ	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

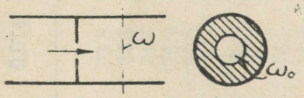
Kõverik

$$\xi=\left[0{,}131+0{,}163\left(\frac{d}{r}\right)^{3,5}\right]\frac{\alpha°}{90°}=\xi'\frac{\alpha°}{90°}$$



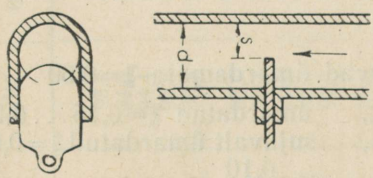
$\frac{d}{r}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
ξ'	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

Diafragma



$\frac{\omega_0}{\omega}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ξ	245	51	18,4	8,2	4,0	2,0	0,57	0,41	0,13	0,0

Siiber

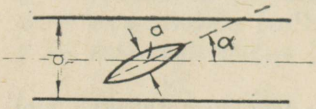


$\frac{s}{d}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$	1
ξ	98	17	5,5	2,1	0,81	0,26	0,07	0,0

Ludlo-tüüpi siiber, täielikult avatud: $\xi=0{,}11\ldots0{,}12$

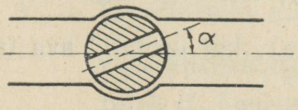
Ketasklapp

$\alpha°$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	90
ξ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22	10,8	18,7	32,6	58,8	118	256	751	∞



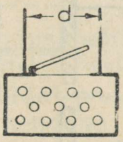
Ketasklapi täielikul avamisel $\xi \approx \frac{a}{d}$

Kraan



$\alpha°$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ξ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106

Imiklapp sõelaga



d (mm)	40	50	70	100	150	200	300
ξ	12	10	8,5	7	6	5,2	3,7

Kohalike survekadude koefitsient lahtistes veejuhtmetes

Käänak ristkülikukujulise profiiliga voolusängis (prof. A. J. Milovitši järgi):

$$\xi = 2{,}23 \frac{B}{r}(n + \sin \alpha_1),$$

kus B — voolu laius (m);
r — veejuhtme telje kõverusraadius (m) ja
n — täisnurkade arv käänaku nurgas α; $\alpha_1 = \alpha - n \cdot 90°$.

Voolusängi kitsendus: a) sujuv: $\xi = 0{,}05 \ldots 0{,}10$;
b) järsk:

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ξ	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0

Voolusängi laiendus:

a) sujuv: $\xi = k\left[\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 - 1\right]$,

kus sõltuvalt laienduse sujuvusest $k = 0{,}2 \ldots 0{,}5$;

b) järsk: $\xi = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$.

Kohalike survekadude täpne määramine on üsna tülikas ülesanne. Juhul kui nende osatähtsus jooksvate survekadude kõrval on väike, jäetakse nad arvestamata või neid hinnatakse teatava protsendina (näiteks 10 ... 20%) jooksvatest survekadudest.

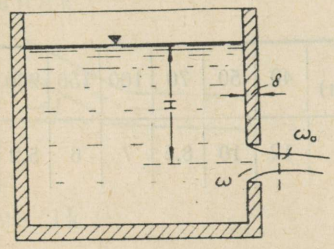
§ 5-4. VOOLAMINE AVADEST, JÄTKETEST JA LÜHIKESTES TORUSTIKES

1. ÜLDMÕISTED

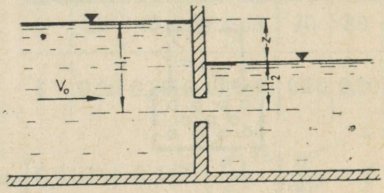
Survekõrguseks (*H*) voolamisel avadest nimetatakse ava raskuskeskme sügavust allpool veepinda (vt. joon. 5-10).

Ava on uputamata (voolamine õhku), kui ava taga on õhuruum.

Ava on uputatud (voolamine vee alla), kui veepind ava taga ulatub vähemalt ava ülemise servani.



Joonis 5-10. Voolamine õhku (uputamata ava).



Joonis 5-11. Voolamine vee alla (uputatud ava).

Väikeseks avaks nimetatakse sellist ava, mille vertikaalne mõõde (kõrgus) on vähemalt 5 ... 10 korda väiksem survekõrgusest *H*; vastupidisel juhul nimetatakse ava suureks.

Vedelikuosakeste trajektooride kõverdumise tõttu aheneb avast väljavoolav vedelikujuga. Vastavat joa ristlõiget nimetatakse ahenenud elavlõikeks ja märgitakse tähega ω_a; ava pindala olgu ω. Nende suhet nimetatakse ahenduskoefitsiendiks ning tähistatakse tähega ε. Seega

$$\varepsilon = \frac{\omega_a}{\omega}. \qquad (5\text{-}53)$$

Ahenduskoefitsiendi ε väärtus sõltub ava asukohast nn. juhtseinte suhtes. Juhtseinad on kõik need seinad (kaasa arvatud ka anuma põhi ja veepind), mis piirnevad anuma selle seinaga, milles asub ava. Mida lähemal asub ava juhtseintele, seda rohkem mõjutavad viimased voolamist avast, vähendades joa ahenemist ja suurendades seega ahenduskoefitsienti. Kui ava kaugus kõigist juhtseintest on võrdne vähemalt ava kolmekordse sellesuunalise mõõtmega, on ahendus maksimaalne ehk täielik. Täieliku ahenduse puhul $\varepsilon \approx 0{,}64$. Asub ava juhtseintele lähemal, on ahenduskoefitsient $\varepsilon > 0{,}64$.

2. UPUTAMATA AVAD

Vooluhulga valem voolamisel uputamata avast konstantse survekõrguse puhul on:

$$Q=\mu\omega\sqrt{2gH_0}\,, \tag{5-54}$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek);
ω — ava pindala (m^2);
g — raskuskiirendus ($=9{,}81$ m/sek^2);

$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}$, milles

H — survekõrgus (m);
V_0 — juurdevoolu kiirus (m/sek); juurdevoolu väikese kiiruse puhul võib kiiruskõrguse $\frac{V_0^2}{2g}$ jätta arvestamata ning valemisse 5-54 tuleb H_0-i asemele kirjutada H;
μ — vooluhulgakoefitsient voolamisel avast, kusjuures

$$\mu=\varepsilon\varphi, \tag{5-55}$$

kus ε — ahenduskoefitsient;
φ — kiiruskoefitsient;
katsete põhjal $\varphi\approx 0{,}97$.

Täieliku ahenduse puhul seega $\mu=0{,}64\cdot 0{,}97\approx 0{,}62$. Ava mõõtmete ja survekõrguse suurenedes väheneb μ väärtus ning kõigub 0,59 ... 0,62 piirides.

Voolamisel suurtest avadest (hüdrotehnilistes ehitistes), kus tavaliselt juhtseinad avaldavad märgatavat mõju, soovitab akad. N. Pavlovski μ väärtuseks võtta tabelis 5-7 antud arvusid.

Tabel 5-7

Vooluhulgakoefitsient μ avade jaoks

Ava ja ahenduse iseloomustus	μ
Keskmise suurusega ja igakülgse ahendusega ava	0,65
Suurem, mittetäieliku, kuid igakülgse ahendusega ava	0,70
Esineb ainult külgmine ahendus (ava põhjal)	0,65 ... 0,70
Esineb ainult nõrk külgmine ahendus (ava põhjal)	0,70 ... 0,75
Voolujooneliste külgseintega ava põhjal	0,80 ... 0,85
Hästiviimistletud voolujooneliste külgseintega ava põhjal	0,90

3. UPUTATUD AVAD

Vooluhulga valem voolamisel uputatud avast konstantse survekõrguse puhul on:

$$Q=\mu\omega\sqrt{2gZ_0}, \tag{5-56}$$

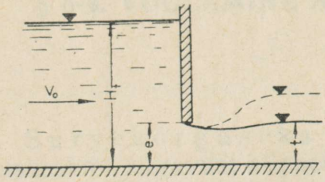
kus $Z_0=Z+\frac{V_0^2}{2g}$,

milles Z — veeseisude vahe (m) ava ees ja taga ehk vee langus (vt. joon. 5-11);
muude tegurite tähendus on endine.

μ väärtus on ligikaudu sama kui voolamisel uputamata avast.

4. VOOLAMINE VARJA ALT HORISONTAALSES RENNIS (LÜÜSREGULAATOR, TURBIINIKAMBER jne.)

Voolamine uputamata varjaavast (vt. joon. 5-12)



Joonis 5-12. Voolamine uputamata varjaavast.

Uputamata on varjaava juhul, kui voolu sügavus alumises bjefis ei ületa varjaava kõrgust ($t \leqslant e$) või kui $t > e$ puhul esineb varja taga uputamata vooluhüpe (vt. § 5-9). Voolu sügavus (h_a) ahenenud elavlõikes, mis tuleb võtta hüppe-eelseks sügavuseks, määratakse valemiga

$$h_a = \varepsilon^1 e, \tag{5-57}$$

kus ε^1 — vertikaalahenduskoefitsient, mis määratakse tabelist 5-8;
e — ava kõrgus (m).

Vooluhulk arvutatakse valemiga

$$Q = \mu be\sqrt{2g\left(H_{t,0} - \frac{e}{2}\right)}, \tag{5-58}$$

kus b — ava (resp. renni) laius (m) ja

$$H_{t,0} = H_t + \frac{V_0^2}{2g}.$$

Vooluhulgakoefitsiendi (μ) võib arvutada S. V. Sokolovi järgi [13] valemiga

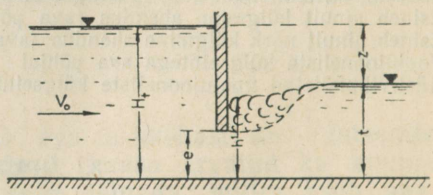
$$\mu = 0{,}62\left(1 - 0{,}12\,\frac{e}{H_{t,0}}\right). \tag{5-59}$$

Voolamine uputatud varjaavast (vt. joon. 5-13)

Varjaava on uputatud, kui veeseis varja taga ületab varjaava kõrguse ($t > e$ ning seejuures esineb uputatud vooluhüpe). Vooluhulk arvutatakse valemiga

$$Q = \mu be\sqrt{2gZ_0}, \tag{5-60}$$

kus $Z_0 = Z + \frac{V_0^2}{2g}$ ning vooluhulgakoefitsiendi (μ) võib arvutada S. V. Sokolovi järgi [13] valemiga



Joonis 5-13. Voolamine uputatud varjaavast.

$$\mu = 0{,}60 + 0{,}5\,\frac{e}{t}, \tag{5-61}$$

mis kehtib juhul, kui suhe $\frac{e}{t}$ asub piirides 0,10 . . . 0,75.

Varjaava kõrgust e on valemitest 5-58 ja 5-60 võimalik määrata järkjärgulise lähenemise teel.

Tabel 5-8

Vertikaalahenduskoefitsient ε^1 avade puhul
(N. Žukovski ja V. Vedernikovi järgi)

$\frac{e}{H_t}$	ε^1	$\frac{e}{H_t}$	ε^1	$\frac{e}{H_t}$	ε^1
0,10	0,615	0,35	0,628	0,60	0,660
0,15	0,618	0,40	0,630	0,65	0,675
0,20	0,620	0,45	0,638	0,70	0,690
0,25	0,622	0,50	0,645	0,75	0,705
0,30	0,625	0,55	0,650		

5. ANUMATE TÜHJENEMINE JA TÄITUMINE (MUUTUVA SURVEKÕRGUSE PUHUL)

Prismaatilised anumad (reservuaarid, basseinid, paagid jne., mille horisontaalsed ristlõiked kogu kõrguses on konstantsed, vt. joon. 5-10).

Aja määramiseks, mis kulub anuma täielikuks tühjenemiseks või täitumiseks (t), on valem

$$t = \frac{2W}{Q_a} \text{ (sek)}, \qquad (5\text{-}62)$$

kus W — anumast väljavoolanud või anumasse sissevoolanud vedeliku ruumala (m³) ja
Q_a — vooluhulk (m³/sek) tühjenemise või täitumise algmomendil, s. t. siis, kui survekõrgus H või vastavalt langus Z on maksimaalne.

Kui anumat tühjendatakse osaliselt, siis selleks kuluv aeg arvutatakse valemiga (väljavool õhku):

$$t = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}} \text{ (sek)}, \qquad (5\text{-}63)$$

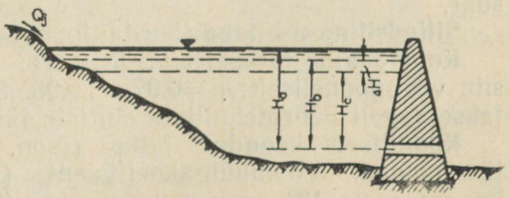
milles Ω — anuma ristlõike (põranda) pindala (m²);
H_1 — survekõrgus tühjendamise algmomendil (m) ja
H_2 — „ „ lõppmomendil (m);
muude tegurite tähendus on sama mis eespool (valem 5-54).

Anuma täielikul tühjenemisel on $H_2 = 0$ ning valem 5-63 muutub sisuliselt valemiks 5-62.

Mitteprismaatilised anumad (veehoidlad; vt. joon. 5-14)

Veehoidla ruumala jagatakse horisontaalseteks kihtideks kõrgusega ΔH (ΔH suuruseks võetakse mitte üle 1,0 m) ning arvutatakse iga kihi ruumala valemiga

$$\Delta W_i = \frac{\Omega_a + \Omega_b}{2} (H_a - H_b) \text{ (m}^3\text{)}, \qquad (5\text{-}64)$$



Joonis 5-14. Veehoidla tühjendamise skeem.

milles Ω_a ja Ω_b on survekõrgustele H_a ja H_b vastavad veehoidla pindalad (m²).

Seejärel arvutatakse keskmine vooluhulk iga kihi väljavoolamisel valemiga $Q_i = \mu\omega\sqrt{2gH_i}$, kus H_i on keskmine survekõrgus vastava kihi väljavoolamisel $\left(H_i = \frac{H_a + H_b}{2}\right)$, ning selleks kuluv aeg $\Delta t = \frac{\Delta W_i}{Q_i}$.

Saadud aegu summeerides leitaksegi veehoidla tühjenemise koguaeg (t) valemiga:

$$t = \Sigma\Delta t = \Sigma\frac{\Delta W_i}{Q_i}\ (\text{sek}). \qquad (5\text{-}65)$$

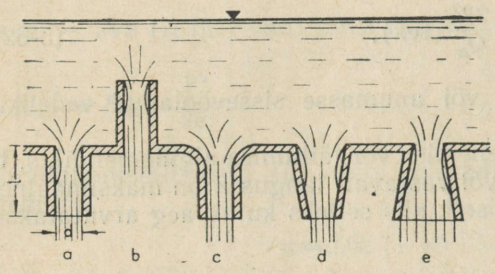
Kui tühjendamisel esineb vee juurdevool veehoidlasse, siis veehoidla tühjenemise aeg määratakse valemiga

$$t = \Sigma\Delta t = \Sigma\frac{\Delta W_i}{Q_i - Q_j}\ (\text{sek}), \qquad (5\text{-}66)$$

milles Q_j — juurdevool (m^3/sek).

6. VOOLAMINE JÄTKETEST

Jätkeks nimetatakse lühikest torulõiku, mis on kinnitatud avale ette. Vooluhulga arvutamise valemid jätkete puhul on samad mis avadegi puhul (valemid 5-54 ja 5-56), kuid μ väärtus on erinev. Nendes valemites esinev ω on mõeldud jätke väljavooluotsas. Joonisel 5-15 on esitatud tavalisemad jätkete liigid.



Joonis 5-15. Jätked:
a — silindriline välisjätke; *b* — silindriline sisejätke; *c* — konoidaalne; *d* — kooniliselt koonduv; *e* — kooniliselt laienev.

Voolamisel avasse (jätkesse) toimub vedelikujoa ahenemine ning selle eemaldumine jätke seinast (välja arvatud konoidaalne jätke). Kui jätke pikkus on vähemalt 3,5...4 korda suurem jätke läbimõõdust, jõuab juga veel enne väljumist liibuda jätke seina külge ning juga voolab jätkest välja täie ristlõikega, kusjuures ahenemise kohas kujuneb vaakuum. On aga jätke lühem, ei avalda ta mõju voolamisele, mispärast voolamine toimub nii nagu ava puhul.

Silindriline välisjätke (venturi) (joon. 5-15, *a*).

Vooluhulgakoefitsient $\mu = 0{,}82$. Vaakuum tekib jätkes juhul, kui survekõrgus (H) ei ületa 10 meetrit, vastasel juhul toimub väljavool nii nagu avast. Sellist jätket kasutatakse laialdaselt hüdrotehnikas (veelasud paisus).

Silindriline sisejätke (borda; joon. 5-15, *b*): $\mu = 0{,}79$

Konoidaalne jätke (joon. 5-15, *c*). Jätke sisenemisosa on kujundatud siin voolujooneliselt; $\mu = 0{,}97...0{,}98$. Selle jätke kuju järgi konstrueeritakse sageli hüdrotehniliste ehitiste lävised (sisenemisosad).

Kooniliselt koonduv jätke (joon. 5-15, *d*). Jätke kujutab endast tüvikoonust. Vooluhulgakoefitsient (μ) sõltub koonuse tipunurgast; kui see on ca 13°, on μ maksimaalne (0,95). See jätke annab suure väljumiskiirusega vedelikujoa ning seda kasutatakse tehnikas laialt (aktiivturbiini, hüdromonitori ja tuletõrjevooliku düüsides).

Kooniliselt laienev jätke (joon. 5-15, *e*). Et väljavoolav juga liibuks jätke seina vastu, ei tohi koonuse tipunurk olla suurem kui

10 . . . 13°. Koonuse tipunurga puhul 5 . . . 7° vooluhulgakoefitsient $\mu \approx 0{,}50$. See jätke annab väikese väljumiskiirusega joa ning leiab kasutamist väljumistoruna (imitoruna) reaktiivturbiinides, veelaskudena paisude juures jne.

7. VOOLAMINE LÜHIKESTES TORUSTIKES (DÜÜKER, SIFOON, PUMBA IMITORUSTIK, SURVE ALL TÖÖTAV TRUUP JT.)

Nende torustike hüdraulilistel arvutustel kasutatakse eespool antud valemeid avade kohta (5-54, 5-56), kuid vooluhulgakoefitsient (μ) määratakse järgmiselt:

a) voolamisel õhku $\mu = \sqrt{\dfrac{1}{1 + \dfrac{\lambda l}{d} + \Sigma\xi}}$, (5-67)

b) voolamisel vee alla $\mu = \sqrt{\dfrac{1}{\dfrac{\lambda l}{d} + \Sigma\xi}}$, (5-68)

milles l — torustiku pikkus (m);
d — „ läbimõõt (m); kandilise toru puhul tuleb selle asemele võtta $4R$, milles R — hüdrauliline raadius (m);
$\Sigma\xi$ — kõigi kohalike survekadude koefitsientide summa ja
λ — hõõrdekoefitsient, mis määratakse eespool (§ 5-3) kirjeldatud võtetega.

Ligikaudsetel arvutustel soovitab akad. N. P a v l o v s k i kasutada järgmisi λ väärtusi:

puittorud	0,0193;
malm- ja keevitatud terastorud	0,020;
needitud terastorud	0,024;
betoon- ja raudbetoontorud	0,022.

§ 5-5. SURVELINE VOOLAMINE

Pikkades toruveejuhtmetes on tegemist peamiselt jooksva survekaoga, kuna kohalikke survekadusid nende vähesuse tõttu üldse ei arvestata või neid hinnatakse umbkaudu teatava protsendina (5 . . . 15%) jooksvatest survekadudest.

1. LIHTTORUSTIK

L i h t t o r u s t i k u k s nimetatakse sellist toruveejuhet, mis ei hargne ning milles seetõttu vooluhulk kogu pikkusel on konstantne, näiteks torustik pumbajaamast kuni veetornini, hüdroelektrijaama toitetorustik jne. Lihttorustiku hüdraulilistel arvutustel konstantse diameetri puhul kasutatakse järgmisi valemeid:

$$h_j = \lambda \frac{l V^2}{d\, 2g} \tag{5-69}$$

$$h_j = \frac{Q^2 l}{K^2} = AQ^2 l \text{ või} \tag{5-70}$$

$$h_j = AQ^2 la \tag{5-71}$$

$$Q = \omega C \sqrt{R\frac{H}{l}} = K\sqrt{\frac{H}{l}} \text{ või} \tag{5-72}$$

$$Q=K\sqrt{\frac{H}{la}}. \tag{5-73}$$

Nendes h_j — jooksev survekadu torustiku ulatusel (m);
H — survekõrgus (m), s. o. veeallika ja torustiku lõpp-punkti (suudme) veetaseme vahe; küllalt pika torustiku puhul, kus kohalike survekadude osatähtsus on väike ($h_{koh.}\approx 0$), ning kus ka kiiruskõrgus võib jääda arvestamata, on $h_j\approx H$;
l ja d — torustiku pikkus (m) ja sisemine diameeter (m);
Q — vooluhulk (m³/sek);
V — voolu kiirus (m/sek);
ω — elavlõige (m²);
R — hüdrauliline raadius (m);
$K=\omega C\sqrt{R}$ — vooluhulga karakteristik;

$A=\frac{1}{K^2}$ — torustiku eritakistus;
λ — hõõrdekoefitsient (vt. § 5-3, p. 4);
C — Chézy koefitsient (valemid 5-45 kuni 5-51) ja
a — paranduskoefitsient (vt. tab. 5-10 ja 5-12).

Kui torustik koosneb mitmest erineva diameetriga ja pikkusega lõigust, siis on arvutusvalem:

$$h_j=A_1l_1Q^2+A_2l_2Q^2+\ldots+A_nl_nQ^2=Q^2\Sigma A_il_i. \tag{5-74}$$

Hüdrotehnilises praktikas kasutatakse sageli ka spetsiaalseid valemeid vastavalt torude materjalile.

Ümmargused puittorud — Scobey valem:

$$h_j=0{,}000885\,\frac{V^{1,8}}{d^{1,17}}\,l\ \text{(m)}. \tag{5-75}$$

Betoon- ja raudbetoontorud — Scobey valem:

$$h_j=\frac{\psi V^2}{d^{1,25}}\,l\ \text{(m)}, \tag{5-76}$$

milles ψ väärtused on:
1) uutes, monoliitsetes, lihvitud sisepinnaga torudes 0,00080;
2) „ „ lihvimata „ „ 0,00092;
3) kasutusel olnud lülilistes torudes 0,00110;
4) vanades, lülilistes, mitte väga hoolikalt koostatud torudes 0,00150.

Veevarustuse teras- ja malmtorud

Mõnda aega ekspluatatsioonis olnud teras- ja malmtorude puhul on survekadu F. Ševeljovi järgi:

1) kui $V\geqslant 1{,}2$ m/sek, siis

$$h_j=0{,}00107\,\frac{V^2l}{d_a^{1,3}}\ \text{(m)}; \tag{5-77}$$

2) kui $V<1{,}2$ m/sek, siis

$$h_j=0{,}000912\,\frac{V^2l}{d_a^{1,3}}\left(1+\frac{0{,}867}{V}\right)^{0,3}\ \text{(m)}. \tag{5-78}$$

Nendes d_a — arvutuslik toru läbimõõt (m). Kui toru sisemine läbimõõt $d<300$ mm, siis $d_a=d-1$ mm; kui $d\geqslant 300$ mm, siis $d_a=d$.

Arvutuse hõlbustamiseks on koostatud tabel 5-9; ülesannete lahendamine toimub seejuures järgmiste valemitega:

$$h_j = AQ^2 la \tag{5-71}$$

$$A = \frac{H}{Q^2 la} \tag{5-79}$$

$$Q = a^1 \sqrt{\frac{H}{Al}}. \tag{5-80}$$

Nendes H — survekõrgus torustiku ulatusel (m);
A — torustiku eritakistus, mis saadakse tabelist 5-9 toru sisemise läbimõõdu d järgi, ja
a ja a^1 — saadakse voolu kiiruse V järgi tabelist 5-10.

Voolu kiirust arvutatakse järgmiselt: $V = \frac{Q}{\omega}$, kusjuures ω saadakse tabelist 5-9 (lahter 3). Kui väljendada vooluhulka liitrites sekundis, siis tuleb lahtrist 3 saadud arvu juures jätta ära kordaja 10^{-3}. Näiteks kui $Q = 0{,}058$ m³/sek ja $d = 150$ mm, siis $V = \frac{58}{17{,}4} = 3{,}33$ m/sek.

Tabel 5-9

Ekspluatatsioonis olevad teras- ja malmtorud
(ГОСТ 3262-55, 3101-46, 4015-52, 5525-50)

d (mm)	A (m³/sek puhul)	$\omega = \frac{\pi d_a^2}{4}$ (m²)	d (mm)	A (m³/sek puhul)	$\omega = \frac{\pi d_a^2}{4}$ (m²)
12,5 (t.)	32932.10^3	$0{,}104.10^{-3}$	225 (t.)	4,82	$39{,}4.10^{-3}$
15,75 (t.)	8805.10^3	$0{,}171.10^{-3}$	250 (m.)	2,75	$48{,}7.10^{-3}$
21,25 (t.)	1642.10^3	$0{,}322.10^{-3}$	253 (t.)	2,58	$49{,}9.10^{-3}$
27,0 (t.)	$436{,}5.10^3$	$0{,}531.10^{-3}$	279 (t.)	1,53	$60{,}7.10^{-3}$
35,75 (t.)	$93{,}8.10^3$	$0{,}948.10^{-3}$	300 (m.)	1,02	$70{,}7.10^{-3}$
41,0 (t.)	$44{,}5.10^3$	$1{,}26.10^{-3}$	305 (t.)	0,939	$73{,}1.10^{-3}$
50 (m.)	$15{,}2.10^3$	$1{,}89.10^{-3}$	331 (t.)	0,608	$86{,}1.10^{-3}$
53 (t.)	$11{,}1.10^3$	$2{,}12.10^{-3}$	350 (m.)	0,453	$96{,}2.10^{-3}$
68 (t.)	$2{,}89.10^3$	$3{,}53.10^{-3}$	357 (t.)	0,408	100.10^{-3}
75 (m.)	$1{,}71.10^3$	$4.30.10^{-3}$	400 (m.)	0,223	126.10^{-3}
80,5 (t.)	$1{,}17.10^3$	$4{,}96.10^{-3}$	406 (t.)	0,206	130.10^{-3}
100 (m.)	$0{,}365.10^3$	$7{,}70.10^{-3}$	450 (m.)	0,119	159.10^{-3}
106 (t.)	$0{,}267.10^3$	$8{,}66.10^{-3}$	458 (t.)	0,109	165.10^{-3}
125 (m.)	$0{,}111.10^3$	$12{,}1.10^{-3}$	500 (m.)	$68{,}4.10^{-3}$	196.10^{-3}
126 (t.)	$0{,}106.10^3$	$12{,}3.10^{-3}$	509 (t.)	$62{,}2.10^{-3}$	0,203
131 (t.)	86,2	$13{,}3.10^{-3}$	600 (m.)	$26{,}0.10^{-3}$	0,283
148 (t.)	44,9	$17{,}0.10^{-3}$	610 (t.)	$23{,}8.10^{-3}$	0,292
150 (m.)	41,8	$17{,}4.10^{-3}$	700	$11{,}5.10^{-3}$	0,385
156 (t.)	33,9	$18{,}9.10^{-3}$	800	$5{,}66.10^{-3}$	0,503
174 (t.)	18,9	$23{,}5.10^{-3}$	900	$3{,}03.10^{-3}$	0,636
199 (t.)	9,27	$30{,}8.10^{-3}$	1000	$1{,}73.10^{-3}$	0,785
200 (m.)	9,02	$31{,}1.10^{-3}$	1200	$0{,}680.10^{-3}$	1,131
			1400	$0{,}292.10^{-3}$	1,539

Märkused.
1. A ja ω on arvutatud d_a jaoks.
2. Lahtris 1 tähendab «t.» terastoru ja «m.» malmtoru, kuna ilma täheta arvud kehtivad nii malm- kui ka terastorude kohta.
3. Tabelis on toodud ainult standardsed diameetrid.

Tabel 5-10

Koefitsiendid a ja a' teras- ja malmtorude jaoks

V(m/sek)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\geqslant 1,2$
a	1,41	1,28	1,20	1,15	1,11	1,08	1,06	1,04	1,03	1,00
a'	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00

Näide 1. Leida h_j, kui on antud: $Q=70$ l/sek; $l=300$ m; $d=250$ mm. Lahendamine toimub valemiga 5-71. Tabelist 5-9 saame diameetrile $d=250$ mm vastava $A=2,75$; a leidmiseks tuleb määrata voolu kiirus: $V=\frac{Q}{\omega}=\frac{70}{48,7}=1,44$ m/sek. Et $V>1,2$, siis tabelist 5-10 saame: $a=1,00$; $h_j=2,75\cdot 0,070^2\cdot 300\cdot 1,00=4,04$ m.

Näide 2. Leida d, kui on antud: $Q=0,20$ m³/sek; $l=5000$ m; $H=6,00$ m. Lahendamine toimub valemiga 5-79. Et d suurus ei ole teada, ei saa määrata voolu kiirust V ja seega ka koefitsienti a. Võtame seepärast esialgu a võrdseks 1,0-ga; siis $A=\frac{6,00}{0,20^2\cdot 5000\cdot 1,0}=0,030$. Selle järgi saame tabelist, et $d\approx 600$ mm. Edasi $V=\frac{0,20}{0,283}=0,705$ m/sek; $a=1,08$. Täpsustame arvutust: $A=\frac{0,030}{1,08}=0,028$. Ka sellele vastav läbimõõt on 600 mm, mis seega ongi lõplik vastus.

Kui kasutusel oleva toru läbimõõtu tabelis ei esine, siis tuleb sellele vastava A leidmiseks võtta tabelist lähima d järgi A väärtus ning seda korrutada koefitsiendiga $\psi=\left(\frac{d_a}{d'_a}\right)^{5,3}$,

kus d_a — tabelist võetud läbimõõt ja
d'_a — toru tegelik läbimõõt.

Veevarustuse asbesttsementtorud

F. Ševeljovi poolt antud valem survekao määramiseks nii uute kui ka juba ekspluatatsioonis olnud torude kohta on:

$$h_j=0,000561\,\frac{V^2 l}{d^{1,19}}\left(1+\frac{3,51}{V}\right)^{0,19}, \qquad (5\text{-}81)$$

milles d — toru sisemine läbimõõt (m).

Ülesannete lahendamine toimub samade valemitega ning samal viisil nagu teras- ja malmtorude puhul (valemid 5-71, 5-79 ja 5-80). Arvutuste juurde kuuluvad tabelid A, ω ja a määramiseks (5-11 ja 5-12).

Tabel 5-11

Asbesttsementtorud (ГОСТ 539-48)

d (mm)	$A=\frac{1}{K^2}$ (m³/sek puhul)	$\omega=\frac{\pi d^2}{4}$ (m²)	d (mm)	$A=\frac{1}{K^2}$ (m³/sek puhul)	$\omega=\frac{\pi d^2}{4}$ (m²)
50	6849	$1{,}96.10^{-3}$	322	0,434	$81{,}4.10^{-3}$
75	835	$4{,}42.10^{-3}$	338	0,337	$89{,}7.10^{-3}$
100	187,6	$7{,}85.10^{-3}$	368	0,217	106.10^{-3}
119	76,07	$11{,}1.10^{-3}$	386	0,169	117.10^{-3}
123	64,07	$11{,}9.10^{-3}$	456	0,0713	163.10^{-3}
141	31,54	$15{,}6.10^{-3}$	482	0,0535	182.10^{-3}
147	25,40	$17{,}0.10^{-3}$	546	0,0280	234.10^{-3}
189	6,89	$28{,}1.10^{-3}$	576	0,0212	261.10^{-3}
195	5,86	$29{,}9.10^{-3}$	672	0,00953	355.10^{-3}
235	2,23	$43{,}4.10^{-3}$	768	0,00477	463.10^{-3}
243	1,87	$46{,}4.10^{-3}$	864	0,00259	586.10^{-3}
279	0,913	$61{,}1.10^{-3}$	960	0,00150	724.10^{-3}
291	0,734	$66{,}5.10^{-3}$			

Tabel 5-12

Koefitsiendid a ja a' asbesttsementtorude jaoks

V (m/sek)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5
a	1,16	1,11	1,08	1,06	1,03	1,02	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86
a'	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08

2. LIITTORUSTIK

Liittorustikuks nimetatakse omavahel ühendatud toruveejuhtmete kogumikku, mis koosneb pea- ehk magistraaltorustikust ning harutorustikust (jaotustorustikust). Liittorustik võib moodustada kas umbvõrgu (tupikvõrgu) või ringvõrgu. Esimene neist on selline torustik, kus harutorustik lõpeb umbselt, kuna teisel juhul moodustab see ühe või mitu ringi.

Tähtsamad ülesanded veevarustus- või vihmutustorustiku puhul on:
1) torustikulõikude diameetri määramine,
2) veetorni kõrguse ,,
3) pumbamootori võimsuse ,,

Torustikulõikude diameetri määramine. Liittorustiku iga lõigu diameeter määratakse võrrandist $Q=\frac{\pi d^2}{4}V_{ök.}$ tuletatud valemiga

$$d=1{,}13\sqrt{\frac{Q}{V_{ök.}}}\ (\text{m}), \qquad (5\text{-}82)$$

milles Q — antud lõigu arvutuslik vooluhulk (m³/sek) ja

$V_{ök.}$ — nn. ökonoomne kiirus (m/sek). See on selline kiirus, mille puhul veevõrgu (torustik, veetorn, pumbajaam) ekspluatatsioonikulud on minimaalsed. Umbkaudu võib $V_{ök.}$ suuruseks võtta:

Ø $\leqslant$ 350 mm puhul 0,7 ... 1,0 m/sek;
Ø $>$ 350 mm „ 1,0 ... 1,4 m/sek.

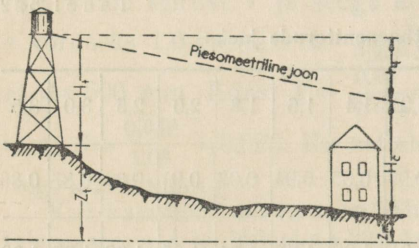
Et vähendada torude kaalu, kasutatakse vihmutussüsteemi ümberpaigutatavates torustikes (vihmutustiibades) suuremaid kiirusi (V=1,5 ... 2,5 m/sek).

Kui torustikulõigus on algusest kuni lõpuni konstantne vooluhulk, siis tulebki see võtta arvutuslikuks vooluhulgaks. Toimub aga torustikulõigu ulatusel vee jaotumine üksikute väiksemate veetarbijate (üksikud majad, üksikud vihmutid jne.) vahel, määratakse arvutuslik vooluhulk selles lõigus valemiga:

$$Q_{arv.} = Q_{tr.} + (0{,}5 \ldots 0{,}6)\, Q_j, \qquad (5\text{-}83)$$

milles $Q_{tr.}$ — transiitvooluhulk, s. o. see osa üldisest vooluhulgast, mis läbib vaadeldava lõigu ja läheb edasi järgmisse lõiku, ja
Q_j — jaotusvooluhulk, s. o. see osa üldisest vooluhulgast, mis vaadeldava lõigu ulatusel jaotatakse ära veetarbijate vahel.

Veetorni kõrguse määramine. Joonis 5-16 kujutab veetorni ja nn. dikteeriva veetarbija (maja) asukoha skeemi. Dikteerivaks veetarbijaks on antud asulas kaugemal ja kõrgemal kohal paiknev kõrgeim maja. Selle skeemi põhjal võib koostada võrrandi:



Joonis 5-16. Veetorni kõrguse määramise skeem.

$$H_t + Z_t = Z_m + H_c + h_t,$$

kust saadakse vajalik veetorni kõrgus:

$$H_t = Z_m - Z_t + H_c + h_t, \qquad (5\text{-}84)$$

milles Z_t — maapinna kõrgusarv torni asukohas (m);
Z_m — maapinna kõrgusarv dikteeriva veetarbija asukohas (m);
h_t — üldine survekadu piki veetrakti veetornist kuni dikteeriva veetarbijani; see arvutatakse valemitega 5-71 ja 5-74 või teiste analoogiliste valemitega, ja
H_c — nn. vabasurve, s. o. suurus, mille võrra piesomeetriline joon dikteeriva veetarbija asukohas peab asetsema maapinnast kõrgemal, et tagada vee saamine maja ülemise korruse kraanidest.

Kui maja on 1-korruseline, siis H_c=10,0 m;
„ „ „ 2- „ „ H_c=12,0 m;
„ „ „ 3- „ „ H_c=16,0 m.

Pumbamootori võimsus määratakse valemiga:

$$N = \frac{QHn}{75\eta_p\eta_{ü}} \text{ (hj)} \qquad (5\text{-}85)$$

või

$$N = \frac{QHn}{102\eta_p\eta_{ü}} \text{ (kW)}, \qquad (5\text{-}86)$$

kus Q — vooluhulk (l/sek);
n — võimsuse varutegur (selle suuruseks võetakse 1,1 ... 1,3);
η_p — pumba kasutegur ($\approx$0,70 ... 0,85);
$\eta_{ü}$ — ülekande kasutegur ($\approx$0,90 ... 1,00) ja

H — manomeetriline tõstekõrgus (m),

$$H = H_g + h_t, \tag{5-87}$$

milles H_g — geodeetiline tõstekõrgus, s. o. sihtkoha (veetorni) ja veeallika veetasemete vahe (m), ja
h_t — üldine survekadu vee liikumisel veeallikast kuni sihtkohani (m).

Vihmutussüsteemis arvutatakse manomeetriline tõstekõrgus valemiga

$$H = H_g + H_c + h_t, \tag{5-88}$$

kus H_g — geodeetiline tõstekõrgus, s. o. vihmutite (või hüdrandi) ja veeallika veetasemete vahe (m) ja
H_c — vabasurve vihmutites (hüdrandis), mis lühijoalistel vihmutitel on ca 10...12 m, kaugjoalistel ca 40...50 m ning hüdrandis lühijoaliste vihmutusagregaatide puhul ca 25 m.

(Näidet pumbamootori võimsuse määramisest vt. § 10-5, p. 7.)

3. HÜDRAULILINE LÖÖK

Survetorustikus liikuva vee kiiruse järsu muutumise tagajärjel tekib vedelikumassi inertsjõu mõjul nn. hüdrauliline löök ehk rõhu suurenemine või vähenemine.

Hüdraulilise löögi suurus (Δp) torustiku järsul sulgemisel arvutatakse N. Žukovski valemiga

$$\Delta p = \frac{\gamma c V}{g} \text{ (kg/cm}^2\text{)}, \tag{5-89}$$

kus γ — vee mahukaal (kg/cm^3);
g — raskuskiirendus = 981 cm/sek^2;
V — vee kiirus enne torustiku sulgemist (cm/sek) ja
c — löögilaine leviku kiirus, mis arvutatakse valemiga

$$c = \frac{143500}{\sqrt{1 + \frac{E_v d}{E_t \delta}}} \text{ (cm/sek)}, \tag{5-90}$$

milles d — torustiku sisemine diameeter (cm);
δ — „ seina paksus (cm);
E_v — vee elastsusmoodul ≈ 21000 kg/cm^2 ja
E_t — torustiku materjali elastsusmoodul (kg/cm^2).

Terasel on see	2100000,
malmil	1000000,
puidul	100000,
betoonil	200000 ja
asbesttsemendil	216000.

Hüdraulilist lööki pehmendatakse:
1) torustiku aeglase sulgemise teel,
2) õhkpuhvrite jm. abil.

Kui torustik suletakse aeglaselt, siis on hüdrauliline löök ligikaudu arvutatav valemiga

$$\Delta p = \frac{2\gamma V l}{gt}, \tag{5-91}$$

milles l — survetorustiku pikkus (cm) ja
t — sulgemise aeg (sek).

§ 5-6. ÜHTLANE VOOLAMINE LAHTISTES VEEJUHTMETES NING SURVETA TORUSTIKES

Ühtlast voolamist iseloomustavad järgmised asjaolud:

1) vooluhulk Q on konstantne nii aja jooksul kui ka piki veejuhet;

2) elavlõige ω, voolu sügavus h ning voolu kiirus V on piki veejuhet konstantsed;

3) veejuhtme põhja kalle i on muutumatu;

4) voolusängi karedus n on veejuhtme ulatusel ühesugune;

5) kohalikud hüdraulilised takistused puuduvad.

Tegelikes tingimustes pole need nõuded peaaegu kunagi täpselt täidetud. Kui kõrvalekaldumised ei ole suured, loetakse voolamine praktiliselt ühtlaseks. Kõige paremini on need nõuded täidetud tehisveejuhtmeis — kraavides, kanalites ja torustikes.

Ühtlasel voolamisel esinevat voolu sügavust nimetatakse normaalsügavuseks ning seda märgitakse tähega h_0 (indeksit null $(_0)$ märgitakse ainult siis, kui selle ärajätmine tekitaks arusaamatusi).

1. ARVUTAMISE VALEMID

Ühtlase voolamise põhivalem on:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \tag{5-92}$$

milles Q — vooluhulk (m^3/sek);
ω — elavlõige (m^2);
R — hüdrauliline raadius (m) ja
i — veejuhtme põhja ja ühtlasi ka veepinna ning sellega ühte langeva piesomeetrilise joone kalle;
C — Chézy koefitsient, mille määramiseks kasutatakse peamiselt N. Pavlovski ja I. Agroskini valemeid.

(Kõigi nende tegurite kohta vt. lähemalt § 5-3, p. 2 ja 4.)

Voolu kiirus arvutatakse Chézy valemiga

$$V = C\sqrt{Ri} \text{ (m/sek)}. \tag{5-93}$$

Valemit 5-92 kirjutatakse teisendatul kujul ka järgmiselt:

$$Q = K\sqrt{i}, \tag{5-94}$$

milles $K = \omega C\sqrt{R}$. K-d nimetatakse vooluhulga karakteristikuks. (5-95)

2. LAHTISTE VEEJUHTMETE RISTLÕIKE KUJU

Projekteeritud veejuhtme ristlõige peab vastama nõutavale läbilaskevõimele, olema stabiilne ning kaevamistöö maht peab seejuures olema minimaalne.

«Glavvodhoz'i» poolt 1957. a. avaldatud «Kuivendussüsteemide projekteerimise normide ja tehniliste tingimuste» (lühidalt N TT-1957) kohaselt tuleb paraboolset ristlõiget kasutada turbas, mille lagundumisaste on üle 50%, samuti kergetes (liiv, saviliiv jt.) ning mudastes pinnastes ja vedeldunud savipinnastes, kui veejuhtme sügavus ületab 2...2,5 m. Teistsuguste tingimuste puhul võib kasutada trapetsikujulist ristlõiget.

Et veejuhtmete nõlvad oleksid ekspluatatsiooni kestel küllalt püsivad, tuleb põhi- ja piirdevõrgu veejuhtmete ristlõike kujundamisel lähtuda tabelis 5-13 antud soovitustest.

Tabel 5-13

Nõlvus paraboolse ja trapetsikujulise profiiliga voolusängis

Pinnase iseloomustus	Paraboolse profiiliga voolusäng; voolu laiuse B ja sügavuse h suhe $\beta = \frac{B}{h}$	Trapetsikujulise profiiliga voolusängi nõlvuskoefitsient m
1. Turvas lagundumisastmega < 35%		
sfagnumiturvas	—	0,5 ... 0,75
tarnaturvas	—	0,75 ... 1
metsaturvas	—	1 ... 1,25
2. Turvas lagundumisastmega 35 ... 50%		
sfagnumiturvas	—	0,75 ... 1
tarnaturvas	—	1 ... 1,25
metsaturvas	—	1,25 ... 1,5
3. Turvas lagundumisastmega > 50%		
sfagnumiturvas	6 ... 8	1 ... 1,25
tarnaturvas	6 ... 8	1,25 ... 1,5
metsaturvas	8 ... 10	1,5 ... 1,75
4. Savi ja keskmine ning raske liivsavi	—	1,25 ... 1,5
5. Kerge liivsavi	—	1,5 ... 1,75
6. Saviliiv ja jämedateraline liiv	6 ... 8	1,5 ... 2
7. Keskmine liiv	8 ... 10	1,75 ... 2
8. Mudajas liivsavi	8 ... 10	1,75 ... 2
9. Peen liiv	10 ... 12	2 ... 2,5
10. Plastiline savi	10 ... 14	2,25 ... 2,75
11. Peen tolmjas liiv, vesiliiv	Nõlv kindlustada	

Märkused.

1. Tabelis esitatud suurused on kehtivad kraavi sügavuse puhul ca 1,5 ... 2,0 m.
2. Parabooli parameeter (p) määratakse suhte β järgi järgmiselt:

$p = \frac{\beta^2}{8} h_m$, kus h_m — voolu sügavus madalveeperioodil (suvine keskmine).

3. Mida sügavam veejuhe, seda lamedam peab olema nõlv (suurem m ja β).
4. Väiksemates veejuhtmetes (kogujakraav, kuivenduskraav) võib nõlvuskoefitsient m olla sidusates pinnastes ca 0,25 ... 0,5 võrra väiksem.
5. Suuremates veejuhtmetes (veevastuvõtja) peab nõlvuskoefitsient m olema ca 0,25 ... 0,5 võrra suurem.
6. Kui piirdekraavi vesikond on üle 5 km², tuleb väliskalda nõlvuskoefitsient võtta 0,5 võrra suurem.

Erineva püsivusega pinnasekihtides on soovitatav projekteerida liitprofiil (liittrapets) ja seda eriti siis, kui alumises kihis on ebapüsivam pinnas.

Nõlvuse valikul tuleb silmas pidada seda, et lamedam nõlv on püsivam varisemise vastu, kuid nõlva lamendamisel suurenevad sama läbilaskevõime puhul veejuhtme dimensioonid ja seega suureneb ka mullatöö maht.

Hüdrauliliselt soodsaimaks profiiliks (ristlõike kujuks) nimetatakse sellist voolusängi ristlõike kuju, millel antud elavlõike (ω), kareduse (n) ja kalde (i) puhul on suurim läbilaskevõime. Järelikult kujunevad sellise veejuhtme dimensioonid antud vooluhulga, kalde ja karedusarvu puhul minimaalseiks; minimaalseks kujuneb tavaliselt ka veejuhtme ehitamise maksumus. Sel põhjusel tuleb veejuhtmed projekteerida hüdrauliliselt soodsaima profiiliga kõikjal seal, kus selline ristlõige ei osutu vas-

tuvõetamatuks muudel kaaluvatel asjaoludel. Eriti kehtib see nõue kindlustatud voolusängide kohta.

Kõigist lahtiste veejuhtmete ristlõike kujudest vastab sellele nõudele kõige enam poolring ning kinnistest ring. Trapetsikujuline ristlõige kujuneb hüdrauliliselt soodsaimaks siis, kui põhja laiuse (b) ja voolu sügavuse (h) suhte kohta kehtib järgmine sõltuvus:

$$\beta_r = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) = m' - 2m. \qquad (5\text{-}96)$$

Sel puhul hüdrauliline raadius $R = \frac{h}{2}$, elavlõige $\omega = (m' - m)h^2 = 4(m' - m)R^2 = \delta R^2$, veealune perimeeter $\chi = 2(m' - m)h = 4(m' - m)R = \delta R$, kus m — nõlvuskoefitsient, $m' = 2\sqrt{1+m^2}$ ja $\delta = 4(m' - m)$. Indeks r β juures vihjab sellele, et see vastab hüdrauliliselt soodsaimale profiilile.

Tabelis 5-14 on antud m', β_r ja δ väärtused sõltuvalt nõlvuskoefitsiendist m.

Tabel 5-14

Koefitsiendid m', β_r ja δ

m	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3
m'	2,00	2,06	2,24	2,50	2,83	3,20	3,61	4,03	4,47	4,92	5,38	6,32
β_r	2,00	1,56	1,24	1,00	0,83	0,70	0,61	0,53	0,47	0,42	0,39	0,33
δ	8,00	7,25	6,94	7,00	7,31	7,81	8,42	9,13	9,89	10,70	11,54	13,30

3. LAHTISTE VEEJUHTMETE HÜDRAULILISED ARVUTUSED

A. Trapetsikujulise ristlõikega veejuhtmed

Ülesandeid lahendatakse kas analüütiliselt või graafiliselt (nomogrammidega).

Kõigis veejuhtmete hüdraulilise arvutuse ülesannetes, mis praktikas võivad ette tulla, esinevad nõlvuskoefitsient m ja voolusängi karedusarv n lähtesuurustena ning nad määratakse eespool kirjeldatud viisil (vt. tab. 5-5 ja 5-13). Otsitavateks suurusteks võivad olla mitmed tegurid ning sellest sõltuvalt võib hüdraulilise arvutuse ülesanded jagada nelja liiki.

I liik. Otsitav on kas Q või i

Antud on peale eespool mainitud m-i ja n-i veel veejuhtme dimensioonid b ja h ning vastavalt kas i või Q.

Vooluhulk Q määratakse ühtlase voolamise põhivalemiga $Q = \omega C\sqrt{Ri}$ (valem 5-92) ja kalle i — eelmisest teisendamise teel saadud valemiga

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}. \qquad (5\text{-}97)$$

Neis valemeis esinevad tegurid on kõik eestpoolt juba tuttavad ning ülesannete lahendamine nendega ei tekita mingit raskust.

II liik. Otsitavad on veejuhtme ristlõike dimensioonid (autori meetod)

Ülesanne jaguneb kolme alaliiki:

1) otsitavad on h ja b; antud on Q, m, n, i ja suhe $\frac{b}{h}$;
2) otsitav on voolu sügavus h; „ „ Q, m, n, i ja b;
3) „ „ põhja laius b; „ „ Q, m, n, i ja h.

Voolu sügavuse (h) ja põhja laiuse (b) määramine. Et ülesanne oleks ühemõtteliselt lahendatav, peab olema antud üks lisatingimus, nimelt b ja h suhe, s. o. β.

Tavaliselt kirjutatakse ette selline b ja h suhe, mis vastab hüdrauliliselt soodsaimale profiilile, s. o. β_r. Tähistame ka teisi tegureid, mis kuuluvad hüdrauliliselt soodsaima profiili juurde, indeksiga «r». Hüdrauliliselt soodsaima profiili puhul, nagu teada, $\omega_r = (m'-m)h_r^2$ ning $R_r = \frac{h_r}{2}$. Asendades need avaldised ühtlase voolamise põhivalemis ($Q = \omega C\sqrt{Ri}$) ja tegureid korraldades saame:

$$Q = \frac{(m'-m)h_r^{2,5+y}}{n \cdot 2^{0,5+y}}\sqrt{i}, \quad \text{kust } h_r = \sqrt[2,5+y]{\frac{Q\,n \cdot 2^{0,5+y}}{(m'-m)\sqrt{i}}}.$$

Korrutades juuritava murru lugejat ja nimetajat arvuga 2^2 ning osaliselt juurides, tähistades seejuures avaldise $4(m'-m)$ δ-ga, saame:

$$h_r = 2\sqrt[2,5+y]{\frac{Q\,n}{\delta\sqrt{i}}}, \tag{5-98}$$

kusjuures $b_r = \beta_r h_r$ (vt. valemit 5-96).

Et hüdrauliliselt soodsaima profiili puhul $R_r = \frac{h_r}{2}$, siis valemi 5-98 juuravaldis on võrdne hüdraulilise raadiusega, s. o.

$$R_r = \sqrt[2,5+y]{\frac{Q\,n}{\delta\sqrt{i}}}. \tag{5-99}$$

Et δ sõltub ainult m-st, siis on seda lihtne määrata tabelist 5-14.

Kui suhe b ja h vahel on vabalt valitud (olgu $\frac{b}{h} = \beta$), on ühtlase voolamise põhivalemist võimalik analoogiliselt ülaltoodule (valem 5-98) tuletada järgmist valemit:

$$h = \frac{\beta + m'}{\beta + m}\sqrt[2,5+y]{\frac{Q\,n}{\sqrt{i}} \cdot \frac{\beta + m}{(\beta + m')^2}}, \tag{5-100}$$

milles juuravaldis $\sqrt[2,5+y]{\frac{Q\,n}{\sqrt{i}} \cdot \frac{\beta + m}{(\beta + m')^2}}$ on võrdne hüdraulilise raadiusega R, sest üldiselt $R = \frac{\beta + m}{\beta + m'} \cdot h$, kust $h = \frac{\beta + m'}{\beta + m} \cdot R$.

Astendaja y määratakse P a v l o v s k i järgi valemiga 5-49 või tabeliga 5-4 või ligikaudselt valemiga 5-50. Leitud h ja suhte β järgi saadakse $b = \beta h$.

Et valemites 5-98 ja 5-100 on juuravaldis võrdne R-ga, siis saab ligikaudset y-it määrata P a v l o v s k i järgi järgmiselt (valem 5-50). Märgime juuritava avaldise tähega N. Niisiis $N_1 = \frac{Q\,n}{\delta\sqrt{i}}$ ja $N_2 = \frac{Qn(\beta+m)}{\sqrt{i}(\beta+m')^2}$. Kui $N < 1{,}0$ m, siis $y \approx 1{,}5\sqrt{n}$ ning kui $N > 1{,}0$ m, siis $y \approx 1{,}3\sqrt{n}$. Täpsemalt saab y-it määrata järgmiselt ($n = 0{,}020 \ldots 0{,}040$ puhul):

1) kui $N < 0{,}5$, siis $y = 1{,}5\sqrt{n}$,
2) kui $N = 0{,}5 \ldots 3{,}0$, siis $y = 1{,}4\sqrt{n}$ ning
3) kui $N > 3{,}0$, siis $y = 1{,}3\sqrt{n}$.

Tabel 5-15

Juurimistabel (valemite 5-98 ja 5-100 juurde)

h_r	Juuritava avaldise N väärtus karedusarvu puhul $n=$			h_r	Juuritava avaldise N väärtus karedusarvu puhul $n=$			h_r	Juuritava avaldise N väärtus karedusarvu puhul $n=$		
	0,020	0,030	0,040		0,020	0,030	0,040		0,020	0,030	0,040
0,15	0,0009	0,0007	0,0006	1,45	0,42	0,41	0,41	2,75	2,35	2,39	2,43
0,20	0,0019	0,0016	0,0014	1,50	0,46	0,45	0,45	2,80	2,47	2,51	2,55
0,25	0,0035	0,0031	0,0027	1,55	0,50	0,49	0,49	2,85	2,59	2,64	2,68
0,30	0,0058	0,0051	0,0046	1,60	0,55	0,54	0,54	2,90	2,71	2,77	2,81
0,35	0,0088	0,0079	0,0071	1,65	0,60	0,59	0,59	2,95	2,84	2,90	2,94
0,40	0,013	0,011	0,010	1,70	0,65	0,64	0,64	3,00	2,97	3,03	3,08
0,45	0,017	0,015	0,014	1,75	0,70	0,69	0,69	3,05	3,10	3,17	3,22
0,50	0,023	0,021	0,020	1,80	0,75	0,75	0,74	3,10	3,24	3,31	3,37
0,55	0,030	0,028	0,026	1,85	0,81	0,81	0,80	3,15	3,38	3,46	3,52
0,60	0,039	0,036	0,034	1,90	0,87	0,87	0,87	3,20	3,53	3,61	3,68
0,65	0,047	0,045	0,042	1,95	0,93	0,93	0,93	3,25	3,68	3,77	3,84
0,70	0,058	0,055	0,051	2,00	1,00	1,00	1,00	3,30	3,83	3,93	4,01
0,75	0,070	0,066	0,062	2,05	1,07	1,07	1,07	3,35	3,99	4,09	4,18
0,80	0,084	0,079	0,075	2,10	1,14	1,14	1,14	3,40	4,15	4,26	4,35
0,85	0,100	0,094	0,090	2,15	1,21	1,22	1,22	3,45	4,31	4,43	4,53
0,90	0,12	0,11	0,10	2,20	1,29	1,30	1,31	3,50	4,48	4,61	4,71
0,95	0,13	0,13	0,12	2,25	1,37	1,38	1,39	3,55	4,65	4,79	4,90
1,00	0,15	0,15	0,14	2,30	1,45	1,47	1,48	3,60	4,83	4,98	5,09
1,05	0,17	0,17	0,16	2,35	1,54	1,56	1,57	3,65	5,01	5,17	5,29
1,10	0,19	0,19	0,18	2,40	1,63	1,65	1,66	3,70	5,20	5,36	5,49
1,15	0,22	0,21	0,21	2,45	1,72	1,75	1,76	3,75	5,39	5,56	5,70
1,20	0,25	0,24	0,24	2,50	1,82	1,85	1,86	3,80	5,59	5,76	5,91
1,25	0,28	0,27	0,27	2,55	1,92	1,95	1,97	3,85	5,79	5,97	6,12
1,30	0,31	0,30	0,30	2,60	2,02	2,05	2,08	3,90	5,99	6,18	6,34
1,35	0,34	0,33	0,33	2,65	2,13	2,16	2,19	3,95	6,20	6,39	6,56
1,40	0,38	0,37	0,37	2,70	2,24	2,27	2,31	4,00	6,41	6,61	6,79

Näide. Antud: $Q=2{,}0$ m³/sek; $i=5{,}0‰$; $m=2$; $n=0{,}030$. Leida hüdrauliliselt soodsaima profiili h ja b.

Lahendus. Tabelist 5-14 saame: $\delta=9{,}89$. Valemi 5-98 järgi leiame, et

$$h_r=2\sqrt[2,5+y]{\frac{2{,}0\cdot 0{,}030}{9{,}89\sqrt{0{,}005}}}=2\sqrt[2,5+y]{0{,}0862}.$$ Et juuritav avaldis (N) on väiksem kui 0,5, siis $y=1{,}5\sqrt{n}=1{,}5\sqrt{0{,}030}=0{,}26$. Nüüd viime arvutuse lõpuni: $h_r=2\sqrt[2,76]{0{,}0862}=0{,}82$ m. Põhja laius $b_r=\beta_r h_r=0{,}47\cdot 0{,}82=0{,}385$ m.

Mugavam on ülesannet lahendada, kasutades juurimistabelit 5-15, kust N-i ja n-i järgi leitakse h_r. Eelmises ülesandes leitud $N=0{,}0862$ ja $n=0{,}030$ järgi saame selle tabeli esimesest lahtrist $h_r=0{,}82$. Arvutamisel valemiga 5-100 on samuti võimalik kasutada tabelit 5-15; sealt N ja n järgi leitud h'_r tuleb korrutada avaldisega $\frac{\beta+m'}{2(\beta+m)}$; seega otsitav $h=h'_r\frac{\beta+m'}{2(\beta+m)}$.

Voolu sügavuse (h) määramine. Ülesanne lahendatakse kahe võttega. Esiteks määratakse antud Q, n, m ja i järgi hüdrauliliselt soodsaima profiili mõõtmed (h_r ja b_r). Teiseks, lähtudes tingimusest, et voolusängi läbilaskevõime jääks endiseks ($K=$const.), teisendatakse voolusängi profiil, võttes selle mõõtmeteks ülesandes antud põhjalaiuse b ja valemist

$$h=\psi_h h_r \qquad (5\text{-}101)$$

Tabel 5-16

Koefitsient Ψ_h valemis 5-101

$\frac{b}{b_r}$ \ m	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3
0,5	1,17	1,12	1,09	1,07	1,055	1,045	1,04	1,025
0,6	1,14	1,10	1,07	1,05	1,04	1,035	1,03	1,02
0,8	1,06	1,045	1,03	1,02	1,02	1,015	1,015	1,01
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,2	0,95	0,96	0,965	0,975	0,98	0,98	0,985	0,985
1,4	0,90	0,92	0,935	0,95	0,96	0,965	0,97	0,975
1,6	0,86	0,885	0,905	0,925	0,94	0,95	0,955	0,965
1,8	0,82	0,85	0,875	0,90	0,92	0,935	0,945	0,955
2,0	0,785	0,82	0,85	0,88	0,905	0,92	0,93	0,945
2,2	0,75	0,79	0,825	0,86	0,885	0,905	0,915	0,935
2,4	0,72	0,76	0,80	0,84	0,865	0,89	0,905	0,925
2,6	0,69	0,735	0,78	0,82	0,85	0,875	0,895	0,915
2,8	0,66	0,715	0,755	0,80	0,835	0,86	0,88	0,91
3,0	0,63	0,69	0,735	0,785	0,82	0,85	0,87	0,90
3,2	0,61	0,67	0,715	0,77	0,805	0,835	0,86	0,89
3,4	0,59	0,65	0,695	0,755	0,79	0,82	0,85	0,88
3,6	0,57	0,63	0,68	0,735	0,775	0,81	0,835	0,875
3,8	0,55	0,615	0,665	0,72	0,76	0,80	0,825	0,865
4,0	0,535	0,60	0,65	0,705	0,75	0,785	0,815	0,86
4,2	0,52	0,58	0,635	0,69	0,735	0,775	0,805	0,85
4,4	0,505	0,57	0,62	0,675	0,725	0,765	0,795	0,845
4,6	0,49	0,56	0,61	0,665	0,71	0,755	0,785	0,835
4,8	0,48	0,545	0,595	0,655	0,70	0,745	0,775	0,83
5,0	0,47	0,53	0,585	0,645	0,69	0,735	0,77	0,825

saadud voolusügavuse. Koefitsient ψ_h sõltub antud b ja leitud b_r suhtest ning m-st, kuna sõltuvus karedusarvust on väga nõrk ja võib seetõttu jääda arvestamata; ψ_h leitakse tabelist 5-16.

Näide. Antud: $Q=45{,}0$ m³/sek, $i=1{,}0‰$, $m=1{,}75$, $n=0{,}020$, $b=6{,}0$ m; leida h.

Lahendus. Tabelist 5-14 saame $m=1{,}75$ puhul: $\delta=9{,}13$ ja $\beta=0{,}53$.

Valemi 5-98 järgi saame $h_r=2\sqrt[2,5+y]{\frac{Qn}{\delta\sqrt{i}}}=2\sqrt[2,5+y]{\frac{45{,}0\cdot 0{,}020}{9{,}13\cdot\sqrt{0{,}001}}}=2\sqrt[2,5+y]{3{,}11}$. Tabelist 5-15 leiame sellele vastava $h_r=3{,}05$ m. Nüüd arvutame $b_r=\beta_r h_r=$ $=0{,}53\cdot 3{,}05=1{,}62$ m. Suhte $\frac{b}{b_r}=\frac{6{,}0}{1{,}62}=3{,}7$ ja $m=1{,}75$ järgi saame tabelist 5-16 : $\psi_h=0{,}73$ ning seejärel $h=\psi_h h_r=0{,}73\cdot 3{,}05=2{,}22$ m.

Põhja laiuse (b) määramine. See ülesanne lahendatakse analoogiliselt eelmisega. Olles Q, n, m ja i järgi leidnud h_r, arvutatakse põhja laius b valemiga

$$b=\frac{\psi_b h_r^2}{h}-mh, \tag{5-102}$$

kusjuures koefitsient ψ_b sõltub suhtest $\frac{h}{h_r}$ ja m-st ning saadakse tabelist 5-17.

Tabel 5-17

Koefitsient Ψ_r valemis 5-102

$\frac{h}{h_r}$ \ m	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3
0,40	2,38	2,54	2,72	2,94	3,18	3,44	3,72	4,25
0,45	2,23	2,38	2,56	2,77	3,00	3,23	3,48	4,00
0,50	2,12	2,27	2,45	2,65	2,87	3,09	3,33	3,83
0,55	2,04	2,17	2,35	2,55	2,76	2,98	3,21	3,69
0,60	1,98	2,11	2,28	2,47	2,67	2,89	3,12	3,58
0,65	1,94	2,06	2,22	2,41	2,61	2,83	3,05	3,50
0,70	1,90	2,02	2,18	2,36	2,56	2,78	3,00	3,44
0,75	1,88	1,99	2,15	2,33	2,53	2,74	2,96	3,40
0,80	1,86	1,98	2,13	2,31	2,50	2,71	2,93	3,37
0,90	1,84	1,96	2,11	2,29	2,48	2,69	2,90	3,34
1,00	1,83	1,95	2,11	2,28	2,47	2,67	2,88	3,32
1,10	1,84	1,95	2,12	2,29	2,48	—	—	—
1,20	1,85	1,96	—	—	—	—	—	—

Olgu märgitud, et ka antud juhul on võimalik viimasele valemile anda eelmisega (5-101) analoogiline kuju, s. o. $b=\psi'_b br$, kuid see ei ole ratsionaalne seetõttu, et ψ'_b kõikumise diapasoon on liialt suur ja tabel 5-17 kujuneb liiga mahukaks.

III liik. Otsitavad on veejuhtme ristlõike dimensioonid (b, h) ja kalle i; antud on Q, m, n ja V (autori meetod)

Selle ülesande lahendamiseks vajalike valemite saamiseks jätkame eespool alatud ühtlase voolamise põhivalemi (5-92) teisendamist hüdrauliliselt soodsaima profiili puhul ning jõuame tulemuseni:

$$R_r = \sqrt{\frac{Q}{\delta V}} \tag{5-103}$$

ja seega: $$h_r = 2\sqrt{\frac{Q}{\delta V}}, \tag{5-104}$$

kusjuures endiselt $b_r = \beta_r h_r$.

Chézy valemist (5-93) saame teisendamise teel

$$i = \frac{V^2}{C^2 R} = \frac{(Vn)^2}{R^{1+2y}}. \tag{5-105}$$

Näide. Antud: $Q = 5{,}0$ m³/sek; $V = 1{,}2$ m/sek; $m = 1{,}5$; $n = 0{,}030$.
Leida: h_r, b_r ja i.

Lahendus. Tabelist 5-14 saame m-i järgi: $\delta = 8{,}42$ ja $\beta = 0{,}61$. $R_r = \sqrt{\frac{Q}{\delta V}} = \sqrt{\frac{5{,}0}{8{,}42 \cdot 1{,}2}} = 0{,}703$ m; $h_r = 2R_r = 2 \cdot 0{,}703 = 1{,}406$ m; $b_r = \beta_r h_r = 0{,}61 \cdot 1{,}406 = 0{,}86$ m. Tabelist 5-6 saame $C = 30{,}4 \cdot i = \frac{V^2}{C^2 \cdot R} = \frac{1{,}2^2}{30{,}4^2 \cdot 0{,}703} = 0{,}0022$.

Ümardame põhja laiuse 1,0 m-ni ja leiame sellele vastava h, kasutades selleks valemit 5-101 ja tabelit 5-16. Suhe $\frac{b}{b_r} = \frac{1{,}00}{0{,}86} = 1{,}16$; tabelist 5-16 saame sellele vastava $\psi_h = 0{,}97$, seega $h = 0{,}97 \cdot 1{,}406 = 1{,}36$ m.

IV liik. Otsitav on V

Voolu kiiruse V määramiseks tuleb kasutada vastavalt ülesande liigile ja andmestikule kas valemit $V = \frac{Q}{\omega}$ või Chézy valemit $V = C\sqrt{Ri}$ (valem 5-93).

Ülesannete graafiliseks lahendamiseks kasutatakse nomogramme. MK III köites on antud küllaldane kogus selliseid nomogramme, millega on võimalik lahendada kõiki eespool mainitud ülesandeid. Nomogrammide juures toodud tekst selgitab nende kasutamist; ühtlasi on seal toodud ka kõigi tüüpülesannete näidislahendused.

B. Paraboolse ristlõikega veejuhtmed

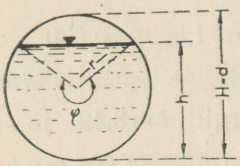
MK II köites on antud voolusängi paraboolse ristlõike elementide tabel (lk. 173... 176), mis võimaldab autori meetodil lahendada lihtsalt kõiki neid ülesandeliike, millest oli juttu eespool. Tabeli juurde kuuluvas seletuskirjas on toodud ka näiteid ülesannete lahendamise kohta.

4. OSALISE TÄITEGA TÖÖTAVAD TORUSTIKUD (KANALISATSIOONI- JA DRENAAŽITORUSTIK JT.)

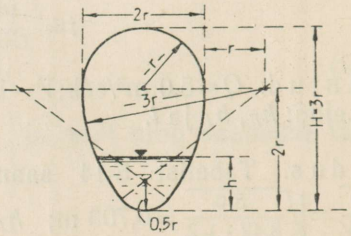
Osalise täitega töötavates torustikes esineb vaba (surveta) voolamine ja seetõttu võib hüdraulilisi arvutusi sooritada samade meetoditega ja valemitega mis lahtisteski veejuhtmetes (vt. § 5-6, p. 3). Kuid arvutuse hõlbustamiseks antakse nendele valemitele tavaliselt iga torustikuliigi jaoks eriline, sobivam kuju.

A. Kanalisatsioonitorustik*

Kasutatakse mitmesugusest materjalist ümmargusi (ringikujulise ristlõikega) ja ovoidaalseid (munakujulise ristlõikega) torusid (vt. joon. 5-17 ja 5-18). Levinum on ümmargune toru, kuna ovoidaalset kasuta-



Joonis 5-17. Ümmargune toru.



Joonis 5-18. Ovoidaalne toru (3:2).

takse peamiselt seal, kus vooluhulga kõikumine on suur. Voolu arvutuslik sügavus (h) võetakse vihmavee puhul ja ühisvoolses kanalisatsioonivõrgus võrdseks toru diameetriga, s. o. toru töötab täistäitega ($h=d$), reovee puhul aga osalise täitega ja nimelt:

kui Ø 150 ... 300 mm, siis h — mitte üle 0,6 d;
„ Ø 350 ... 450 mm, „ h — „ „ 0,7 d;
„ Ø 500 ... 900 mm, „ h — „ „ 0,75 d;
„ Ø >900 mm, „ h — „ „ 0,8 d.

Arvutuslikuks kiiruseks võetakse puhastamata reovee puhul:

kui Ø $\leqslant$ 500 mm — vähemalt 0,7 m/sek;
„ Ø $>$ 500 mm — „ 0,8 m/sek.

Selginud ja bioloogiliselt puhastatud reovee puhul on lubatud kiirus $\geqslant$ 0,5 m/sek.

Kanalisatsioonitorustiku hüdraulilistes arvutustes kasutatakse valemit 5-42, kusjuures hõõrdekoefitsient λ määratakse N. F. Fjodorovi valemiga:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\Delta}{13{,}68R} + \frac{a}{Re} \right), \qquad (5\text{-}106)$$

milles R — hüdrauliline raadius (cm);
Re — Reynoldsi arv (valem 5-41);

* NSV Liidu Ministrite Nõukogu Riikliku Ehituskomitee poolt kinnitatud «Asulate kanalisatsiooni projekteerimise normide ja tehniliste tingimuste» (НиТУ-141-56) järgi.

Δ — toruseina nn. ekvivalentne karedus (cm) ja
a — koefitsient.

Tabel 5-18

Koefitsiendid Δ ja α kanalisatsioonitorustiku jaoks

Toru	Δ (cm)	a
Asbesttsementtoru	0,06	73
Terastoru	0,08	79
Malmtoru	0,1	83
Keraamiline toru	0,135	90
Betoon- ja raudbetoontoru	0,2	100

Kanalisatsioonitorustiku hüdrauliliste arvutuste hõlbustamiseks N. F. Fjodorovi valemi järgi on koostatud nomogramm XXIX (MK III) ning spetsiaaltabelite kogumikud [12], mida võib kasutada ülesannete lahendamiseks tavalistes tingimustes, nimelt kui reovee temperatuur on ca 10° C ning hõljumite kontsentratsioon ca 500 mg/l.

Täisturbulentse voolamise puhul ($V \geqslant 1{,}5$ m/sek) ning ligikaudsetes arvutustes ka väiksemate kiiruste puhul võib kasutada N. N. Pavlovski valemit (5-48), kus C ja λ vastastikune sõltuvus on esitatud valemi 5-45 näol ning karedusarv n võetakse reovee puhul 0,013 ... 0,014, muudel juhtudel tabeli 5-5 järgi. Sel juhul toimub ülesannete lahendamine alljärgnevate tabelite (5-19, 5-20) abil, milles $A = \frac{V}{V_0}$ — suhteline

Tabel 5-19

Suhteline kiirus ja vooluhulk osalise täitega töötavates torustikes

Suhteline sügavus $\eta = \frac{h}{d}$ või $\eta = \frac{h}{H}$	Ümmargune toru (n=0,011 ... 0,015)		Ovoidaalne toru 3:2* (n=0,013)	
	Suhteline kiirus $A = \frac{V}{V_0}$	Suhteline vooluhulk $B = \frac{Q}{Q_0}$	Suhteline kiirus $A = \frac{V}{V_0}$	Suhteline vooluhulk $B = \frac{Q}{Q_0}$
0,05	0,265	0,005	0,260	0,014
0,10	0,410	0,021	0,424	0,018
0,15	0,525	0,049	0,536	0,040
0,20	0,622	0,089	0,628	0,072
0,25	0,706	0,138	0,702	0,111
0,30	0,781	0,197	0,769	0,159
0,35	0,846	0,264	0,829	0,216
0,40	0,904	0,338	0,883	0,278
0,45	0,956	0,417	0,930	0,348
0,50	1,000	0,500	0,975	0,423
0,55	1,038	0,585	1,012	0,501
0,60	1,071	0,671	1,043	0,585
0,65	1,097	0,755	1,075	0,672
0,70	1,117	0,835	1,098	0,755
0,75	1,130	0,909	1,118	0,839
0,80	1,136	0,975	1,130	0,917
0,85	1,134	1,027	1,135	0,983
0,90	1,121	1,063	1,130	1,037
0,95	1,093	1,072	1,109	1,062
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000

* Toru vertikaal- ja horisontaaldiameetri suhe.

kiirus; $B=\frac{Q}{Q_0}$ — suhteline vooluhulk, kus V_0 ja Q_0 — voolu kiirus ja vooluhulk torus täistäite puhul; V ja Q — voolu kiirus ja vooluhulk torus osalise täite puhul. W_0 ja K_0 tähendus on antud tabelis 5-20. (Tabelites esinevad muud suurused selguvad joonistelt 5-17 ja 5-18.)

Ülesannete liigid

I liik. Otsitavad on Q ja V

$$Q=B K_0\sqrt{i} \qquad (5\text{-}107)$$

$$V=A W_0\sqrt{i} \qquad (5\text{-}108)$$

II liik. Otsitav on i

Tabelist 5-19 leiame η järgi B ja tabelist 5-20 saame d järgi K_0-i ning valemiga 5-107 arvutame: $i=\frac{Q^2}{B^2K_0^2}$.

III liik. Otsitav on d või H

Valemist 5-107 saame: $K_0=\frac{Q}{B\sqrt{i}}$ ja tabelist 5-20 leiame K_0-i ja n-i järgi d või H.

IV liik. Otsitav on h

Tabelist 5-20 leiame d järgi K_0-i; valemist 5-94 saame: $K=\frac{Q}{\sqrt{i}}$; seejärel arvutame: $B=\frac{Q}{Q_0}=\frac{K\sqrt{i}}{K_0\sqrt{i}}=\frac{K}{K_0}$; tabelist 5-19 leiame B järgi η ja lõpuks arvutame: $h=\eta H$ või: $h=\eta d$.

Näide 1. Antud: $d=400$ mm; $i=1{,}5‰$; $n=0{,}013$; $h=0{,}30$ m.
Leida Q ja V.

Lahendus. $\eta=\frac{h}{d}=\frac{0{,}30}{0{,}40}=0{,}75$; tabelist 5-19 saame η järgi: $B=0{,}909$ ja $A=1{,}130$ ning tabelist 5-20 leiame d järgi: $K_0=2{,}15$ ja $W_0=17{,}14$. Nüüd arvutame otsitavad suurused: $Q=0{,}909\cdot 2{,}15\cdot\sqrt{0{,}0015}=0{,}0756$ m³/sek; $V=1{,}130\cdot 17{,}14\cdot\sqrt{0{,}0015}=0{,}75$ m/sek.

Näide 2. Antud: $Q=0{,}120$ m³/sek; $i=2{,}0‰$; $n=0{,}013$; $\eta=0{,}70$.
Leida ovoidaalse toru mõõde H (kõrgus).

Lahendus. Tabelist 5-19 leiame η järgi: $B=0{,}755$; $K_0=\frac{0{,}120}{0{,}755\sqrt{0{,}002}}=$ $=3{,}55$, mille järgi tabelist 5-20 saame: $H\approx 0{,}60$ m.

B. Drenaažitorustik

Drenaažitorustik ehitatakse tavaliselt savi-, frees- ja laudtorudest. Arvutusalused on nende kõigi puhul ühesugused, vahe on vaid toru ristlõike kujus ja karedusarvus.

Savitorud

Drenaažisüsteemide projekteerimisel kuuluvad hüdraulilise arvutuse alla ainult kollektorid, mille läbimõõduks võetakse 50, 75, 100, 125, 150, 175 ja 200 mm. Arvutustes kasutatakse ühtlase voolamise põhivalemit (5-92), lähtudes seejuures kas toru täiest ristlõikest või toru maksimaalse läbilaskevõimega töötamise tingimustest, s. o. kui voolu sügavus (h) on

Tabel 5-20

W_o ja K_o torustike jaoks

Toru diameeter d (m)	Ümmargune toru						Ovoidaalne toru (3:2)		
	$n=0{,}011$		$n=0{,}013$		$n=0{,}015$		Toru kõrgus H (m)	$n=0{,}013$	
	$W_0=C_0\sqrt{R_0}$	$K_0=\omega_0 C_0\sqrt{R_0}$	$W_0=C_0\sqrt{R_0}$	$K_0=\omega_0 C_0\sqrt{R_0}$	$W_0=C_0\sqrt{R_0}$	$K_0=\omega_0 C_0\sqrt{R_0}$		$W_0=C_0\sqrt{R_0}$	$K_0=\omega_0 C_0\sqrt{R_0}$
0,15	11,45	0,20	8,98	0,16	7,32	0,13	0,30	10,82	0,50
0,20	13,73	0,43	10,85	0,34	8,87	0,28	0,375	12,66	0,91
0,25	15,81	0,78	12,58	0,62	10,35	0,51	0,45	14,43	1,52
0,30	17,75	1,25	14,18	1,00	11,69	0,83	0,525	16,22	2,33
0,35	19,55	1,88	15,72	1,51	13,00	1,25	0,60	18,03	3,31
0,40	21,26	2,67	17,14	2,15	14,23	1,79	0,675	19,48	4,43
0,45	22,91	3,64	18,52	2,94	15,43	2,45	0,75	21,31	6,12
0.50	24,48	4,81	19,82	3,89	16,55	3,25	0,825	22,73	7,90
0.60	27,46	7,76	22,38	6,33	18,74	5,30	0,90	24,19	10,00
0.70	30.33	11.67	24,73	9,52	20,77	7,99	0,975	25,59	12,42
0.80	32.97	16.58	26,98	13,57	22,75	11,44	1,05	27,03	15,21
0,90	35,52	22,60	29,13	18,53	24,62	15,66	1,125	28,41	18,36
1,00	37,96	29,82	31,20	24,50	26,45	20,77	1,20	29,34	21,55
1,10	40.31	38,31	33,24	31,59	28,19	26,79	1,35	32,17	29,93
1,20	42,58	48.16	35,18	39,79	29,89	33,81	1.50	34,43	42,69
1,30	44,78	59,44	37.05	49,18	31,53	41,85	1,65	37,00	51,43
1,40	46.93	72.24	38,92	59.92	33,16	51,05	1,80	38,92	64,39
1,50	49,00	86,59	40,70	71,92	34,72	61,36	1,95	40,48	78,58
							2,10	42,68	92,19
							2,25	44,81	115,8

Märkus: W_0, K_0, ω_0, C_0 ja R_0 vastavad toru täistäitele.

95% diameetrist. Viimasel juhul $\omega = 0{,}7707\,d^2$ ja $R = 0{,}2865\,d$. Chézy koefitsient arvutatakse tavaliselt valemiga $C = \frac{R^{1/6}}{n}$, milles karedusarvuks (n) võetakse 0,013 (paremates tingimustes 0,012).

Asetades eespool toodud ω, R-i ja C avaldised valemisse 5-92, saame pärast tegurite korraldamist:

$$Q = 25{,}76\, d^{8/3}\sqrt{i}\,, \tag{5-109}$$

milles Q — vooluhulk (m³/sek),
d — toru diameeter (m) ja
i — torustiku kalle.

Praktikas lahendatakse hüdraulilised ülesanded tavaliselt nomogrammiga (MK III, nomogramm XXII-A).

Freestorud

Puidust freesimise teel valmistatud torude karedus on mõningal määral suurem kui savitorudel. Sõltuvalt freesimise kvaliteedist võib n suuruseks võtta 0,013 ... 0,015. Kõiges muus on hüdrauliliste ülesannete lahendamine analoogiline samasuguste ülesannete lahendamisega savitorude puhul.

Laudtorud

Laudadest on võimalik drenaažitoru valmistada väga mitmesuguseis mõõtmeis.

Meie projekteerimisorganisatsioonides ja maaparanduspraktikas kasutatakse järgmiste sisemõõtmetega laudtorusid (mm): 38×52, 48×62 62×62, 62×82, 72×82, 82×102 ja 102×102.

Et laudtorusid kasutatakse ainult turbas, kus toru sisepind kattub limakelmega, kujuneb toru hüdrauliline karedus väiksemaks kui hööveldamata laual, ning seda võib hinnata karedusarvuga 0,013.

Arvutades C suuruse N. Pavlovski järgi ning eeldades, et maksimaalse veetaseme ja kaane vahele jääb veel väike pilu, kujuneb arvutusvalem järgmiseks:

$$Q = \frac{b\,h}{0{,}013}\left(\frac{b\,h}{b+2h}\right)^{0{,}653}\sqrt{i}\ (\text{m}^3/\text{sek}), \tag{5-110}$$

kus laudtoru sisemised mõõtmed on:

b — laius (m); h — kõrgus (m).

5. VOOLU LUBATAV KIIRUS

A. Lubatava kiiruse ülempiir (maksimaalne lubatav kiirus)

Et vältida uhtumist, ei või kiirus veejuhtmes ületada teatud piiri. Lubatava kiiruse ülempiir sõltub voolusängi materjalist ning selle täpne suurus määratakse kindlaks katseliselt. Ligikaudu võib sellena kasutada alljärgnevates tabelites toodud suurusi (tabelid 5-21 ... 5-25).

Tabel 5-21

Voolu lubatava kiiruse ülempiir pudedates mineraalpinnastes

(NSV Liidu Teede Ministeeriumi «Glavtransprojekti» normid, 1952)

Pinnase iseloomustus		Pinnase-osakeste suurus (mm)	Voolu keskmine sügavus (m)			
Fraktsiooni nimetus	Erimid		0,4	1,0	2,0	⩾3,0
			Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
1. Tolm ja ibe	Tolm ja ibe peene liivaga; põllumuld	0,005 ... 0,05	0,15 ... 0,20	0,20 ... 0,30	0,25 ... 0,40	0,30 ... 0,50
2. Peen liiv	Lisandiks keskmine liiv	0,05 ... 0,25	0,20 ... 0,35	0,30 ... 0,45	0,40 ... 0,55	0,45 ... 0,65
3. Keskmine liiv	Peen liiv sauega. Lisandiks jäme liiv	0,25 ... 1,00	0,35 ... 0,50	0,45 ... 0,60	0,55 ... 0,70	0,60 ... 0,80
4. Jäme liiv	Lisandiks kruus. Keskmine liiv sauega	1,00 ... 2,50	0,50 ... 0,65	0,60 .. 0,75	0,70 ... 0,80	0,75 ... 0,95
5. Peen kruus	Lisandiks keskm. kruus	2,50 ... 5,0	0,65 ... 0,80	0,75 .. 0,85	0,80 ... 1,00	0,90 ... 1,15
6. Keskmine kruus	Jäme kruus liiva ja peene kruusaga	5 ... 10	0,80 ... 0,90	0,85 ... 1,05	1,00 .. 1,15	1,10 ... 1,35
7. Jäme kruus	Peen rähk liiva ja kruusaga	10 ... 15	0,90 ... 1,10	1,05 ... 1,20	1,15 .. 1,35	1,30 ... 1,60
8. Peen rähk	Keskmine rähk liiva ja kruusaga	15 ... 25	1,10 ... 1,25	1,20 ... 1,45	1,35 ... 1,65	1,50 ... 1,90 ..
9. Keskmine rähk	Jäme rähk kruusalisandiga	25 ... 40	1,25 ... 1,50	1,45 ... 1,85	1,65 ... 2,10	1,85 .. 2,40
10. Jäme rähk	Peened munakad räha ja kruusaga	40 ... 75	1,50 ... 2,00	1,85 ... 2,40	2,10 ... 2,75	2,30 ... 3,20
11. Peened munakad	Keskmised munakad rähaga	75 ... 100	2,00 ... 2,45	2,40 ... 2,80	2,75 ... 3,20	3,10 ... 3,60
12. Keskmised munakad	Keskmised munakad jämedama lisandiga; jämedad munakad peenema lisandiga	100 ... 150	2,45 ... 3,00	2,80 ... 3,35	3,20 ... 3,75	3,50 ... 4,20
13. Jämedad munakad	Lisandiks rähka	150 ... 200	3,00 ... 3,50	3,35 ... 3,80	3,75 ... 4,30	4,10 ... 4,80

Märkused.

1. Lahtrites antud kiiruse alammäär vastab pinnaseosakeste suuruse alammäärale, ülemmäär pinnaseosakeste suuruse ülemmäärale.

2. Tabelis esinevaid kiirusi ei interpoleerita; pinnaseosakeste ja voolu sügavuste vahepealsete suuruste puhul tuleb kiirus võtta pinnaseosakeste ja voolu sügavuste lähema tabelisuuruse järgi.

3. Erineva suurusega pinnaseosakeste puhul võetakse lubatava kiiruse määramisel aluseks pinnaseosakeste kaalutud keskmine suurus.

Tabel 5-22

Voolu lubatava kiiruse ülempiir sidusates mineraalpinnastes
(NSV Liidu Teede Ministeeriumi «Glavtransprojekti» normid, 1952)

Pinnase-liik	Saue-osakesi (Ø<0,005 mm) %	Tolmu-osakesi (Ø 0,005 ... 0,05 mm) %	Pinnase tihedus ja mahukaal γ (t/m³)	Voolu keskmine sügavus (m)			
				0,4	1,0	2,0	⩾3,0
				Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
1. Savi	30 ... 50	70 ... 50	Väike; γ=0,9 ... 1,2	0,35	0,40	0,45	0,50
2. Raske liivsavi	20 ... 30	80 ... 70	Keskmine; γ=1,2 ... 1,66	0,70	0,85	0,95	1,10
			Suur; γ=1,66 ... 2,04	1,00	1,20	1,40	1,50
			Väga suur; γ=2,04 ... 2,14	1,40	1,70	1,90	2,10
3. Kerge liivsavi		90 ... 80	Väike; γ=0,9 ... 1,2	0,35	0,40	0,45	0,50
	10 ... 20		Keskmine; γ=1,2 ... 1,66	0,65	0,80	0,90	1,00
			Suur; γ=1,66 ... 2,04	0,95	1,20	1,40	1,50
			Väga suur; γ=2,04 ... 2,14	1,40	1,70	1,90	2,10
4. Saviliiv	5 ... 10	20 ... 40	Eelmise tabeli (5-21) järgi, sõltuvalt liiva jämedusest.				

Märkused.

1. Tabeli arvusid ei interpoleerita; vahepealsete voolu sügavuste puhul võtta kiirus voolu lähema sügavuse järgi.
2. Pinnastes, milles esineb jämedaid fraktsioone (liiva, kruusa jne.) sedavõrd palju, et siduv komponent (sau) ainult täidab poore terade vahel, võetakse lubatav kiirus pudedate pinnaste järgi (tabel 5-21) sõltuvalt nende osakeste suurusest.

Tabel 5-23

Voolu lubatava kiiruse ülempiir kaljupinnastes
(NSV Liidu Teede Ministeeriumi «Glavtransprojekti» normid, 1952)

Pinnase (kivimi) nimetus	Voolu keskmine sügavus (m)			
	0,4	1,0	2,0	⩾3,0
	Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
1. Konglomeraat, mergel, kiltkivi	2,0	2,5	3,0	3,5
2. Poorne lubjakivi, kihiline lubjakivi, dolomiitne lubjakivi	3,0	3,5	4,0	4,5

Märkused.

1. Vt. märkust nr. 1 — tabeli 5-22 juurde.
2. Lõhestunud ja murenenud kivimites tuleb lubatavat kiirust vähendada 10 ... 15%, sõltuvalt kivimi struktuuri säilimisest; täiesti murenenud kivimite jaoks määrata lubatav kiirus pudedate pinnaste (vt. tab. 5-21) kohaselt.

Tabel 5-24

Voolu lubatava kiiruse ülempiir turbas
(«Glavvodhozi» NTT-1957 ja teiste allikate* järgi)

Turba iseloomustus	Voolu keskmine sügavus (m)			
	0,4	1,0	2,0	⩾ 3,0
	Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
1. Sfagnumiturvas, vähe lagundunud	0,90	1,20	1,45	1,65
2. Sfagnumi-villpeaturvas, vähe lagundunud	1,15	1,50	1,85	2,10
3. Sfagnumiturvas, lagundunud	0,4 . . . 0,6	0,5 . . . 0,8	0,6 . . . 1,0	0,7 . . . 1,1
4. Tarna-hüpnumiturvas, vähe lagundunud	0,6 . . . 0,75	0,8 . . . 1,0	1,0 . . . 1,2	1,1 . . . 1,3
5. Tarna-hüpnumiturvas, lagundunud	0,3 . . . 0,5	0,4 . . . 0,7	0,5 . . . 0,85	0,55 . . . 0,95
6. Metsaturvas (puuturvas)	0,25 . . . 0,35	0,3 . . . 0,5	0,35 . . . 0,60	0,4 . . . 0,7
7. Osjaturvas	0,50 . . . 0,65	0,7 . . . 0,9	0,85 . . . 1,1	0,95 . . . 1,2
8.* Sfagnumiturvas, 40% lagundunud	1,20	1,5	1,7	1,85
9.* Metsaturvas, 80% lagundunud	0,5	0,6	0,7	0,75
10.* Hüpnumi-tarnaturvas, 40% lagundunud	1,65	2,0	2,3	2,5
11.* Osjaturvas, 40% lagundunud	0,6	0,7	0,8	0,85

Tabel 5-25

Voolu lubatava kiiruse ülempiir kindlustatud voolusängides

(NSV Liidu Teede Ministeeriumi «Glavtransprojekti» normid, 1952, ja «Glavvodhozi» NTT-1957 *)

Kindlustise liik	Voolu keskmine sügavus (m)			
	0,4	1,0	2,0	⩾3,0
	Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
1. Mätastus lapiti (värske)	0,6	0,8	0,9	1,0
2. „ „ (tihedal alusel)	0,9	1,2	1,3	1,4
3. „ seinana	1,5	1,8	2,0	2,2
4. Kivipuiste munakatest või lõhutud kividest, olenevalt kivi suurusest	Tabeli 5-21 järgi, koefitsiendiga 0,90			
5. Kivipuiste kahes kihis, punutud kärgedes, olenevalt kivi suurusest	Tabeli 5-21 järgi, koefitsiendiga 1,10			
6. Ühekordne munakivisillutis samblal (samblakiht vähemalt 5 cm):				
a) munakad Ø 15 cm	2,0	2,5	3,0	3,5
b) „ Ø 20 „	2,5	3,0	3,5	4,0
c) „ Ø 25 „	3,0	3,5	4,0	4,5
7. Lõhutud kividest ühekordne kivisillutis killustikul (killustikukiht vähemalt 10 cm):				
a) kivi Ø 15 cm	2,5	3,0	3,5	4,0
b) „ Ø 20 „	3,0	3,5	4,0	4,5
c) „ Ø 25 „	3,5	4,0	4,5	5,0

Tabel 5-25 (järg)

Kindlustise liik	Voolu keskmine sügavus (m)			
	0,4	1,0	2,0	⩾3,0
	Lubatava kiiruse ülempiir (m/sek)			
8. Lõhutud kividest kahekordne kivisillutis killustikul (alumise kihi kivide Ø 15 cm, ülemise kihi kivide Ø 20 cm, killustikukiht 10 cm)	3,5	4,5	5,0	5,5
9. Hagukate tihedal alusel (ajutiseks kindlustamiseks): a) katte paksus $\delta=20\ldots$ $\ldots 25$ cm	—	2,0	2,5	—
b) teistsuguse paksuse puhul	Eelmise rea järgi, koefitsiendiga $0{,}2\sqrt{\delta}$			
10. Fašiinmadratsid a) paksusega $\delta=50$ cm	2,5	3,0	3,5	—
b) teistsuguse paksuse puhul	Eelmise rea järgi, koefitsiendiga $0{,}15\sqrt{\delta}$			
11. Gabioonid (minimaalsed mõõtmed 0,5×0,5×1,0 m)	kuni 4,0	kuni 5,0	kuni 5,5	kuni 6,0
12. Kivimüüritis lubjakividest (tugevuspiir vähemalt 100 kg/cm²)	3,0	3,5	4,0	4,5
13. Kivimüüritis kõvadest kividest (tugevuspiir vähemalt 300 kg/cm²)	6,5	8,0	10,0	12,0
14. Betoonvooderdis (mark 200)	6,5	8,0	9,0	10,0
„ mark 150	6,0	7,0	8,0	9,0
„ mark 100	5,0	6,0	7,0	7,5
15. Puitrennid, siledad, kindlal alusel (veevool piki puukiudu)	8	10	12	14
16.* Roigas- (latt-) sein ja kate	3,0	3,2	3,4	3,5

Märkused.

1. Kiiruste tabeliväärtused kehtivad normaalsetes geoloogilistes tingimustes ja tehnilistele tingimustele vastavalt ehitatud kindlustise puhul. Ebasoodsates geoloogilistes ja töötamistingimustes tuleb kiiruse tabeliarvusid vastavalt vähendada.
2. Ligikaudsetel arvutustel võib kasutada voolu sügavusele 0,4 m vastavaid kiirusi.
3. Vt. märkust 1 tabeli 5-22 juures.

B. Lubatava kiiruse alampiir (minimaalne lubatav kiirus)

Liiga väikese kiiruse puhul toimub veejuhtmes intensiivne uhtmete settimine (veejuhtme mudastumine) ja veetaimestiku kasv. Nende ebasoovitavate nähtuste vältimiseks ei või kiirus veejuhtmes langeda alla teatava piiri. Et vältida veetaimestiku intensiivset kasvu, peab kiirus olema vähemalt 0,5 m/sek. Kiiruse alampiiriks, mille puhul ei esine intensiivset settimist (veejuhtme mudastumist), peetakse orienteerivalt 0,20 m/sek. Täpsemalt on see nn. mittemudastav kiirus (V_m) määratav E. Zamarini valemiga (ГОСТ 3908-47):

$$V_m = A\,Q^{0,2}, \qquad (5\text{-}111)$$

milles Q — vooluhulk (m³/sek);

A = 0,33, kui $W < 1{,}5$ mm/sek;
A = 0,44 „ $W = 1{,}5 \ldots 3{,}5$ mm/sek;
A = 0,55 „ $W > 3{,}5$ mm/sek, kus W — uhtmete kaalutud keskmine hüdrauliline jämedus.

W määratakse valemiga: $W = \frac{\Sigma p_i W_i}{100}$, (5-112)

kus p_i — üksikute fraktsioonide sisaldus (kaaluprotsentides) uhtmete granulomeetrilises koostises ja
W_i — vastava fraktsiooni keskmine hüdrauliline jämedus mm/sek, mis arvutatakse valemiga:

$$W_i = \frac{W_1 + W_2 + \sqrt{W_1 W_2}}{3} \qquad (5\text{-}113)$$

milles W_1 ja W_2 — antud fraktsiooni hüdraulilise jämeduse piirväärtused.

Tabel 5-26

Uhtmete hüdrauliline jämedus (+10° C puhul)*

Osakeste läbimõõt (mm)	0,01	0,05	0,1	0,15	0,20	0,3	0,5	1,0	2,0
Hüdrauliline jämedus (mm/sek)	0,049	1,23	5,12	11,50	17,11	28,3	50,7	106,7	190

* Uhtmete langemise (settimise) kiirus liikumatus vees.

Drenaažitorustiku ummistumise vältimiseks ei tohi kalle ja kiirus olla väiksemad tabelis 5-27 toodud suurustest (kiirus arvestatud toru 95%-lise täite puhul).

Tabel 5-27

Savitorudreenides ja -kollektorites lubatav minimaalne voolu kiirus ja kalle

Pinnaseliik	Savitorude läbimõõt (mm)							
	40	50	75	100	125	150	175	200
1. Vesiliiv ja peenliiv (domineeriv Ø 0,25 ... 0,05 mm)	—	0,30 / 4,5	0,34 / 3,5	0,38 / 3,0	0,42 / 2,5	0,44 / 2,2	0,47 / 2,1	0,50 / 2,0
2. Mineraalpinnased ja turvas, mis sisaldavad liikuvaid rauа- ja väävliühendeid	—	0,27 / 3,5	0,32 / 3,0	0,35 / 2,5	0,38 / 2,2	0,42 / 2,0	0,45 / 1,9	0,48 / 1,8
3. Liiv ja saviliiv (osakesi Ø ≤ 0,01 mm alla 20%)	0,25 / 4,0	0,25 / 3,0	0,29 / 2,5	0,33 / 2,2	0,36 / 2,0	0,39 / 1,8	0,43 / 1,7	0,46 / 1,7
4. Liivsavi (osakesi Ø ≤ 0,01 mm 20 ... 50%) ja turvas	0,22 / 3,3	0,22 / 2,5	0,28 / 2,2	0,32 / 2,0	0,34 / 1,8	0,37 / 1,6	0,40 / 1,6	0,45 / 1,6
5. Savi (osakesi Ø ≤ 0,01 mm üle 50%)	0,21 / 3,0	0,21 / 2,2	0,27 / 2,0	0,30 / 1,8	0,32 / 1,6	0,35 / 1,5	0,39 / 1,5	0,43 / 1,5

Märkus. Lugejas minimaalne lubatav kiirus (m/sek). Nimetajas minimaalne lubatav kalle (‰).

§ 5-7. EBAÜHTLANE VOOLAMINE LAHTISTES VEEJUHTMETES

1. ÜLDMÕISTED

Voolamist nimetatakse e b a ü h t l a s e k s, kui piki veejuhet voolu kiirus muutub, kuigi vooluhulk on konstantne.

Ebaühtlasel voolamisel võib esineda kolm nähtust:

1) **paisutus**, s. o. voolu sügavus suureneb ning kiirus väheneb voolu suunas; selle nähtuse puhul esinevat veepinna kuju nimetatakse p a i s j o o n e k s;

2) **alang**, s. o. voolu sügavus voolu suunas väheneb ning kiirus kasvab; selle nähtuse puhul esinevat veepinna kuju nimetatakse l a n g j o o n e k s;

3) **voolu- ehk hüdrauliline hüpe**, s. o. järsk üleminek käredalt voolamiselt (väikeselt sügavuselt ja suurelt kiiruselt) rahulikule voolamisele (suurele sügavusele ja väikesele kiirusele).

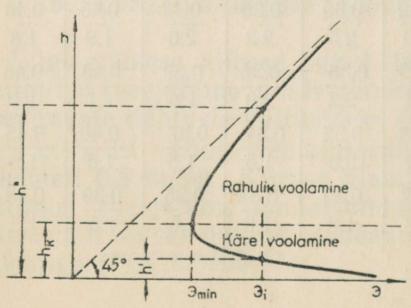
Ebaühtlane voolamine esineb nii looduslikes ebakorrapärase kujuga voolusängides (mitteprismaatilistes voolusängides) kui ka korrapärase voolusängiga veejuhtmetes (prismaatilistes voolusängides). Erinevalt ühtlasest voolamisest võib siin esineda päri- ehk positiivse kaldega ($i>0$), kaldeta ehk nullkaldega ($i=0$) ning vastukaldega ehk negatiivse kaldega ($i<0$) voolusänge.

2. PROFIILI ERIENERGIA, VOOLU KRIITILINE SÜGAVUS

Eespool (§ 5-3, p. 3) tutvusime mõistega voolu erienergia (vt. valem 5-39), mille all mõisteti avaldist $E=Z+\frac{p}{\gamma}+\frac{\alpha V^2}{2g}$. Kui võrdlustasemeks võtta voolusängi profiili põhja madalaim punkt, siis selle avaldise parema poole kaks esimest liiget kokku $\left(Z+\frac{p}{\gamma}\right)$ annavad voolu sügavuse, mida võib märkida nagu tavaliselt tähega h. Avaldise parem pool kujuneb siis järgmiseks: $h+\frac{\alpha V^2}{2g}$. Sellist avaldist nimetatakse p r o f i i l i e r i e n e r g i a k s ning tähistatakse lühidalt tähega Θ. Seega:

$$\Theta=h+\frac{\alpha V^2}{2g}. \qquad (5\text{-}114)$$

Muutes voolu sügavust h, muutub V ja muutub ka Θ; h ja Θ vastastikust sõltuvust kujutab graafik joonisel 5-19. Graafik on kaheharuline; mõlemad harud suunduvad lõpmatusse, lähenedes asümptootiliselt (vähehaaval): 1) Θ-teljele ja 2) 45°-lise nurga all tõmmatud kaldjoonele. Voolu sellist sügavust, millele vastab profiili erienergia minimaalne väärtus (Θ min), nimetatakse v o o l u k r i i t i l i s e k s s ü g a v u s e k s ning märgitakse tähega h_k (vt. joon. 5-19).



Joonis 5-19. Profiili erienergia graafik.

Kui profiili erienergia on suurem tema minimaalsest väärtusest, siis vastab sellele alati kaks erinevat voolu sügavust (joonisel h' ja h''). Seega võib voolusängi ühe ja sama profiili, ühe ja

sama vooluhulga ning profiili erienergia puhul toimuda voolamine kahe erineva sügavusega, millest üks on väiksem, teine aga suurem kui voolu kriitiline sügavus. Esimest juhtu nimetatakse käredaks voolamiseks (voolamine on väikese sügavuse tõttu väga kiire, rahutu, käre), teist aga rahulikuks voolamiseks (voolamine on suure sügavuse tõttu aeglane, rahulik). Seega vastab käre voolamine Э-graafiku alumisele harule, rahulik aga ülemisele harule. Voolu kriitilise sügavuse h_k määramise põhivalem on:

$$\frac{\omega_k^3}{B_k} = \frac{\alpha Q^2}{g}, \tag{5-115}$$

milles Q — vooluhulk (m^3/sek);
g — raskuskiirendus (m/sek^2);
α — Coriolise koefitsient ja
ω_k ja B_k — voolu kriitilisele sügavusele vastav elavlõige (m^2) ja voolu laius (m).

Valemist 5-115 on voolu kriitilist sügavust (h_k) võimalik avaldada vaid alljärgnevatel lihtsamatel juhtudel.

Ristkülikukujulise profiiliga voolusängi puhul teisendub valem 5-115 järgmiseks:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}}, \tag{5-116}$$

kus b — voolusängi põhja laius (m).

Kui $\alpha = 1{,}0$, siis valemist 5-116 saame: $h_k = 0{,}467\left(\frac{Q}{b}\right)^{2/3}$
„ $\alpha = 1{,}1$ „ „ „ „ $h_k = 0{,}482\left(\frac{Q}{b}\right)^{2/3}$ (5-117)

Kolmnurkse profiiliga voolusängi puhul kujuneb valemiks:

$$h_k = \sqrt[5]{\frac{2\alpha Q^2}{g m^2}}, \tag{5-118}$$

kus m — nõlvuskoefitsient.

Paraboolse profiiliga voolusängi puhul on valem järgmine:

$$h_k = \sqrt[4]{\frac{27\alpha Q^2}{64 g p}}, \tag{5-119}$$

kus p — parabooli parameeter.

Kui $\alpha = 1{,}0$, siis valemist 5-119 saame: $h_k = 0{,}456\sqrt[4]{\frac{Q^2}{p}}$;
kui $\alpha = 1{,}1$ „ „ „ „ $h_k = 0{,}466\sqrt[4]{\frac{Q^2}{p}}$ (5-120)

Kõigi teistsuguste voolusängide puhul saab valemist 5-115 määrata h_k-d vaid järkjärgulise lähenemise teel.

Lihtsaimaks analüütiliseks meetodiks h_k määramiseks trapetsikujulise profiiliga voolusängi jaoks on I. Agroskini meetod, mis seisneb järgmises:

1) valemiga 5-116 (või 5-117) arvutatakse voolu kriitiline sügavus ristkülikukujulise profiili jaoks, võttes selle põhja laiuseks b; olgu see h^0_k;

2) arvutatakse $\sigma=\frac{m}{b}h^0_k$; σ järgi leitakse tabelist 5-28 $f(\sigma)$;

3) arvutatakse $h_k=f(\sigma)h^0_k$, mis ongi otsitav kriitiline sügavus trapetsi puhul.

Näide. Antud: $Q=15{,}0$ m³/sek; $b=3{,}0$ m; $m=1{,}5$; $\alpha=1{,}1$.
Leida h_k.
Lahendus:

$$h^0_k=0{,}482\left(\frac{Q}{b}\right)^{2/3}=0{,}482\cdot\left(\frac{15{,}0}{3{,}0}\right)^{2/3}=1{,}41 \text{ m};$$

$\sigma=\frac{1{,}5}{3{,}0}\cdot 1{,}41=0{,}705$; sellele vastavalt saame tabelist 5-28: $f(\sigma)\approx 0{,}82$; seejärel arvutame kriitilise sügavuse: $h_k=0{,}82\cdot 1{,}41=1{,}15$ m.

Tabel 5-28*

Koefitsient $f(\sigma)$ voolu kriitilise sügavuse määramiseks trapetsikujulise profiiliga voolusängis

σ	$f(\sigma)$	σ	$f(\sigma)$	σ	$f(\sigma)$
0,03	0,99	0,45	0,87	1,15	0,75
0,05	0,98	0,50	0,86	1,23	0,74
0,09	0,97	0,55	0,85	1,31	0,73
0,12	0,96	0,60	0,84	1,40	0,72
0,16	0,95	0,65	0,83	1,49	0,71
0,19	0,94	0,70	0,82	1,59	0,70
0,22	0,93	0,76	0,81	1,69	0,69
0,26	0,92	0,81	0,80	1,80	0,68
0,30	0,91	0,88	0,79	1,92	0,67
0,33	0,90	0,94	0,78	2,04	0,66
0,37	0,89	1,00	0,77	2,16	0,65
0,41	0,88	1,07	0,76		

Kriitilist sügavust trapetsikujulise, ümmarguse ja ovoidaalse profiiliga voolusängis saab määrata ka nomogrammiga XVIII-A (MK III).

3. VEEJUHTME KRIITILINE KALLE

Veejuhtme kriitiliseks kaldeks (i_k) nimetatakse sellist kallet, mille puhul voolu normaalsügavus on võrdne voolu kriitilise sügavusega ($h_0=h_k$).

Kriitiline kalle arvutatakse valemiga

$$i_k=\frac{Q^2}{\omega_k^2 C_k^2 R_k} \tag{5-121}$$

või valemiga

$$i_k=\frac{g\chi_k}{\alpha C_k^2 B_k}, \tag{5-122}$$

kus ω_k, C_k, R_k, χ_k ja B_k on voolu kriitilisele sügavusele vastav elavlõige, Chézy koefitsient, hüdrauliline raadius, veealune perimeeter ja voolu laius.

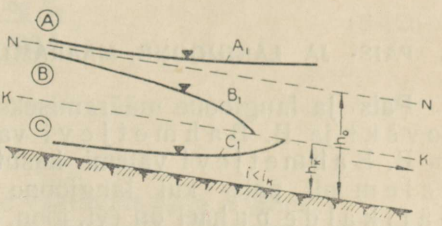
* I. Agroskini antud tabel on käesoleva peatüki autori poolt ümber korraldatud ning täiendatud.

4. PAIS- JA LANGJOONELIIGID NING NENDE ESINEMINE

Pais- ja langjoonte liik (kuju) sõltub peamiselt voolu tegeliku sügavuse vahekorrast voolu normaal- ja kriitilise sügavusega. Vaatleme erijuhtumeid vaid pärikalde puhul ($i>0$).

I. Voolu normaalsügavus (h_0) on kriitilisest sügavusest (h_k) suurem (resp. $i<i_k$; vt. joon. 5-20).

Paisjooneliik A_1. Veepind asub ülevalpool joont N—N (piirkond A), s. t. $h>h_0$. Paisjoone ülemine ots läheneb asümptootiliselt joonele N—N, alumine ots aga horisontaaljoonele. See paisjooneliik esineb kõige sagedamini hüdrotehnilises praktikas: paisude, sildade ja muude hüdrotehniliste ehitiste ees ning seal, kus veejuhtme kalle muutub allapoole väiksemaks.



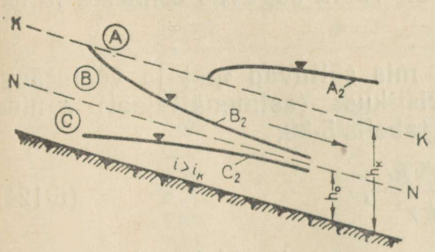
Joonis 5-20. Pais- ja langjooneliigid ($i<i_k$):

N—N — normaalsügavuse joon; *K—K* — kriitilise sügavuse joon; $h_0>h_k$; pidev joon — veepinna kuju.

Langjooneliik B_1. Veepind asub N—N ja K—K joone vahemikus (piirkond B), s. t. $h_k<h<h_0$. Langjoone ülemine ots läheneb asümptootiliselt joonele N—N, alumine ots lõpeb kosena joonel K—K. See langjooneliik esineb samuti nagu paisjoon A_1 väga sageli hüdrotehnilises praktikas: astangute ees ning seal, kus veejuhtme kalle muutub allapoole suuremaks.

Paisjooneliik C_1. Veepind asub allpool joont K—K (piirkond C), s. t. $h<h_k$. Voolu sügavus kasvab voolu suunas ning paisjoon lõpeb vooluhüppega. See paisjooneliik esineb voolamisel varja alt ja allpool ülevoolu eemaldunud vooluhüppe korral (vt. § 5-9, p. 1).

II. Voolu normaalsügavus (h_0) on kriitilisest sügavusest (h_k) väiksem (resp. $i>i_k$; vt. joon. 5-21).



Joonis 5-21. Pais- ja langjooneliigid ($i>i_k$):

(*N—N* ja *K—K* ning teiste tähistuste tähendused on samad mis joonisel 5-20).

Paisjooneliik A_2. Veepind asub ülalpool joont K—K (piirkond A), s. t. $h>h_k$. Paisjoon (ülevalpool) algab vooluhüppega, alumine ots läheneb horisontaaljoonele. See paisjooneliik esineb kõikjal sealsamas kus A_1, kuid ainult sel juhul, kui veejuhtme kalle on suurem kui kriitiline kalle.

Langjooneliik B_2. Veepind asub K—K ja N—N joone vahel (piirkond B), s. t. $h_0<h<h_k$. Langjoone ülemine ots algab kriitilisest sügavusest (kosk) ning alumine ots läheneb asümptootiliselt joonele N—N. See langjooneliik esineb kärendikel ja mujal, kus veejuhtme kalle allapoole muutub järsult suuremaks, kusjuures veejuhtme esimese lõigu kalle $i_1<i_k$ ja teise lõigu kalle $i_2>i_k$.

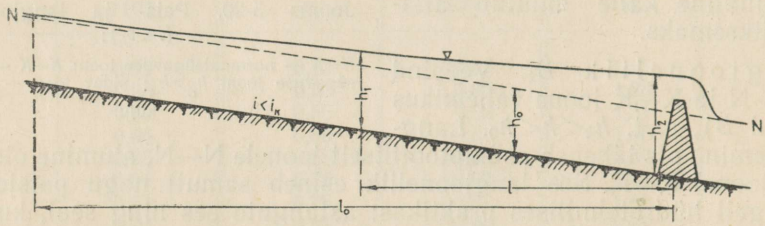
Paisjooneliik C_2. Sügavus voolu suunas suureneb, lähenedes normaalsügavusele. See paisjooneliik esineb voolamisel varja alt suure kaldega alumisse biefi ning neis veejuhtmetes, kus kalle allapoole järsult väheneb, sealjuures aga jääb ikkagi suuremaks kui i_k.

III. Voolu normaalsügavus on võrdne kriitilise sügavusega ($h_0 = h_k$).

Sel juhul võib esineda kaks paisjooneliiki (A_3 ja C_3), mis kujutavad endast enam-vähem sirget joonlõiku.

5. PAIS- JA LANGJOONE MÄÄRAMINE PRISMAATILISTES VOOLUSÄNGIDES

Pais- ja langjoone määramiseks kasutatakse praegusel ajal N. Pavlovski ja B. Bahmetjevi valemeid. Vastavate tabelite olemasolul on B. Bahmetjevi valemi kasutamine mugavam. B. Bahmetjevi valem nii pais- kui langjoone kohta prismaatilistes voolusängides pärikalde puhul on (vt. joon. 5-22):



Joonis 5-22. Paisjoone (A_1) skeem.

$$l = \frac{h_0}{i}\{\eta_2 - \eta_1 - (1-j)[B(\eta_2) - B(\eta_1)]\}, \qquad (5\text{-}123)$$

milles h_0 — voolu normaalsügavus (m);
i — veejuhtme põhja kalle;
l — kaugus esimese ja teise ristlõike vahel (resp. pais- või langjoone pikkus m);
$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ ja $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$, kus h_1 ja h_2 on voolu sügavus esimeses ja teises ristlõikes;
$B(\eta_1)$ ja $B(\eta_2)$ — funktsioonid, mis sõltuvad η-st ja voolusängi nn. hüdraulilisest karakteristikust (astmenäitajast) x ning mille väärtused on esitatud tabelis 5-30;

$$j = \frac{\alpha \bar{C}^2 \bar{B} i}{g \bar{\chi}}, \qquad (5\text{-}124)$$

kusjuures $\bar{C}$, $\bar{B}$ ja $\bar{\chi}$ on vastavalt Chézy koefitsiendi, voolu laiuse ja veealuse perimeetri keskmised väärtused paisjoone (resp. langjoone) ulatusel ja seega vastavad voolu keskmisele sügavusele veejuhtme antud lõigul. Et $g = 9{,}81$ m/sek^2, saame, võttes α suuruseks 1,1, valemile 5-124 lihtsama kuju:

$$j = 0{,}112 \cdot \frac{\bar{C}^2 \bar{B} i}{\bar{\chi}}. \qquad (5\text{-}125)$$

Veejuhtme väikese kalde puhul ($i<2‰$) on j väga väike suurus ning seda võib ligikaudsetes arvutustes võtta võrdseks 0-ga, mille tõttu valem 5-123 muutub lihtsamaks. Et kergendada j-i määramist, tuleb maksimaalselt ära kasutada käesoleva käsiraamatu tabelid ja nomogrammid C, B ja χ määramiseks.

Voolusängi hüdrauliline karakteristik x saadakse avaldisest

$$\left(\frac{\bar{K}}{K_0}\right)^2=\left(\frac{\bar{h}}{h_0}\right)^x.$$

Seega

$$x=2\,\frac{\log \bar{K}-\log K_0}{\log \bar{h}-\log h_0}, \qquad (5\text{-}126)$$

kus h_0 — voolu normaalsügavus (m);

$$\bar{h}=\frac{h_1+h_2}{2};$$

K_0 ja $\bar{K}$ — vooluhulga karakteristikud vastavalt h_0 ja $\bar{h}$ puhul.

Voolusängi hüdraulilist karakteristikut on võimalik lihtsamalt määrata R. Tšugajevi järgi valemiga

$$x=(3+2y)\left(1+\frac{m}{\beta+m}\right)-(1+2y)\,\frac{m'}{\beta+m'}, \qquad (5\text{-}127)$$

milles y — astendaja Pavlovski valemis 5-48 sügavuse $\bar{h}$ puhul;
m — nõlvuskoefitsient ja

$$m'=2\sqrt{1+m^2}\quad \text{(vt. § 5-3, p. 2)};$$

$$\beta=\frac{b}{\bar{h}}.$$

Kuivendussüsteemides tulevad peamiselt ette karedusarvud 0,020... 0,035 ja hüdraulilised raadiused ca 0,5...1,5 (2,0) m, mille puhul $y=0{,}20\ldots0{,}28$ ehk keskmiselt $y\approx0{,}24$. Betoneeritud ja puidust voolusängide puhul on $n=0{,}015$ ning $R\approx0{,}20\ldots1{,}0$ m, millele vastav $y\approx0{,}163$.

Tabel 5-29

Hüdrauliline karakteristik x

$\beta=\frac{b}{\bar{h}}$	x				
	$m=0$	$m=1$	$m=1{,}5$	$m=2$	$m=2{,}5$
0,2	2,12	5,00	5,14	5,23	5,29
0,4	2,22	4,68	4,89	5,02	5,10
0,6	2,30	4,43	4,70	4,86	4,95
0,8	2,38	4,27	4,53	4,71	4,83
1,0	2,44	4,14	4,40	4,59	4,73
1,5	2,57	3,91	4,18	4,36	4,50
2,0	2,66	3,77	4,02	4,20	4,34
2,5	2,74	3,70	3,91	4,08	4,21
3,0	2,79	3,63	3,83	3,99	4,11
3,5	2,84	3,59	3,77	3,91	4,03
4	2,88	3,56	3,72	3,86	3,97
5	2,95	3,53	3,66	3,78	3,86
6	2,99	3,50	3,62	3,72	3,80
7	3,03	3,48	3,58	3,68	3,75
8	3,06	3,47	3,56	3,65	3,72
10	3,10	3,47	3,54	3,61	3,66
20	3,21	3,47	3,50	3,54	3,55

Hüdraulilise karakteristiku hõlpsamaks määramiseks on valemi 5-127 järgi koostatud tabel 5-29, kus $m=1\ldots2{,}5$ puhul $y=0{,}24$ ning $m=0$ puhul $y=0{,}163$.

Valemiga 5-123 saab lahendada põhiliselt kahte liiki ülesandeid. Mõlemal juhul peab olema antud: vooluhulk Q (või selle asemel normaalsügavus h_0), veejuhtme põhja kalle i, üks sügavustest (tavaliselt h_2), karedusarv n, trapetsikujulise profiili puhul põhja laius b ja nõlvuskoefitsient m ning paraboolse profiili puhul parameeter p.

Ülesanne 1. Leida kaugus l esimese ja teise ristlõike vahel, kui on antud voolu mõlema ristlõike sügavus, s. o. h_2 ja h_1, või leida pais- või langjoone pikkus.

Lahendus. Leiame voolu normaalsügavuse h_0 (kui see pole teada), kasutades selleks vastavat nomogrammi või lahendades seda § 5-6, p. 3 eeskujul. Edasi määrame x-i (valemid 5-126 ja 5-127, tabel 5-29) ning kõik valemisse 5-123 kuuluvad tegurid: η, j ja $Б(\eta)$. Kui arvutamise teel saadud x-le vastavat väärtust tabelis 5-30 ei esine, tuleb kasutada lähimat tabeliväärtust. Funktsioon $Б(\eta)$ tuleb tabelist määrata η järgi, sooritades selleks vajaduse korral interpoleerimise. Asetades kõik saadud väärtused valemisse 5-123, leitakse l.

Et nii pais- kui ka langjoon läheneb asümptootiliselt normaalsügavuse joonele (N—N joonele), ulatuvad nad teoreetiliselt lõpmatusse. Praktiliselt loetakse pais- ja langjoon lõppenuks seal, kus vahe veepinna ja normaalsügavuse joone vahel jääb tähtsusetult väikeseks. Tavaliselt võetakse selleks vaheks 0,5...1% voolu normaalsügavusest, seega paisjoone puhul: $h_1=(1{,}005\ldots1{,}01)h_0$ ning langjoone puhul: $h_1=(0{,}99\ldots0{,}995)h_0$. Kogu pais- või langjoone konstrueerimiseks on vaja paisutus või vastavalt alang $z_2=(h_2-h_0)$ jagada intervallidesse, suurusega 0,2...0,5 m ning arvutada kaugus l valemiga 5-123 intervallide kaupa. Rohkete arvutuste tõttu on soovitatav ülesanne lahendada alljärgneva tabeli vormis.

Pais- ja langjoone arvutamise tabeli vorm

h_2	$\eta_2=\frac{h_2}{h_0}$	h_1	$\eta_1=\frac{h_1}{h_0}$	$Б(\eta_2)$	$Б(\eta_1)$	[5] − [6]	j	1 − [8]	[9]·[7]	[2]-[4]-[10]	$l=\frac{h_0}{i}$[11]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Märkused.

1. Nurksulgudes esinevad arvud osutavad vastavas lahtris esinevat väärtust, näiteks [5] — [6] tähendab 5. ja 6. lahtri arvude vahet.
2. MK III köites on ka nomogrammid paisjoone ning langjoone määramiseks (XX ja XXI).

Näide. Antud: trapetsikujulise profiiliga voolusängis $b=10{,}0$ m; $m=1{,}5$; $i=0{,}0007$; $n=0{,}030$; $h_0=1{,}75$ m; paisutus $z_2=2{,}00$ m. Leida: kui kaugel ülalpool paisu on paisutus $z_1=0{,}01$ m.

Lahendus. $h_2=h_0+z_2=1{,}75+2{,}00=3{,}75$ m; $h_1=h_0+z_1=1{,}75+0{,}01=1{,}76$ m; $\eta_2=\frac{3{,}75}{1{,}75}=2{,}14$; $\eta_1=\frac{1{,}76}{1{,}75}=1{,}005$; $\bar{h}=\frac{h_1+h_2}{2}=\frac{1{,}76+3{,}75}{2}=2{,}76$ m. $\bar{h}$-le vastavad $\bar{B}$ ja $\bar{\chi}$ saame valemitega 5-30 ja 5-29, s. o. $\bar{B}=b+2m\bar{h}=10{,}0+2\cdot1{,}5\cdot2{,}76=18{,}28$ m ja $\bar{\chi}=b+2\bar{h}\sqrt{1+m^2}=10{,}0+2\cdot2{,}76\sqrt{1+1{,}5^2}=19{,}9$ m. $\bar{C}$ määrame valemiga 5-48 või tabeliga 5-6 $\bar{h}$-le vastava $\bar{R}$-i väärtuse järgi, milleks eelnevalt arvutame:

Funktsiooni $\Phi(\eta)$ väärtused, sõltuvalt hüdraulilisest karakteristikust x, kui $i>0$

η	x															η
	2,00	2,50	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,50	5,00	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,05
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,10
0,15	0,151	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,15
0,20	0,202	0,201	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,20
0,25	0,255	0,252	0,252	0,251	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,25
0,30	0,309	0,304	0,303	0,302	0,301	0,301	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,30
0,35	0,365	0,357	0,355	0,354	0,353	0,352	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,350	0,350	0,35
0,40	0,423	0,411	0,408	0,407	0,405	0,404	0,403	0,403	0,403	0,402	0,402	0,402	0,402	0,401	0,401	0,40
0,45	0,484	0,468	0,464	0,461	0,459	0,457	0,456	0,456	0,455	0,454	0,454	0,454	0,453	0,452	0,452	0,45
0,50	0,549	0,527	0,521	0,517	0,514	0,511	0,510	0,509	0,508	0,507	0,507	0,507	0,505	0,504	0,503	0,50
0,55	0,619	0,590	0,580	0,575	0,571	0,567	0,566	0,565	0,563	0,562	0,562	0,561	0,559	0,556	0,555	0,55
0,60	0,693	0,657	0,644	0,637	0,631	0,627	0,624	0,623	0,621	0,620	0,619	0,617	0,614	0,611	0,608	0,60
0,61	0,709	0,671	0,657	0,650	0,644	0,639	0,636	0,635	0,633	0,631	0,630	0,628	0,626	0,622	0,619	0,61
0,62	0,725	0,685	0,671	0,663	0,657	0,651	0,648	0,647	0,645	0,643	0,642	0,640	0,637	0,634	0,630	0,62
0,63	0,741	0,699	0,684	0,676	0,670	0,664	0,660	0,659	0,657	0,655	0,654	0,652	0,649	0,645	0,641	0,63
0,64	0,758	0,714	0,698	0,689	0,683	0,677	0,673	0,671	0,669	0,667	0,666	0,664	0,661	0,657	0,652	0,64
0,65	0,775	0,729	0,712	0,703	0,696	0,690	0,686	0,684	0,682	0,679	0,678	0,676	0,673	0,668	0,664	0,65
0,66	0,792	0,744	0,727	0,717	0,709	0,703	0,699	0,697	0,695	0,692	0,690	0,688	0,685	0,680	0,675	0,66
0,67	0,810	0,760	0,742	0,731	0,723	0,716	0,712	0,710	0,708	0,705	0,703	0,700	0,697	0,692	0,687	0,67
0,68	0,829	0,776	0,757	0,746	0,737	0,729	0,725	0,723	0,721	0,718	0,716	0,713	0,709	0,704	0,694	0,68
0,69	0,848	0,792	0,772	0,761	0,751	0,743	0,739	0,737	0,734	0,731	0,729	0,726	0,722	0,716	0,710	0,69
0,70	0,867	0,809	0,787	0,776	0,766	0,757	0,753	0,751	0,748	0,744	0,742	0,739	0,737	0,728	0,722	0,70
0,71	0,887	0,826	0,804	0,791	0,781	0,772	0,767	0,765	0,762	0,758	0,756	0,752	0,748	0,741	0,734	0,71
0,72	0,907	0,843	0,820	0,807	0,796	0,787	0,781	0,779	0,776	0,772	0,770	0,766	0,761	0,754	0,746	0,72
0,73	0,928	0,861	0,837	0,823	0,812	0,802	0,796	0,793	0,790	0,786	0,784	0,780	0,774	0,767	0,759	0,73
0,74	0,950	0,880	0,854	0,840	0,828	0,817	0,811	0,807	0,804	0,800	0,798	0,794	0,788	0,780	0,772	0,74
0,75	0,972	0,899	0,872	0,857	0,844	0,833	0,827	0,822	0,819	0,815	0,812	0,808	0,802	0,794	0,785	0,75
0,76	0,996	0,919	0,890	0,874	0,861	0,849	0,843	0,838	0,834	0,830	0,827	0,823	0,831	0,808	0,798	0,76
0,77	1,020	0,939	0,909	0,892	0,878	0,866	0,860	0,856	0,850	0,846	0,842	0,838	0,817	0,822	0,811	0,77

(Tabeli 5-30 järg)

η	x															η
	2,00	2,50	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,50	5,00	
0,78	1,045	0,960	0,929	0,911	0,896	0,884	0,877	0,872	0,867	0,862	0,858	0,854	0,847	0,837	0,825	0,78
0,79	1,071	0,982	0,949	0,930	0,915	0,902	0,895	0,889	0,884	0,879	0,874	0,870	0,862	0,852	0,839	0,79
0,80	1,098	1,006	0,970	0,950	0,934	0,921	0,913	0,907	0,902	0,896	0,891	0,887	0,878	0,867	0,854	0,80
0,81	1,127	1,031	0,992	0,971	0,954	0,940	0,932	0,926	0,920	0,914	0,908	0,904	0,895	0,883	0,869	0,81
0,82	1,156	1,056	1,015	0,993	0,975	0,960	0,951	0,945	0,939	0,932	0,926	0,922	0,913	0,900	0,885	0,82
0,83	1,188	1,082	1,039	1,016	0,996	0,980	0,971	0,965	0,959	0,952	0,945	0,940	0,931	0,917	0,901	0,83
0,84	1,221	1,110	1,064	1,040	1,019	1,001	0,992	0,985	0,979	0,972	0,965	0,960	0,949	0,935	0,918	0,84
0,85	1,256	1,139	1,091	1,065	1,043	1,024	1,015	1,007	1,000	0,993	0,985	0,980	0,969	0,954	0,936	0,85
0,86	1,293	1,170	1,119	1,092	1,068	1,048	1,039	1,030	1,022	1,015	1,007	1,002	0,990	0,974	0,954	0,86
0,87	1,333	1,203	1,149	1,120	1,095	1,074	1,065	1,055	1,047	1,039	1,030	1,025	1,012	0,995	0,973	0,87
0,88	1,375	1,238	1,181	1,151	1,124	1,102	1,092	1,082	1,073	1,064	1,055	1,049	1,035	1,017	0,994	0,88
0,89	1,421	1,276	1,216	1,183	1,155	1,132	1,121	1,111	1,101	1,091	1,082	1,075	1,060	1,040	1,016	0,89
0,90	1,472	1,316	1,253	1,218	1,189	1,163	1,152	1,140	1,130	1,120	1,111	1,103	1,087	1,066	1,039	0,90
0,905	1,499	1,338	1,274	1,237	1,206	1,180	1,169	1,156	1,146	1,136	1,126	1,117	1,101	1,080	1,052	0,905
0,910	1,527	1,361	1,294	1,257	1,225	1,198	1,186	1,173	1,163	1,152	1,142	1,132	1,116	1,094	1,065	0,910
0,915	1,557	1,385	1,317	1,278	1,245	1,217	1,204	1,191	1,181	1,169	1,159	1,148	1,132	1,109	1,079	0,915
0,920	1,589	1,411	1,340	1,300	1,266	1,237	1,223	1,210	1,199	1,187	1,177	1,165	1,148	1,124	1,093	0,920
0,925	1,622	1,439	1,365	1,323	1,283	1,258	1,243	1,230	1,218	1,206	1,196	1,184	1,161	1,141	1,108	0,925
0,930	1,658	1,469	1,391	1,348	1,311	1,280	1,265	1,251	1,238	1,226	1,215	1,204	1,184	1,158	1,124	0,930
0,935	1,696	1,501	1,420	1,374	1,336	1,303	1,288	1,273	1,259	1,247	1,236	1,225	1,200	1,177	1,141	0,935
0,940	1,738	1,535	1,449	1,403	1,363	1,328	1,312	1,297	1,282	1,270	1,258	1,247	1,225	1,197	1,159	0,940
0,945	1,782	1,571	1,483	1,434	1,392	1,356	1,338	1,324	1,308	1,295	1,282	1,271	1,248	1,218	1,179	0,945
0,950	1,831	1,610	1,518	1,467	1,423	1,385	1,367	1,352	1,336	1,322	1,309	1,297	1,272	1,241	1,200	0,950
0,955	1,885	1,653	1,559	1,504	1,458	1,418	1,399	1,383	1,365	1,350	1,337	1,325	1,300	1,267	1,223	0,955
0,960	1,945	1,701	1,601	1,545	1,497	1,455	1,435	1,419	1,400	1,385	1,370	1,356	1,329	1,295	1,248	0,960
0,965	2,013	1,756	1,654	1,591	1,540	1,496	1,475	1,456	1,437	1,422	1,406	1,391	1,365	1,327	1,277	0,965
0,970	2,092	1,820	1,707	1,644	1,590	1,542	1,521	1,501	1,482	1,464	1,447	1,431	1,402	1,363	1,310	0,970
0,975	2,184	1,895	1,773	1,707	1,649	1,597	1,575	1,553	1,533	1,514	1,496	1,479	1,447	1,405	1,349	0,975
0,980	2,297	1,985	1,855	1,783	1,720	1,664	1,640	1,616	1,595	1,574	1,555	1,537	1,502	1,457	1,395	0,980
0,985	2,442	2,100	1,959	1,881	1,812	1,752	1,727	1,699	1,676	1,652	1,631	1,611	1,573	1,523	1,456	0,985

η	x															η
	2,00	2,50	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,50	5,00	
0,990	2,646	2,264	2,106	2,018	1,940	1,873	1,844	1,814	1,788	1,761	1,737	1,714	1,671	1,615	1,539	0,990
0,995	3,000	3,544	2,355	2,250	2,159	2,079	2,043	2,008	1,975	1,945	1,916	1,889	1,838	1,771	1,680	0,995
1,000	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	1,000
1,005	2,997	2,139	1,818	1,647	1,506	1,384	1,329	1,279	1,231	1,188	1,146	1,107	1,036	0,954	0,826	1,005
1,010	2,652	1,863	1,572	1,419	1,291	1,184	1,138	1,089	1,046	1,007	0,970	0,936	0,873	0,792	0,681	1,010
1,015	2,450	1,704	1,428	1,291	1,166	1,065	1,022	0,978	0,938	0,902	0,868	0,836	0,778	0,703	0,602	1,015
1,020	2,307	1,591	1,327	1,193	1,079	0,982	0,940	0,900	0,862	0,828	0,796	0,766	0,711	0,641	0,547	1,020
1,025	2,197	1,504	1,256	1,119	1,011	0,919	0,879	0,841	0,806	0,773	0,742	0,712	0,662	0,594	0,504	1,025
1,030	2,107	1,452	1,186	1,061	0,955	0,866	0,827	0,790	0,756	0,725	0,696	0,668	0,612	0,555	0,469	1,030
1,035	2,031	1,372	1,136	1,010	0,910	0,823	0,784	0,749	0,716	0,686	0,658	0,632	0,582	0,522	0,440	1,035
1,040	1,966	1,320	1,086	0,967	0,868	0,785	0,747	0,714	0,682	0,653	0,626	0,600	0,554	0,495	0,415	1,040
1,045	1,908	1,274	1,048	0,929	0,831	0,752	0,716	0,684	0,652	0,623	0,598	0,572	0,529	0,470	0,393	1,045
1,05	1,857	1,234	1,010	0,896	0,801	0,723	0,687	0,656	0,625	0,597	0,573	0,548	0,504	0,448	0,374	1,05
1,06	1,768	1,164	0,948	0,838	0,748	0,672	0,640	0,609	0,580	0,553	0,530	0,506	0,464	0,411	0,342	1,06
1,07	1,693	1,105	0,896	0,790	0,703	0,630	0,600	0,569	0,542	0,516	0,494	0,471	0,431	0,381	0,315	1,07
1,08	1,629	1,053	0,851	0,749	0,665	0,595	0,565	0,535	0,510	0,485	0,463	0,441	0,403	0,355	0,291	1,08
1,09	1,573	1,009	0,812	0,713	0,631	0,563	0,534	0,505	0,481	0,457	0,436	0,415	0,379	0,332	0,272	1,09
1,10	1,522	0,969	0,777	0,680	0,601	0,536	0,506	0,480	0,456	0,433	0,412	0,392	0,357	0,312	0,254	1,10
1,11	1,477	0,933	0,746	0,652	0,575	0,511	0,482	0,457	0,433	0,411	0,392	0,372	0,338	0,294	0,239	1,11
1,12	1,436	0,901	0,718	0,626	0,551	0,488	0,461	0,436	0,412	0,392	0,373	0,354	0,321	0,279	0,225	1,12
1,13	1,398	0,872	0,692	0,602	0,529	0,468	0,442	0,418	0,394	0,374	0,356	0,337	0,305	0,265	0,212	1,13
1,14	1,363	0,846	0,669	0,581	0,509	0,449	0,424	0,400	0,377	0,358	0,340	0,322	0,291	0,252	0,201	1,14
1,15	1,331	0,821	0,647	0,561	0,490	0,432	0,407	0,384	0,361	0,343	0,325	0,308	0,278	0,240	0,191	1,15
1,16	1,301	0,797	0,627	0,542	0,473	0,416	0,391	0,369	0,348	0,329	0,312	0,295	0,266	0,229	0,181	1,16
1,17	1,273	0,775	0,608	0,525	0,458	0,402	0,377	0,356	0,335	0,317	0,299	0,283	0,255	0,218	0,173	1,17
1,18	1,247	0,755	0,591	0,510	0,443	0,388	0,364	0,343	0,323	0,305	0,288	0,272	0,244	0,209	0,165	1,18
1,19	1,222	0,736	0,574	0,495	0,429	0,375	0,352	0,331	0,312	0,294	0,277	0,262	0,235	0,200	0,157	1,19
1,20	1,199	0,718	0,559	0,480	0,416	0,363	0,341	0,320	0,301	0,283	0,267	0,252	0,226	0,192	0,150	1,20
1,21	1,177	0,701	0,545	0,467	0,403	0,351	0,330	0,310	0,291	0,273	0,257	0,243	0,218	0,185	0,144	1,21
1,22	1,156	0,685	0,531	0,454	0,392	0,341	0,320	0,300	0,281	0,264	0,248	0,235	0,209	0,178	0,138	1,22
1,23	1,136	0,670	0,518	0,442	0,381	0,331	0,310	0,290	0,272	0,256	0,240	0,227	0,202	0,171	0,132	1,23
1,24	1,117	0,656	0,505	0,431	0,371	0,321	0,301	0,281	0,264	0,248	0,232	0,219	0,195	0,164	0,127	1,24

(Tabeli 5-30 järg)

η	x															η
	2,00	2,50	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,50	5,00	
1,25	1,098	0,643	0,494	0,420	0,361	0,312	0,292	0,273	0,256	0,240	0,225	0,212	0,187	0,158	0,122	1,25
1,26	1,081	0,630	0,482	0,410	0,352	0,304	0,284	0,265	0,248	0,233	0,218	0,205	0,182	0,153	0,117	1,26
1,27	1,065	0,618	0,471	0,400	0,343	0,296	0,276	0,257	0,240	0,226	0,212	0,199	0,176	0,147	0,113	1,27
1,28	1,049	0,606	0,461	0,391	0,335	0,288	0,268	0,250	0,233	0,219	0,206	0,193	0,170	0,142	0,108	1,28
1,29	1,033	0,594	0,452	0,382	0,327	0,281	0,261	0,243	0,227	0,213	0,200	0,187	0,165	0,137	0,104	1,29
1,30	1,018	0,582	0,442	0,373	0,319	0,274	0,254	0,237	0,221	0,207	0,194	0,181	0,160	0,133	0,100	1,30
1,31	1,004	0,571	0,433	0,365	0,311	0,267	0,247	0,231	0,215	0,201	0,189	0,176	0,155	0,129	0,097	1,31
1,32	0,990	0,561	0,424	0,357	0,304	0,260	0,241	0,225	0,209	0,196	0,184	0,171	0,150	0,125	0,094	1,32
1,33	0,977	0,551	0,416	0,349	0,297	0,254	0,235	0,219	0,204	0,191	0,179	0,166	0,146	0,121	0,090	1,33
1,34	0,964	0,542	0,408	0,341	0,290	0,248	0,229	0,214	0,199	0,186	0,174	0,161	0,142	0,117	0,087	1,34
1,35	0,952	0,533	0,400	0,334	0,284	0,242	0,224	0,209	0,194	0,181	0,169	0,157	0,138	0,113	0,084	1,35
1,36	0,940	0,524	0,393	0,328	0,278	0,236	0,219	0,204	0,189	0,176	0,164	0,153	0,134	0,110	0,081	1,36
1,37	0,928	0,516	0,385	0,322	0,272	0,231	0,214	0,199	0,184	0,172	0,160	0,149	0,130	0,107	0,079	1,37
1,38	0,917	0,508	0,378	0,316	0,266	0,226	0,209	0,194	0,180	0,168	0,156	0,145	0,127	0,104	0,076	1,38
1,39	0,906	0,500	0,371	0,310	0,261	0,221	0,204	0,189	0,176	0,164	0,152	0,141	0,123	0,101	0,074	1,39
1,40	0,896	0,492	0,365	0,304	0,256	0,216	0,199	0,185	0,172	0,160	0,148	0,137	0,120	0,098	0,071	1,40
1,41	0,886	0,484	0,359	0,298	0,251	0,211	0,195	0,181	0,168	0,156	0,144	0,134	0,117	0,095	0,069	1,41
1,42	0,876	0,477	0,353	0,293	0,246	0,207	0,191	0,177	0,164	0,152	0,140	0,131	0,114	0,092	0,067	1,42
1,43	0,866	0,470	0,347	0,288	0,241	0,203	0,187	0,173	0,160	0,148	0,137	0,128	0,111	0,090	0,065	1,43
1,44	0,856	0,463	0,341	0,283	0,236	0,199	0,183	0,169	0,156	0,145	0,134	0,125	0,108	0,087	0,063	1,44
1,45	0,847	0,456	0,335	0,278	0,231	0,195	0,179	0,165	0,153	0,142	0,131	0,122	0,105	0,085	0,061	1,45
1,46	0,838	0,450	0,330	0,273	0,227	0,191	0,175	0,162	0,150	0,139	0,128	0,119	0,103	0,083	0,059	1,46
1,47	0,829	0,444	0,325	0,268	0,223	0,187	0,171	0,159	0,147	0,136	0,125	0,116	0,100	0,081	0,058	1,47
1,48	0,821	0,438	0,320	0,263	0,219	0,183	0,168	0,156	0,144	0,133	0,122	0,113	0,098	0,079	0,056	1,48
1,49	0,813	0,432	0,315	0,259	0,215	0,180	0,165	0,153	0,141	0,130	0,119	0,110	0,095	0,077	0,054	1,49
1,50	0,805	0,426	0,310	0,255	0,211	0,177	0,162	0,150	0,138	0,127	0,117	0,108	0,093	0,075	0,053	1,50
1,55	0,767	0,399	0,288	0,235	0,194	0,161	0,147	0,135	0,124	0,114	0,104	0,097	0,083	0,066	0,046	1,55
1,60	0,733	0,376	0,269	0,218	0,179	0,148	0,134	0,123	0,113	0,103	0,094	0,087	0,074	0,058	0,040	1,60
1,65	0,703	0,355	0,251	0,203	0,166	0,136	0,123	0,113	0,103	0,094	0,085	0,079	0,067	0,052	0,035	1,65
1,70	0,675	0,336	0,236	0,189	0,154	0,125	0,113	0,103	0,094	0,086	0,077	0,072	0,060	0,047	0,031	1,70
1,75	0,650	0,318	0,212	0,177	0,143	0,116	0,104	0,095	0,086	0,079	0,070	0,065	0,054	0,042	0,027	1,75
1,80	0,626	0,308	0,209	0,166	0,133	0,107	0,096	0,088	0,079	0,072	0,064	0,060	0,049	0,038	0,024	1,80

(Tabeli 5-30 järg)

η	x															η
	2,00	2,50	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00	4,20	4,50	5,00	
1,85	0,605	0,289	0,198	0,156	0,125	0,100	0,089	0,082	0,073	0,067	0,059	0,055	0,045	0,034	0,022	1,85
1,90	0,585	0,276	0,188	0,147	0,117	0,094	0,083	0,076	0,068	0,062	0,054	0,050	0,041	0,031	0,0195	1,90
1,95	0,567	0,264	0,178	0,139	0,110	0,088	0,078	0,071	0,063	0,057	0,050	0,046	0,038	0,028	0,0175	1,95
2,0	0,550	0,253	0,169	0,132	0,104	0,082	0,073	0,066	0,058	0,053	0,047	0,043	0,035	0,026	0,0158	2,0
2,1	0,518	0,233	0,154	0,119	0,092	0,073	0,064	0,058	0,051	0,046	0,040	0,037	0,030	0,0217	0,0130	2,1
2,2	0,490	0,216	0,141	0,108	0,083	0,065	0,057	0,051	0,045	0,040	0,035	0,032	0,025	0,0184	0,0108	2,2
2,3	0,466	0,201	0,129	0,098	0,075	0,058	0,051	0,045	0,040	0,035	0,031	0,028	0,022	0,0157	0,0090	2,3
2,4	0,444	0,188	0,119	0,090	0,068	0,052	0,046	0,040	0,036	0,031	0,027	0,024	0,019	0,0135	0,0076	2,4
2,5	0,424	0,176	0,110	0,082	0,062	0,047	0,041	0,036	0,032	0,028	0,024	0,021	0,017	0,0117	0,0064	2,5
2,6	0,405	0,165	0,102	0,076	0,057	0,043	0,037	0,033	0,029	0,025	0,021	0,019	0,015	0,0102	0,0055	2,6
2,7	0,389	0,155	0,095	0,070	0,052	0,039	0,033	0,030	0,026	0,022	0,019	0,017	0,013	0,0089	0,0047	2,7
2,8	0,374	0,146	0,089	0,065	0,048	0,036	0,030	0,027	0,024	0,020	0,017	0,015	0,012	0,0078	0,0041	2,8
2,9	0,360	0,138	0,083	0,060	0,044	0,033	0,027	0,024	0,022	0,018	0,015	0,013	0,010	0,0069	0,0035	2,9
3,0	0,346	0,131	0,078	0,056	0,041	0,030	0,025	0,0224	0,0193	0,012	0,0143	0,0125	0,009	0,0061	0,0031	3,0
3,5	0,294	0,104	0,059	0,041	0,029	0,021	0,017	0,0150	0,0127	0,0107	0,0099	0,0075	0,006	0,0036	0,0016	3,5
4,0	0,255	0,084	0,046	0,031	0,022	0,015	0,012	0,0100	0,0086	0,0072	0,0060	0,0050	0,004	0,0022	0,0010	4,0
4,5	0,226	0,070	0,037	0,025	0,017	0,011	0,009	0,0075	0,0063	0,0053	0,0045	0,0035	0,003	0,0015	0,0006	4,5
5,0	0,203	0,059	0,031	0,020	0,013	0,0086	0,007	0,0057	0,0047	0,0040	0,0033	0,0025	0,002	0,0010	0,0004	5,0
6,0	0,168	0,047	0,022	0,014	0,009	0,0052	0,004	0,0033	0,0028	0,0022	0,0019	0,0015	0,001	0,0005	0,0002	6,0
8,0	0,126	0,029	0,013	0,009	0,005	0,0027	0,002	0,0016	0,0013	0,0011	0,0009	0,0007	0,000	0,0002	0,0001	8,0
10,0	0,100	0,021	0,009	0,005	0,0025	0,0012	0,001	0,0008	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,000	0,0001	0,0000	10,0

$\overline{R}=\frac{\overline{\omega}}{\overline{\chi}}=\frac{(b+m\overline{h})\overline{h}}{\overline{\chi}}=\frac{(10{,}0+1{,}5\cdot 2{,}76)2{,}76}{19{,}9}=\frac{39{,}09}{19{,}9}=1{,}96$ m; tabelist 5-6 leiame sellele vastava $\overline{C}=38{,}7$. (Elavlõiget ja veealust perimeetrit on võimalik määrata ka MK II-s leiduvate tabelite järgi.)

Saadud andmeil arvutame valemiga 5-125: $j=0{,}112\ \frac{\overline{C}^2\overline{Bi}}{\overline{\chi}}=$ $=0{,}112\ \frac{38{,}7^2\cdot 18{,}28\cdot 0{,}0007}{19{,}9}=0{,}109$. Voolusängi hüdraulilise karakteristiku x arvutamiseks määrame valemiga 5-95 h_0-le ja $\overline{h}$-le vastavad vooluhulgakarakteristikud K_0 ja $\overline{K}\cdot\overline{K}=\overline{\omega}\cdot\overline{C}\sqrt{\overline{R}}=39{,}09\cdot 38{,}7\sqrt{1{,}96}=2130$ m³/sek. K_0 arvutamiseks tuleb eelnevalt määrata h_0-le vastavad tegurid ω_0, C_0 ja R_0. $\omega_0=(10{,}0+1{,}5\cdot 1{,}75)1{,}75=22{,}09$ m²; $R_0=\frac{\omega_0}{\chi_0}=\frac{22{,}09}{10{,}0+2\cdot 1{,}75\sqrt{1+1{,}5^2}}=1{,}35$ m. Tabelist 5-6 saame nüüd: $C_0=35{,}8$. Seega $K_0=22{,}09\cdot 35{,}8\sqrt{1{,}35}=$ $=920$ m³/sek. Valemiga 5-126 saame: $x=2\ \frac{\log 2130-\log 920}{\log 2{,}76-\log 1{,}75}=3{,}69$. Kontrolliks leiame x-i ka valemi 5-127 ja tabeli 5-29 järgi. Et sügavusele $\overline{h}$ vastab $\overline{R}=1{,}96$ m (vt. eestpoolt), siis tabelist 5-4 leiame: $y\approx 0{,}23$; $\beta=\frac{\overline{b}}{\overline{h}}=$ $=\frac{10{,}0}{2{,}76}=3{,}63$. Asetades leitud väärtused valemisse 5-127, saame: $x=(3+$ $+2\cdot 0{,}23)\left(1+\frac{1{,}5}{3{,}63+1{,}5}\right)-(1+2\cdot 0{,}23)\cdot\frac{2\sqrt{1+1{,}5^2}}{3{,}63+2\sqrt{1+1{,}5^2}}=3{,}74$. Tabelist 5-29 leiame: $x=3{,}75$. Valime x-i väärtuseks lähima tabeliväärtuse (tabelist 5-30), s. o. 3,70, ning interpoleerimise teel saame: $B(\eta_1)=B(1{,}005)=$ $=1{,}231$ ja $B(\eta_2)=B(2{,}14)=0{,}0486$. Asetades nüüd kõik leitud väärtused valemisse 5-123, saame: $l=\frac{1{,}75}{0{,}0007}\{2{,}14-1{,}005-(1-0{,}109)(0{,}0486-$ $-1{,}231)\}=5450$ m.

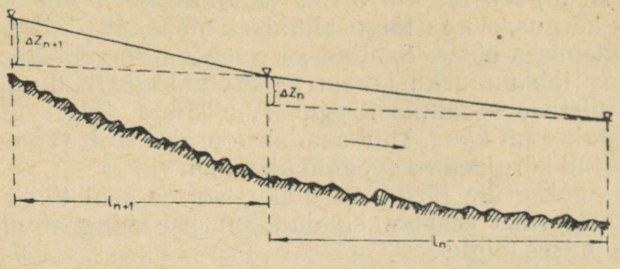
Ülesanne 2. Otsitav on voolu sügavus h_2 ristlõikes 2, kui on teada voolu sügavus h_1 ristlõikes 1 ning ristlõigete vaheline kaugus l, või vastupidi — otsitav on h_1 ja teada on h_2. See ülesanne on lahendatav valemiga 5-123 järkjärgulise lähenemise teel, milleks sobib valemi teisendatud kuju (otsitav on h_1):

$$\eta_1-(1-j)B(\eta_1)=\eta_2-(1-j)B(\eta_2)-\frac{il}{h_0}, \qquad (5\text{-}128)$$

kus paremal poolel esinevad tegurid on kõik peale j-i ja $B(\eta_2)$ teada. Andes h_1-le umbkaudseid väärtusi, leitakse lähenemise teel täpne h_1.

6. PAIS- JA LANGJOONE MÄÄRAMINE LOODUSLIKES VOOLUSÄNGIDES

Looduslikes voolusängides muutub voolu sügavus ja laius piki veejuhet pidevalt. Veepinna kuju kindlaksmääramine eespool kirjeldatud meetodiga ei ole sellises veejuhtmes praktiliselt teostatav ja seetõttu kasutatakse siin ligikaudset meetodit. Looduslik veejuhe (vt. joon. 5-23) jaotatakse sellisteks lõikudeks, kus elavlõiked oma suuruse ja kuju poolest kas oleksid enam-vähem ühtlased (joonisel alumine lõik) või muutuksid pidevalt ühes suunas, s. o. kas suureneksid või väheneksid piki veejuhet (joonisel ülemine lõik). Lõikude pikkus ei ole praktiliselt piiratud, küll aga on soovita-



Joonis 5-23. Veepinna kuju määramise skeem loodusliikes veejuhtmeis.

tav pidada kinni nõudest, et veepinna kõrgusvahe (lang) Δz lõigu ulatusel ei ületaks ca 0,75 m.

Arvutamise valem on:

$$\Delta z = Q^2 \left[\frac{\alpha}{2g}(1-\xi)\left(\frac{1}{\omega_a^2}-\frac{1}{\omega_{\ddot{u}}^2}\right)+\frac{l}{\overline{K}^2}\right], \qquad (5\text{-}129)$$

milles Δz — veepinna kõrgusvahe veejuhtme lõigu ulatusel (m);
Q — vooluhulk (m^3/sek);
l — lõigu pikkus (m);
ω_a ja $\omega_{\ddot{u}}$ — keskmine elavlõige lõigu alumises ja ülemises otsas (m^2);
$\overline{K}$ — keskmine vooluhulgamoodul lõigu ulatusel;
α — Coriolise koefitsient ($\approx 1{,}1$) ja
ξ — koefitsient, mis sõltub elavlõike muutumise iseloomust; ligikaudu võib ξ suuruseks võtta: kui kiirus väheneb voolu suunas, $\xi=0{,}5$; kui kiirus suureneb voolu suunas, $\xi=0$.

Asendades $\alpha=1{,}1$ ja $g=9{,}81$ m/sek^2, saame valemit 5-129 lihtsustada: kiiruse vähenemise puhul voolu suunas

$$\Delta z = Q^2\left[0{,}028\left(\frac{1}{\omega_a^2}-\frac{1}{\omega_{\ddot{u}}^2}\right)+\frac{l}{\overline{K}^2}\right], \qquad (5\text{-}130)$$

kiiruse suurenemise puhul voolu suunas

$$\Delta z = Q^2\left[0{,}056\left(\frac{1}{\omega_a^2}-\frac{1}{\omega_{\ddot{u}}^2}\right)+\frac{l}{\overline{K}^2}\right]. \qquad (5\text{-}131)$$

Kui veejuhe on jaotatud lõikudeks nii, et elavlõike kuju jääb lõigu ulatusel enam-vähem muutumatuks, siis võib kasutada lihtsamat valemit:

$$\Delta z = \frac{Q^2 l}{\overline{K}^2}. \qquad (5\text{-}132)$$

Veepinna kuju määramine valemiga 5-129 või 5-132 toimub järkjärgulise lähenemise teel. Ülesande lahendamiseks peab olema antud: Q, n, veepinna kõrgusarv (veeseis H) alumise (esimese) lõigu alumises otsas ning voolusängi ristlõike kujud veejuhtme ulatusel (profileerimise andmed). Veejuhe jaotatakse lõikudeks ning, lähtudes veepinna kõrgusarvust esimese (kõige alumise) lõigu alumises otsas (see on ülesandes antud), oletatakse veepinna kõrgusarv sama lõigu ülemises otsas. Sellekohaselt arvutatakse voolusängi profileerimise andmeil lõigu keskmine elavlõige, hüdrauliline raadius ja Chézy koefitsient ($\overline{\omega}$, $\overline{R}$ ja $\overline{C}$) ning nende

järgi ka K. Valemiga 5-129 või 5-132 arvutatakse nüüd Δz ning, liites selle veepinna kõrgusarvuga lõigu alumises otsas, saadakse veepinna kõrgusarv lõigu ülemises otsas. Saadud kõrgusarvu võrreldakse oletatud kõrgusarvuga ning lahkumineku korral arvutatakse kõik uuesti, tehes nüüd juba täpsema oletuse veepinna kõrgusarvu kohta lõigu ülemises otsas. Arvutusi korratakse nii kaua, kuni saadakse praktiliselt täpne kooskõla oletatud ja arvutatud kõrgusarvu (veeseisu) vahel.

Seejärel minnakse üle järgmisse lõiku, võttes seal lõigu alumise otsa veepinna kõrgusarvuks eespool saadud suuruse ning toimitakse edasi samuti nagu eelmises lõigus.

§ 5-8. ÜLEVOOLUD

Ülevooluks hüdraulilises mõttes nimetatakse sellist vaba (surveta) voolamise tingimustes töötavat hüdraulilist ehitist või selle osa, mille läbimisel vool deformeerub. Voolu deformatsioon võib seejuures olla vertikaalne või horisontaalne kui ka mõlemasuunaline. Ülevoolude hulka kuuluvad: ülevoolupaisud, liigveelasud, lüüsregulaatorid, kitsa avaga sillad, vabavooluga truubid, mõnede hüdrotehniliste ehitiste (astang, kärendik jt.) lävised jm.

Joonisel 5-24 on kujutatud ülevoolu eestvaade ja ristlõige, kus esinevad järgmised tähised: H — survekõrgus (m); z — langus (m); H_0 — täissurvekõrgus (m), $H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2}{2g}$ ja $z_0 = z + \frac{\alpha V_0^2}{2g}$, milles V_0 — voolu kiirus ülemises biefis (m/sek); b — ülevoolu laius (m); B — voolu laius ülemises biefis (m); δ — ülevoolu harja laius (m); p ja p_1 — ülevoolu harja kõrgus üle veejuhtme põhja (all- ja ülalpool ülevoolu). Veejuhtme lõiku ülalpool ülevoolu nimetatakse ülemiseks biefiks, allpool ülevoolu — alumiseks biefiks.

Ülevoolud liigitatakse kolme liiki:

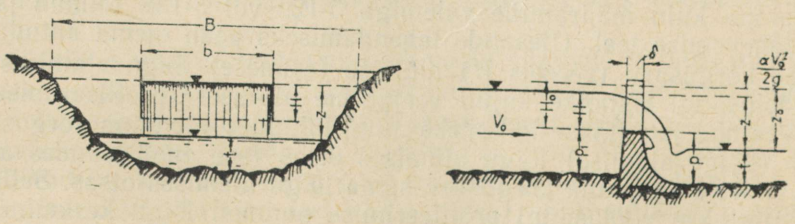
1) kitsaharjaline ($\delta < 0{,}67\,H$);
2) laiaharjaline (laialäveline) ($\delta > 2{,}5\,H$);
3) praktilise kujuga ülevool, mis oma hüdrauliliste omaduste poolest asub kahe eelmise vahepeal.

Kui ülevoolu hari kerkib kõrgemale ülemise biefi põhjast ($p_1 \neq 0$), nimetatakse sellist ülevoolu künnisega (lävega) ülevooluks; vastasel juhul ($p_1 = 0$) on tegemist künniseta (läveta) ülevooluga (sillad, truubid, mõned hüdrotehniliste ehitiste lävised jm.). Ülevool on uputamata, kui alumise biefi vesi ei takista voolamist ülevoolul, vastasel juhul on ülevool uputatud.

Ülevoolu üldine põhivalem on:

$$Q = m\,b\sqrt{2g}\,H_0^{1,5}\ (\mathrm{m^3/sek}) \qquad (5\text{-}133)$$

$$\text{või } Q = M\,b\,H_0^{1,5}\ (\mathrm{m^3/sek}). \qquad (5\text{-}134)$$



Joonis 5-24. Ülevoolu eestvaade ja ristlõige.

Nendes Q — vooluhulk (m^3/sek);
m — vooluhulga koefitsient ülevoolul ja
$M = m\sqrt{2g}$ — teine vooluhulga koefitsient ülevoolul (ülejäänud tegurid selguvad jooniselt 5-24).

1. KITSAHARJALISED ÜLEVOOLUD

Kasutatakse peamiselt vooluhulga mõõtmiseks, mispärast neid nimetatakse ka hüdromeetrilisteks ülevooludeks (mõõteülevooludeks).

Täisnurkne ülevool (eestvaates on harja kuju ristkülik, joonis 5-24). Põhivalem uputamata ülevoolu puhul on

$$Q = m_0 b \sqrt{2g}\, H^{1,5} = M_0 b\, H^{1,5}. \qquad (5\text{-}135)$$

Vooluhulga koefitsient m_0 määratakse Bazin-Hégly järgi:

$$m_0 = \left[0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H} - 0{,}03\left(1 - \frac{b}{B}\right)\right] \cdot \left[1 + 0{,}55\left(\frac{b}{B}\right)^2 \frac{H^2}{(H+p_1)^2}\right], \qquad (5\text{-}136)$$

milles tegurite tähendus selgub jooniselt 5-24.

Ülevool on uputatud siis, kui on täidetud järgmised tingimused: 1) alumise biefi veetase ületab harja kõrguse, s. t. $t > p$; 2) allpool ülevoolu esineb uputatud vooluhüpe (vt. § 5-9, p. 1); sel puhul on täidetud võrratus $\frac{z}{p} < \left(\frac{z}{p}\right)_k$, kusjuures $\left(\frac{z}{p}\right)_k$ määratakse tabelist 5-31.

Tabel 5-31

$\left(\frac{z}{p}\right)_k$ määramine

$\frac{H}{p}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\left(\frac{z}{p}\right)_k$	1,0	0,825	0,74	0,70	0,68	0,66	0,67	0,70	0,76	0,85

Uputatud ülevoolu puhul on põhivalemiks:

$$Q = \sigma_u m_0 b \sqrt{2g}\, H^{1,5}, \qquad (5\text{-}137)$$

milles uputatuskoefitsient σ_u määratakse valemiga

$$\sigma_u = 1{,}05\left(1 + 0{,}2\,\frac{h_u}{p}\right)\sqrt[3]{\frac{z}{H}}, \qquad (5\text{-}138)$$

kus $h_u = t - p$.

Thomsoni ülevool (vt. joon. 5-25, *a*). Põhivalem uputamata ülevoolu puhul on:

$$Q = 1{,}343\, H^{2,47} \qquad (5\text{-}139)$$

ning uputatud ülevoolu puhul:

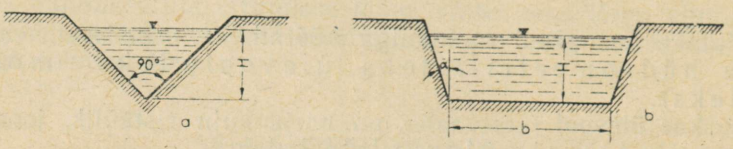
$$Q = 1{,}343\, \sigma_u H^{2,47}, \qquad (5\text{-}140)$$

milles S. Vanejani järgi $\sigma_u = \sqrt{0{,}756 - \left(\frac{h_u}{H} - 0{,}13\right)^2} + 0{,}145$.

Trapetsülevool (vt. joon. 5-25, *b*). Põhivalem uputamata ülevoolu puhul on:

$$Q = m(b + 0{,}8\,H \operatorname{tg}\alpha)\sqrt{2g}\,H^{1,5}, \qquad (5\text{-}141)$$

milles vooluhulga koefitsiendi (m) väärtus akad. E. Zamarini järgi muutub piirides 0,475 (kui $H = 1{,}0$ m) ... 0,510 (kui $H = 2{,}5$ m).



Joonis 5-25. Thomsoni (*a*) ja trapetsülevool (*b*).

Cipoletti ülevool on selline trapetsülevool, kus $\alpha = 14°$ (trapetsi külgede nõlvus on 1 : 0,25); põhivalem uputamata ülevoolu puhul:

$$Q = 1{,}86\,b\,H^{1,5} \qquad (5\text{-}142)$$

ning uputatud ülevoolul

$$Q = 1{,}86\sigma_u b\,H^{1,5}, \qquad (5\text{-}143)$$

milles L. Valentini järgi $\sigma_u = \sqrt{1{,}23 - \frac{h_u}{H}} - 0{,}127$.

Piluülevool koosneb kas ühest või mitmest kõrvuti paigutatud trapetsülevoolust ning seda kasutatakse peamiselt astangute ja kärendike lävises (vt. § 5-10).

Et vooluhulga mõõtmise tulemused oleksid võimalikult täpsed (viga $< 1\%$), tuleb hüdromeetriliste ülevoolude ehitamisel ja kasutamisel täita järgmised nõuded:

1) ülevoolu juures ei tohi esineda filtratsiooni;
2) ülemise biefi voolusäng peab olema vähemalt $l = 5\,H_{max}$ ulatusel sirge;
3) voolu laius ülemises biefis (B) peab olema $\geqslant 5H_{max}$;
4) ülevoolu hari peab olema vähemalt H_{max} võrra kõrgemal ülemise biefi põhjast ($p_1 \geqslant H_{max}$);
5) ülevool peab töötama uputamata olukorras ning õhk peab vabalt pääsema joale alla;
6) ülevoolu sein peab olema vertikaalne ja risti voolu suunaga, hari horisontaalne ning Thomsoni ülevoolu nurgapoolitaja vertikaalne;
7) ülevoolu hari peab olema terav ($\delta = 1 \ldots 2$ mm);
8) survekõrgus (H) peab olema piirides 0,05 ... 1,0 m;
9) survekõrgust (H) tuleb mõõta ülevoolu ees kaugusel $l \geqslant 4H_{max}$.

2. PRAKTILISE KUJUGA ÜLEVOOLUD

Põhivalem uputamata ülevoolu puhul on:

$$Q = \varepsilon m b\sqrt{2g}H_0^{1,5} = \varepsilon M b H_0^{1,5}, \qquad (5\text{-}144)$$

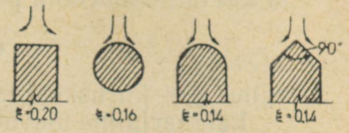
milles ε — ahenduskoefitsient, mis arvestab kalda- ja vahesammaste mõjul esinevat voolu ahenemist ülevoolul; ε määramiseks võib kasutada valemit:

$$\varepsilon = 1 - \frac{H_0}{b}(\xi_k + n\xi_v), \qquad (5\text{-}145)$$

milles n — vahesammaste arv;

ξ_k — kaldasamba } kujust sõltuv koefitsient
ξ_v — vahesamba } (joonis 5-26);

b — ülevoolu puhas laius (vahesambad maha arvatud).



Joonis 5-26. Vahesammaste kujusid.

Valem 5-145 kehtib küllalt suurte avade puhul, igal juhul, kui $b \geqslant H$. Kui $b < H_0$, tuleb valemis 5-145 võtta $\frac{H_0}{b} = 1$. Tihedalt asetatud vahepostide puhul tuleb võtta ε suuruseks 0,85 ... 0,95; niisama suur ε väärtus tuleb võtta ka ligikaudsetel arvutustel.

Vooluhulga koefitsient m muutub võrdlemisi laiades piirides, sõltuvalt ülevoolu seina ja harja kujust, survekõrgusest jm. Keskmiste arvudena võib kasutada:

1) kõverjoonelise (enam-vähem voolujoonelise) profiili puhul (betoonpaisud): $m = 0{,}45 \ldots 0{,}49$; $M = 2{,}0 \ldots 2{,}17$;

2) murtud profiili puhul (puitpaisud): $m = 0{,}40 \ldots 0{,}43$; $M = 1{,}75 \ldots 1{,}95$.

Uputatud ülevoolu puhul tuleb valemisse juurde uputatuskoefitsient σ_u, mis määratakse tabelist 5-32 (F. Pikalovi järgi).

Tabel 5-32

Uputatuskoefitsient σ_u praktilise kujuga ülevoolude jaoks

$\frac{h_u}{H}$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0
σ_u	0	0,41	0,59	0,70	0,79	0,91	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0

Põhivalem on sel korral:

$$Q = \sigma_u \varepsilon m b \sqrt{2g} H_0^{1,5} = \sigma_u \varepsilon M b H_0^{1,5}. \qquad (5\text{-}146)$$

Ülevool on uputatud siis, kui on täidetud järgmised tingimused: $t > p$ ja $\frac{z_0}{p} < 0{,}70$, kusjuures $z_0 = z + \frac{\alpha V_0^2}{2g}$ (vt. joon. 5-24).

3. LAIAHARJALISED (LAIALÄVELISED) ÜLEVOOLUD

Nende ülevoolude iseärasuseks on see, et harja küllalt suure laiuse tõttu ($\delta > 2{,}5H$) toimub voolamine harjal teatavas ulatuses paralleeljugadena. Kui aga harja laius on ülemäära suur ($\delta > 10H$), tuleb sellist konstruktsiooni käsitleda kui horisontaalse põhjaga renni. Uputamata ülevoolu puhul on harja kohal kaks langust — z_1 ja z_2 (vt. joon. 5-27, *a*). Alumise biefi veeseisu suurenedes kaob alumine langus ära ($z_2 = 0$) ning ülevool muutub siitpeale juba uputatuks (vt. joon. 5-27, *b*); sealjuures $h_u = h$.

Põhivalem uputamata ülevoolu puhul on:

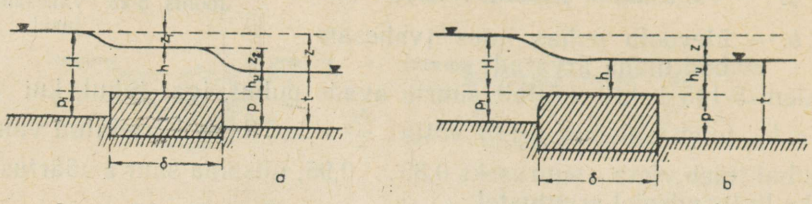
$$Q = \varepsilon m b \sqrt{2g} H_0^{1,5} = \varepsilon M b H_0^{1,5}. \qquad (5\text{-}147)$$

ja uputatud ülevoolu puhul:

$$Q=\varepsilon\varphi bh\sqrt{2g(H_0-h)}, \tag{5-148}$$

milles φ — kiiruskoefitsient.

Laiaharjaline ülevool on uputatud, kui $h_u>kH_0$.



Joonis 5-27. Uputamata (*a*) ja uputatud (*b*) laiaharjaline ülevool.

Koefitsientide m, φ ja k määramiseks võib kasutada tabelit 5-33, mis on koostatud akad. N. Pavlovski orienteerivate soovituste kohaselt m-i määramiseks ülevoolu harja iseloomustuse järgi ning prof. F. Pikalovi poolt antud seoste järgi m-i, φ ja k vahel.

Tabel 5-33

Koefitsiendid m, φ ja k laiaharjalise ülevoolu jaoks

Ülevoolu iseloomustus	m	φ	k
1. Hästi ümardatud lävis (sisenemisosa) ja sujuv juurdevool	0,36	0,951	0,73
2. Ülevoolu harja rinnak (esiserv) ümardatud (joon. 5-27, *b*)	0,35	0,936	0,76
3. Ülevoolu harja rinnak nüristatud (vahepealne p. 2 ja 4 vahel)	0,33	0,912	0,79
4. Ülevoolu harja rinnak ümardamata (terav) (vt. joon. 5-27, *a*)	0,32	0,900	0,805
5. Ülevoolu hari hüdrauliliselt veel halvemas seisukorras kui 4.	0,30	0,881	0,83

A. Berezinski soovitab koefitsientide m ja ε määramiseks alljärgnevaid valemeid:

ümardatud rinnaku puhul (vt. joon. 5-27, *b*)

$$m=0{,}36+0{,}01\frac{3-\frac{p}{H}}{1{,}2+1{,}5\frac{p}{H}}, \tag{5-149}$$

ümardamata rinnaku puhul (vt. joon. 5-27, *a*)

$$m=0{,}32+0{,}01\frac{3-\frac{p}{H}}{0{,}46+0{,}75\frac{p}{H}}. \tag{5-150}$$

Kui $\frac{p}{H}>3$, tuleb esimesel juhul m-i suuruseks võtta 0,36, teisel juhul aga 0,32. Ahenduskoefitsiendi määramise valem on:

$$\varepsilon = 1 - \frac{a\left(1-\frac{b}{B}\right)\sqrt[4]{\frac{b}{B}}}{\sqrt[3]{0{,}2+\frac{p}{H}}}. \qquad (5\text{-}151)$$

Selles valemis: kui $\frac{b}{B} < 0{,}2$, tuleb $\frac{b}{B}$ suuruseks võtta 0,2; kui $\frac{b}{H} > 3$, võtta $\frac{p}{H}$ suuruseks 3. Koefitsiendi a väärtuseks tuleb ümardamata kalda- ja vahesammaste puhul võtta 0,19 ning ümardatud kalda- ja vahesammaste puhul 0,10. Ahenduskoefitsiendi ε arvutamiseks võib kasutada ka valemit 5-145.

Näide 1. Leida vooluhulk Q praktilise kujuga betoonpaisul, kui on antud: $H=1{,}50$ m; $p=p_1=2{,}00$ m; $t=2{,}50$ m; $b=10{,}0$ m; $V_0=0{,}80$ m/sek; paisul on kaks ümardatud otstega vahesammast, kaldasambad on ümardamata kantidega.

Lahendus. Kontrollime, kas ülevool on uputatud. Selleks kontrollime tingimusi: $t>p$ ja $\frac{z_0}{p} < 0{,}70$. $t=2{,}50>p=2{,}00$; $z=H+p-t=1{,}50+2{,}00-2{,}50=1{,}00$ m; $z_0=z+\frac{\alpha V_0^2}{2g}=1{,}00+\frac{1{,}1\cdot 0{,}8^2}{2\cdot 9{,}81}=1{,}03$ m. $\frac{z_0}{p}=\frac{1{,}03}{2{,}00}=0{,}52<0{,}7$. Et võrratused on täidetud, on ülevool uputatud. Vooluhulga arvutamise valem on siis: $Q=\sigma_u \varepsilon m b\sqrt{2g}H_0^{1,5}$. Määrame uputatuskoefitsiendi σ_u. Et $\frac{h_u}{H}=\frac{t-p}{H}=\frac{2{,}50-2{,}00}{1{,}50}=0{,}33$, siis tabelist 5-32 saame: $\sigma_u=0{,}99$. $H_0=H+\frac{\alpha V_0^2}{2g}=1{,}50+\frac{1{,}1\cdot 0{,}8^2}{2\cdot 9{,}81}=1{,}53$ m. Joonise 5-26 järgi määrame: $\xi_k=0{,}20$ ja $\xi_v=0{,}14$ ning valemiga 5-145 arvutame ahenduskoefitsiendi: $\varepsilon=1-\frac{H_0}{b}\cdot(\xi_k+n\xi_v)=1-\frac{1{,}53}{10{,}0}(0{,}20+2\cdot 0{,}14)=0{,}927$; vooluhulga koefitsient m betoonpaisu puhul on keskmiselt 0,47. Nüüd arvutame valemiga 5-146 vooluhulga: $Q=0{,}99\cdot 0{,}927\cdot 0{,}47\cdot 10{,}0\sqrt{2\cdot 9{,}81}\cdot 1{,}53^{1,5}=36{,}0$ m³/sek.

Näide 2. Määrata kolme avaga laiaharjalise ülevoolu laius b, kui on antud: $Q=85{,}0$ m³/sek; $H=3{,}00$ m; $p_1=p_2=0{,}75$ m; $B=30{,}0$ m; $t=2{,}75$ m; harja rinnak ümardatud, kaldasambad ümardamata kantidega, vahesambad ümardatud otsaga (vt. joon. 5-26).

Lahendus. Kontrollime, kas ülevool on uputatud, milleks selgitame, kas tingimus $h_u>kH_0$ on täidetud. Tabeli 5-33 järgi saame: $m=0{,}35$ ja $k=0{,}76$; joonise 5-27 põhjal leiame: $h_u=t-p=2{,}75-0{,}75=2{,}00$ m. Arvutame: $H_0=H+\frac{\alpha V_0^2}{2g}$, milleks leiame $V_0=\frac{Q}{B(H+p_1)}=\frac{85{,}0}{30(3{,}0+0{,}75)}=0{,}75$ m/sek. Asendades tegurite väärtused, saame: $H_0=3{,}00+\frac{1{,}1\cdot 0{,}75^2}{2\cdot 9{,}81}=3{,}02$ m; $h_u=2{,}00<kH_0=0{,}76\cdot 3{,}02=2{,}30$. Et eespool mainitud tingimus ei ole täidetud, on ülevool uputamata. Et b ei ole teada, ei saa määrata ahenduskoefitsienti ε. Seepärast võtame ε suuruseks umbkaudu 0,90. Valemist 5-147 saame siis: $b=\frac{Q}{\varepsilon m\sqrt{2g}\,H_0^{1,5}}=\frac{85{,}0}{0{,}90\cdot 0{,}35\sqrt{2\cdot 9{,}81}\cdot 3{,}02^{1,5}}\approx 11{,}7$ m. Nüüd arvutame valemiga 5-145 ε-i, tehes jooniselt 5-26 eelnevalt kindlaks ξ_k ja ξ_v

suurused. $\varepsilon = 1 - \frac{H_0}{b}(\xi_k + n\xi_v) = 1 - \frac{3{,}02}{11{,}7}(0{,}20 + 2 \cdot 0{,}14) = 0{,}877$. Seega otsitav ülevoolu laius $b = \frac{85{,}0}{0{,}877 \cdot 0{,}35\sqrt{2 \cdot 9{,}81} \cdot 3{,}02^{1{,}5}} = 11{,}95 \approx 12{,}0$ m.

Ülesanne on lahendatud koefitsiendi m orienteeriva suuruse järgi. Täpsema tulemuse saame, kui arvutada m Berezinski valemiga 5-149.

§ 5-9. VOOLUHÜPE

1. ÜLDMÕISTED JA PÕHIVALEM

Vooluhüppeks (hüdrauliliseks hüppeks) nimetatakse nähtust, kus käre voolamine läheb veejuhtme lühikesel ulatusel üle rahulikuks voolamiseks (vt. § 5-7, p. 1 ja p. 2), mille juures toimub järelikult voolu sügavuse järsk suurenemine. Vooluhüpe esineb alumises biefis ülevoolu, astangu, kärendiku, varja jms. järel. Voolu hüppe-eelne sügavus h' ja hüppejärgne sügavus h'' on teineteisest sõltuvad (vt. joon. 5-19) ning neid nimetatakse vooluhüppe kaassügavusteks. Vooluhüppe põhivalem, millega üldjuhul ühe sügavuse järgi saab määrata teist, on prismaatilise voolusängi puhul:

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{\alpha Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2, \qquad (5\text{-}152)$$

kus: ω_1 ja y_1 — hüppe-eelne elavlõige ja selle raskuskeskme sügavus;
ω_2 ja y_2 — vastavad hüppejärgsed suurused;
Q — vooluhulk (m³/sek).

Valemiga 5-152 on võimalik ilma erilise raskuseta («proovimiseta») ühte sügavust (h' või h'') teise järgi määrata vaid erijuhtudel. Nii on üheks selliseks erijuhuks ristkülikukujuline profiil, mille puhul valem 5-152 on teisendatav ja kasutatav järgmisel kujul:

$$h'' = \frac{h'}{2}\left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha Q^2}{gb^2(h')^3}} - 1\right), \qquad (5\text{-}153)$$

kus b — voolusängi põhja laius (m).

Vahetades valemis 5-153 h' ja h'' kohad ära, saame valemi h' määramiseks h'' järgi.

Nomogrammiga XIX (MK III) on aga võimalik lihtsalt määrata vooluhüppe kaassügavusi nii ristküliku- kui ka trapetsikujulise profiiliga voolusängis.

Paraboolse profiiliga voolusängis on vooluhüppe kaassügavusi kõige lihtsam määrata I. Agroskini meetodiga:

1) arvutada $A = 0{,}518\sqrt{\frac{Q}{\sqrt{p}}}$, kus p — parabooli parameeter,

2) arvutada $\eta' = \frac{h'}{A}$ ja

3) tabelist 5-34 leida η' järgi η'' ning arvutada $h'' = \eta'' A$.

Hüppe ulatust (pikkust) l_h saab umbkaudu määrata valemiga

$$l_h \approx (4 \ldots 5)h'' - h' \qquad (5\text{-}154)$$

või N. Pavlovski järgi:

$$l_h = 2{,}5(1{,}9\,h'' - h'). \qquad (5\text{-}155)$$

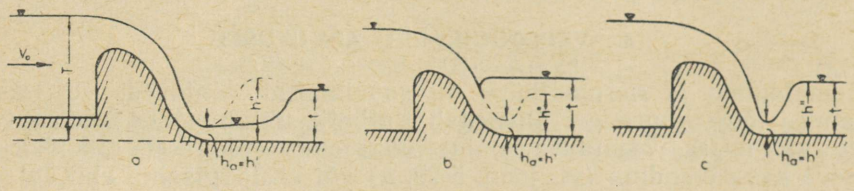
Tabel 5-34

Koefitsiendi η'' määramine η' järgi

η'	η''	η'	η''	η'	η''
0,20	2,61	0,45	1,52	0,70	1,10
0,25	2,30	0,50	1,41	0,75	1,04
0,30	2,05	0,55	1,32	0,80	0,98
0,35	1,82	0,60	1,24	0,85	0,93
0,40	1,65	0,65	1,16	0,88	0,88

Sõltuvalt voolu hüppejärgse sügavuse (h'') ja alumise biefi sügavuse (t) suhtelisest erinevusest eristatakse vooluhüppel kolme kuju:

1) eemaldunud vooluhüpe: $h'' > t$ (vt. joon. 5-28, *a*);
2) kaetud ehk uputatud vooluhüpe: $h'' < t$ (vt. joon. 5-28, *b*);
3) normaalvooluhüpe: $h'' = t$ (vt. joon. 5-28, *c*).



Joonis 5-28. Vooluhüppe kujud:
a — eemaldunud vooluhüpe; *b* — kaetud ehk uputatud vooluhüpe; *c* — normaalvooluhüpe.

Eemaldunud vooluhüppe puhul kujuneb ahenenud elavlõike ja vooluhüppe vahemikus paisjoon, mille algsügavus (h_1) on võrdne h_a-ga, kuna lõppsügavus (h_2) on kaassügavuseks alumise biefi sügavusele t. Vooluhüppe kuju selgitamiseks tuleb kindlaks määrata voolu sügavus vahetult allpool hüdrotehnilist ehitist kujunevas ahenenud elavlõikes (h_a), võtta see hüppe-eelseks sügavuseks, s. o. $h' = h_a$, määrata selle järgi h'' ning võrrelda viimast alumise biefi sügavusega t.

2. VOOLU SÜGAVUSE (h_a) MÄÄRAMINE AHENENUD ELAVLÕIKES

Üldine valem voolu sügavuse (h_a) määramiseks alumise biefi ahenenud elavlõikes on:

$$T_0 = h_a + \frac{\alpha Q^2}{2g\varphi^2\omega_a^2}. \qquad (5\text{-}156)$$

milles $T_0 = T + \frac{\alpha V_0^2}{2g}$;

T — ülemise biefi veeseis (m), arvestades seda alumise biefi põhjast (vt. joon. 5-28, *a*);
V_0 — voolu kiirus ülemises biefis (m/sek);
ω_a — ahenenud elavlõige (m^2) ja
φ — kiiruskoefitsient voolamisel hüdrotehnilises ehitises.

Et h_a määramine ülaltoodud valemiga on üldjuhul võimalik vaid järkjärgulise lähenemise teel, on otstarbekam seda ülesannet lahendada nomogrammiga XVII (MK III).

Kiiruskoefitsiendi (φ) väärtus määratakse akad. N. Pavlovski soovituse kohaselt tabelist 5-35 või 5-33.

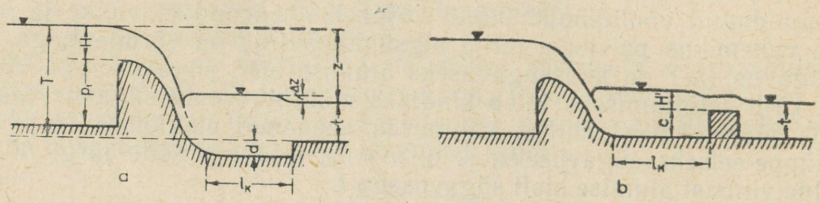
Tabel 5-35

Kiiruskoefitsient φ voolamisel hüdrotehnilistes ehitistes

Voolamise tingimused	Kiiruskoefitsient φ
1. Takistuseta voolamine õhku	1,00 . . . 0,97
2. Voolamine põhjaavadest	1,00 . . . 0,97
3. Astang ilma varjata	1,00
4. Astang varjaga	1,00 . . . 0,97
5. Voolujoonelise kujuga ja sileda pinnaga ülevool:	
a) hästi kitsa harjaga	1,00
b) hari keskmise laiusega	0,95
c) laia harjaga	0,90
6. Voolamine varja alt voolujoonelisel ülevoolul	0,95 . . . 0,85
7. Voolamine laia harjaga ülevoolul	0,95 . . . 0,85
8. Voolamine murtud profiiliga ülevoolul	0,90 . . . 0,80

3. VEELÖÖGIKAEVU ARVUTUSED

Eemaldunud ja normaalhüpe on soovimatud nähtused, sest käreda voolamise tõttu hüppe eel ähvardab flutbetit uhtumisoht. Selliste voolu-hüpete vältimiseks rajatakse voolurahustaja (veelöögikaev), konstrueerides seda kas süvendina (vt. joon. 5-29, *a*) või veelöögiseina abil (vt. joon. 5-29, *b*). Veelöögikaevu projekteerimisel määratakse kaevu sügavus (*d*) (resp. veelöögiseina kõrgus *C*) ning kaevu pikkus.



Joonis 5-29. Veelöögikaev:
a — süvendina; *b* — veelöögiseina abil.

A. Veelöögikaevu sügavuse *d* määramine (vooluastme Δz arvestamisel)*

Ristkülikukujulise profiiliga voolusängis võib sügavuse määrata suhteliselt lihtsalt nomogrammiga XVIII (MK III).

Trapetsikujulise profiiliga voolusängis on kaevu sügavuse määramine võimalik järkjärgulise lähenemise teel, mille käik on järgmine (kui $i<i_k$):

1) selgitatakse veelöögikaevu vajadus, s. o. kas esineb katmata voolu-hüpe ($h'' \geqslant t$) (valemid 5-156 ja 5-152 või MK III, nomogrammid XVII ja XIX);

2) esimeseks lähenemiseks võetakse kaevu sügavus umbkaudu: $d \approx 1{,}3(h''-t)$;

3) lähtudes eelmises punktis määratud kaevu sügavusest, arvutatakse uus h_a, võttes valemis 5-156 või nomogrammis XVII esialgse T asemele uueks suuruseks $T+d$;

* Ligikaudsetel arvutustel võib Δz-i jätta arvestamata, mispuhul veelöögikaevu sügavus saadakse teatud tagavaraga.

4) võttes punktis 3 saadud h_a hüppe-eelseks sügavuseks (h'), leitakse selle kaassügavus h'' ning kontrollitakse, kas on täidetud tingimus: $t+d+\Delta z_0=\sigma_v h''$, milles $\sigma_v \approx 1{,}05$ ning $\Delta z_0=\frac{\alpha Q^2}{2g\,\varphi^2\omega^2}$, kus ω — hüppejärgne elavlõige veelöögikaevus (vt. MK III teksti nomogrammi XVIII-B juurde) ja φ — vt. tabelist 5-35;

5) kui punktis 4 esitatud tingimus ei ole täidetud, muudetakse kaevu sügavust ning korratakse arvutust uuesti alates punktist 3.

B. Veelöögikaevu pikkuse määramine

Veelöögikaevu üldpikkus koosneb joa lennukaugusest (l_j) ja kaugusest ahenenud elavlõikest kuni kaevu lõpuni (l_k), kusjuures $l_k \approx 0{,}8\ l_h$, milles l_h on vooluhüppe ulatus (valemid 5-154 ja 5-155). Joa lennukaguse määramise valemid on (M. Tšertoussovi järgi):
ja puhul

$$l_j=0{,}33\,H_0+1{,}38\sqrt{H_0(p+0{,}45H_0)}; \qquad (5\text{-}157)$$

praktilise kujuga ülevoolu puhul, kui hari on voolujoonelise profiiliga, tuleb l_j asemel võtta vastav ülevoolu seina paksus; murtud profiiliga harja puhul

$$l_j=\delta+1{,}33\sqrt{H_0(p+0{,}3H_0)}; \qquad (5\text{-}158)$$

juhul, kui $\delta<0{,}5\,H_0$, määratakse l_j valemiga 5-157;
kombineeritud skeemi puhul (vari praktilise kujuga ülevoolu kohal)

$$l_j=e+2\sqrt{H_0(p+0{,}32e)}; \qquad (5\text{-}159)$$

laiaharjalise ülevoolu ja astangu puhul

$$l_j=1{,}64\sqrt{H_0(p+0{,}24H_0)}; \qquad (5\text{-}160)$$

voolamisel varja alt horisontaalses rennis

$$l_j \approx 3e; \qquad (5\text{-}161)$$

kärendiku puhul

$$l_j=V\sqrt{\frac{2p+h}{g}(1-i^2)} \qquad (5\text{-}162)$$

Neis valemeis:

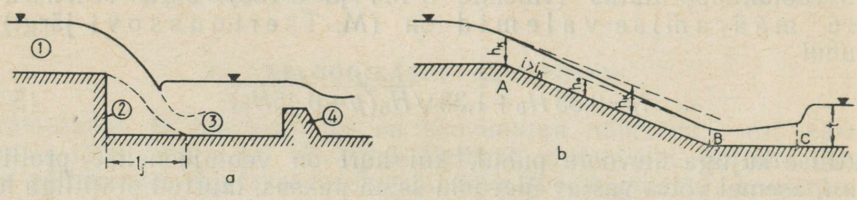
$$H_0 = H+\frac{\alpha V_0^2}{2g};$$

H — survekõrgus (m) ülevoolu või ava puhul (vt. joon. 5-10 ja 5-24), astangu puhul — voolu sügavus ülemises biefis;
V_0 — voolu kiirus (m/sek) hüdrotehnilise ehitise ees (ülemises biefis);
V — voolu kiirus (m/sek) kärendiku renni lõpul;
h — voolu sügavus (m) „ „ „ ;
i — kärendiku kalle;
p — langeseina (astangu, ülevoolu jt.) kõrgus (m);
e — varjaava kõrgus (m) ja
δ — ülevoolu harja laius (m).

Joa lennukaugust tuleb lugeda kitsaharjalise ja praktilise kujuga ülevoolu puhul alates harja rinnakust, varja puhul — varjast ning laiaharjalise ülevoolu, astangu ja kärendiku puhul — langeseinast.

§ 5-10. ASTANGUD JA KÄRENDIKUD

A s t a n g u k s nimetatakse astmekujulist hüdrotehnilist ehitist, millega voolusäng järsu kaldega maastikul viiakse kõrgemalt tasemelt madalamale tasemele (vt. joon. 5-30, *a*). Mitmeastmelist astangut nimetatakse kaskaadiks. K ä r e n d i k u k s nimetatakse eriliselt väljaehitatud (kindlustatud) veejuhtmelõiku, kus suure kalde tõttu ($i > i_k$) esineb käre voolamine (vt. joon. 5-30, *b*). Astangu või kärendiku sobivus antud konk-



Joon. 5-30. Astang (*a*) ja kärendik (*b*).

reetsetes tingimustes sõltub veejuhtme trassi reljeefi iseloomust. Oma konstruktsioonilt omavad astangud ja kärendikud palju ühiseid jooni. Mõlemaid võib jagada nelja ossa:

1) lävis (sisenemisosa);
2) langesein (astangul), renn (kärendikul);
3) veelöögikaev (voolurahustaja);
4) suue (väljumisosa).

L ä v i s kujutab tavaliselt künniseta või künnisega praktilise kujuga või laiaharjalist ülevoolu; ühtlase voolamise tagamiseks ülemises biefis konstrueeritakse lävis sageli ka piluülevooluna. L a n g e s e i n konstrueeritakse kas vertikaalsena, kaldu või astmelisena (kaskaad). Viimast kasutatakse biefide suure languse puhul. Kärendiku r e n n kujutab endast kas ristkülikuvõi trapetsikujulise profiiliga veejuhtmelõiku, mille kalle on suurem kriitilisest ($i > i_k$), kõikudes ca 0,01 ... 0,20 piirides. V e e l ö ö g i k a e v konstrueeritakse § 5-9 p. 3 kirjeldatud viisil, kusjuures kaskaadi puhul nähakse veelöögikaevud tavaliselt ette igal astmel. S u u e kujutab kas laiaharjalist ülevoolu (süvendkaevu puhul) või praktilise kujuga ülevoolu (veelöögiseina puhul).

1. LÄVISE HÜDRAULILISED ARVUTUSED

L ä v i s k u i l a i a h a r j a l i n e v õ i p r a k t i l i s e k u j u g a ü l e v o o l

Sõltuvalt lävise pikkusest (külgseinte pikkusest või künnise harja laiusest) δ tuleb lävist käsitleda kas laiaharjalise või praktilise kujuga ülevooluna (vt. § 5-8) ning hüdraulilistel arvutustel kasutada vastavaid valemeid (5-144, -146, -147, -148).

Astangu ja kärendiku lävisel toimub tavaliselt voolu ahenemine, mida loetletud valemeis tuleb arvestada ahenduskoefitsiendiga ε. Sõltuvalt lävise voolujoonelisusest tuleb valemis 5-145 ξ suurus võtta 0,20 ... 0,08 piirides.

Et saavutada ülemises biefis ühtlast voolamist ja seega vältida liiga

suure kiiruse kujunemist langjoone alumisel lõigul, konstrueeritakse lävis sageli piluülevooluna. Sellist astangut ja kärendikku nimetatakse piluastanguks ja pilukärendikuks.

Lävis kui piluülevool (trapetsülevool)

Et tagada ülemises biefis enam-vähem ühtlane voolamine ka kõikuva vooluhulga puhul, tuleb projekteerida sobiva nõlvusega piluülevool. Arvutuse aluseks võetakse voolu kaks iseloomulikku sügavust:

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= h_{max} - 0{,}25(h_{max} - h_{min}) \\ h_2 &= h_{min} + 0{,}25(h_{max} - h_{min}) \end{aligned}\right\}, \qquad (5\text{-}163)$$

kus h_{max} ja h_{min} on voolu normaalsügavused ülemises biefis; neist esimene vastab arvutuslikule maksimaalsele ja teine minimaalsele vooluhulgale. Kui ülesandes ei ole fikseeritud arvutuslikku minimaalset vooluhulka, siis võetakse h_{min} asemel h_m, mille suurus on $(^1/_3 \ldots {}^1/_2)\ h_{max}$.

Piluülevoolu otsitavad suurused b ja α (vt. joon. 5-25, *b*) leitakse võrrandsüsteemi

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= m(b + 0{,}8H_1 \operatorname{tg}\alpha)\sqrt{2g}H_1^{1,5} \\ Q_2 &= m(b + 0{,}8H_2 \operatorname{tg}\alpha)\sqrt{2g}H_2^{1,5} \end{aligned}\right\} \qquad (5\text{-}164)$$

lahendamisel (vt. valemit 5,141). Neis valemeis $H_1 = h_1$; $H_2 = h_2$ ja m on vooluhulga koefitsient praktilise kujuga või laiaharjalise ülevoolu puhul.

2. VEELÖÖGIKAEVU HÜDRAULILISED ARVUTUSED

Üldjoontes toimub arvutus § 5-9, p. 3 kirjeldatud viisil. Kui veelöögikaevu laius b_k on suurem kui lävise (ülevoolu) laius b, siis tuleb voolu sügavuse h_a arvutamisel arvesse võtta langeva joa laienemist külgedele ning valemis 5-156 esinev ω_a arvutada vastavalt joa laiusele b_j. Akad. E. Zamarini soovituste kohaselt määratakse joa laius järgmiselt:

ristkülikukujulise profiiliga veelöögikaevu puhul $b_j = b + 0{,}1\ l_j$

trapetsikujulise „ „ „ $b_j = b + 0{,}8\ H \operatorname{tg}\alpha + 0{,}1\ l_j$ } , (5-165)

kus l_j — joa lennukaugus (valemid 5-157 kuni 5-160);
H — voolu sügavus (survekõrgus) ülevoolul ja
α — vt. joonist 5-25, *b*.

3. SUUDME HÜDRAULILISED ARVUTUSED

Astangu ja kärendiku suue kujutab hüdraulilisest seisukohast kas praktilise kujuga (veelöögiseina puhul) või laiaharjalist (süvendkaevu puhul) ülevoolu ja seepärast kasutatakse vastavaid ülevooluvalemeid (§ 5-8, p. 2 ja 3).

4. KÄRENDIKU HÜDRAULILISED ARVUTUSED

Lävise ja suudme arvutusi on kirjeldatud eespool (§ 5-10, p. 1 ja 3). Kui ülemise biefi kalle on kriitilisest väiksem ning kui lävises ei kasutata piluülevoolu ega künnist, kujuneb renni algul kriitiline sügavus (h_k) ja

ülemises biefis ning kärendiku rennis langjoon (vt. joon. 5-30, *b*). Voolu sügavus rennis väheneb voolu suunas, lähenedes normaalsügavusele h_0. Kui renn on küllalt pikk (niisama pikk või pikem kui langjoon rennis), kujuneb voolu sügavuseks renni lõpul normaalsügavus h_0, on aga renn lühem, kujuneb voolu sügavus selle lõpul suuremaks kui h_0. Alumises biefis toimub üleminek käredalt voolamiselt rahulikule voolamisele ja seega esineb vooluhüpe. Hüppe-eelseks sügavuseks on see sügavus, mis kujuneb renni lõpus. Sellele vastav kaassügavus (h'') leitakse § 5-9, p. 1 kirjeldatud võtetega. Kui vooluhüpe ei osutu kaetuks, projekteeritakse vahetult renni taha veelöögikaev. Süvendkaevu on võimalik konstrueerida kahte viisi:

1) punktist *B* (vt. joon. 5-30, *b)* pikendatakse renni endise kaldega edasi seni, kui saavutatakse veelöögikaevule vajalik sügavus;

2) punktis *B* tehakse vertikaalne aste (langesein). Viimasel juhul tuleb hüppe-eelne sügavus (h_a) määrata proovimise teel järgmistest valemitest:

$$V_a = \varphi \sqrt{\left(\frac{Q}{\omega_2}\right)^2 + 2g(d + h_2 - h_a)}, \qquad (5\text{-}166)$$

$$h_a = \frac{Q}{V_a b_a}. \qquad (5\text{-}167)$$

Neis h_2 ja ω_2 — voolu sügavus ja elavlõige renni lõpul (punktis *B*);
h_a ja V_a — voolu sügavus ja kiirus ahenenud elavlõikes (kaevus);
d — veelöögikaevu sügavus (vt. § 5-9, p. 3);
b_a — veelöögikaevu laius (m) ja
$\varphi \approx 0{,}97 \ldots 1{,}0$.

Esimeseks lähenemiseks oletatakse, et $h_a = h_2$. Valemiga 5-166 määratakse seejärel V_a ning valemiga 5-167 leitakse h_a, mis asetatakse valemisse 5-166, jne.

Kärendiku hüdraulilised arvutused toimuvad järgmises korras:

1) arvutada h_k (valemid 5-115 ja 5-116; MK III nomogramm XVIII-A);

2) arvutada i_k (valemid 5-121, 5-122) ning võrrelda seda renni kaldega i (kärendikuga on tegemist vaid siis, kui $i > i_k$);

3) arvutada voolu normaalsügavus rennis (valem 5-92; MK III, nomogrammid IX ... XVI);

4) arvutada langjoone pikkus l_0 rennis, võttes $h_1 = h_k$ ja $h_2 = 1{,}01\ h_0$; kui l_0 on lühem kui renni pikkus l_r, siis renni lõpul kujuneb voolu sügavus võrdseks h_0-ga; kui $l_0 > l_r$, siis tuleb proovimise teel määrata voolu sügavus h_2 renni lõpul (vt. § 5-7, p. 5, ülesanne nr. 2);

5) järgneb veelöögikaevu arvutus tavalisel viisil (§ 5-10, p. 2).

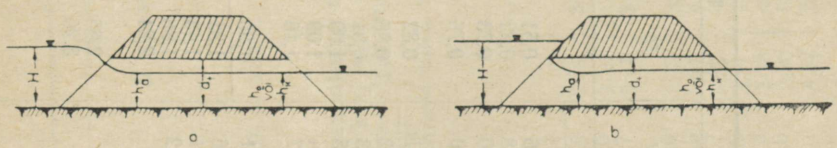
§ 5-11. TRUUBID

Truubiks (ja sillaks) nimetatakse ehitist teedel, mis võimaldab liiklemisvahenditel takistamatult ületada veejuhtmeid. Ehitusmaksumuse vähendamise eesmärgil rajatakse nad peaaegu alati selliste mõõtmetega, mis põhjustavad voolu kitsenemise. Voolu kitsendamine tekitab aga vee paisutuse truubi ees ning voolu kiiruse suurenemise truubis, võrreldes kiirusega looduslikus voolusängis.

Truupide hüdrauliliste arvutuste ülesandeks on ava dimensioonide ja voolu sügavuse ning kiiruse määramine ehitises.

Truubi ava dimensioonid loetakse küllaldasteks, kui ehitis suudab läbi lasta arvutusliku vooluhulga (Q) ning kui seejuures on täidetud järgmised tingimused: 1) voolu kiirus truubis ning sellest väljumisel ei ületa antud konstruktsioonile ja voolusängile ettenähtud lubatavat kiirust; 2) paisutus truubi ees ($H—t$) ei ületa tehnilistes tingimustes ettenähtud piiri. Tavaliselt nõuavad tehnilised tingimused, et paisutatud veepind peab jääma vähemalt 0,5 m allapoole teemuldkeha serva ning 0,25 m allapoole surveta truubi lagipunkti. Seejuures tuleb arvestada ka truubi ees tekkinud uputusest tingitud kahju põllumajandusele.

Voolamine truubis võib toimuda vabalt (surveta), poolsurveliselt või surveliselt.



Joonis 5-31. Truubi pikilõige:
a — surveta voolamine; *b* — poolsurveline voolamine.

Vaba (surveta) voolamine (vt. joon. 5-31, *a*) kujuneb sel juhul, kui truubi otsak on uputamata ning truubis esineb vaba veepind. Voolu sisenemisel truupi kujuneb ahenenud elavlõige sügavusega $h_a \approx 0{,}9h_k$. Voolu sügavus truubist väljumisel sõltub truubi kaldest ja pikkusest. Truubi küllaldase pikkuse puhul kujuneb truubist väljumisel kas normaalsügavus h_0 (kui $i > i_k$) või kriitiline sügavus h_k (kui $i \leqslant i_k$). Surveta voolamine esineb tavalist tüüpi otsakute puhul (portaal-, kaelus- ja lehterotsak), kui $H \leqslant 1{,}2d$ (vt. joon. 5-31, *a*).

Poolsurveline voolamine kujuneb tavalist tüüpi otsakute puhul siis, kui otsak on uputatud (vt. joon. 5-31, *b*), kuid truubis esineb vaba veepind. Voolu sügavus truubist väljumisel kujuneb analoogiliselt surveta voolamisele. Poolsurveline voolamine esineb tavalist tüüpi otsakute puhul, kui $H > 1{,}2\,d$ (vt. joon. 5-31, *b*).

Surveline voolamine kujuneb vaid spetsiaalse (voolujoonelise) kujuga otsaku puhul, kui $H > 1{,}4\,d$. Tavalist tüüpi otsakute puhul puhtal kujul survelist voolamist ei esine, välja arvatud vaid need juhud, kus truup on alumise biefi poolt uputatud.

Et truupide dimensioneerimine valemite abil on tülikas, toimub see praktikas tavaliselt tabelite ja nomogrammidega (tabelid 5-36 ja 5-37, nomogramm XXVIII). Alljärgnev näide selgitab ülesannete lahendamist tabelitega.

Näide. Määrata ümmarguse betoontruubi diameeter ja voolu kiirus truubist väljumisel surveta voolamise tingimustes, kui on antud: $Q = 1{,}6$ m³/sek ja $i = 0{,}01$, truup on portaalotsakuga.

Lahendus. Tabelist 5-36 leiame, et nõutavat läbilaskevõimet omavad truubid:

∅ 0,75 m, kui $H = 2{,}69$ m;	∅ 1,00 m, kui $H = 1{,}37$ m;
∅ 0,90 m, kui $H = 1{,}70$ m;	∅ 1,25 m, kui $H = 1{,}09$ m.

Et surveta voolamise puhul kehtib tingimus $H \leqslant 1{,}2d$, siis neist neljast lahendusest rahuldab ülesandes esitatud nõuet ainult viimane, kus $H = 1{,}09 \leqslant 1{,}2 \cdot 1{,}25 = 1{,}50$ m, seepärast osutubki ∅ 1,25 m nõuetele vastavaks. Määrame nüüd voolu kiiruse, milleks tuleb eelnevalt leida voolu sügavus ja elavlõige truubist väljumisel. Viimaste määramiseks tuleb võr-

Tabel 5-36

Truupide dimensioneerimine

(ümmargused truubid)

Truubi kõrgus d (m)	0,50		0,75		0,90		1,00		1,25		1,50	
H ja V / Q (m³/sek)	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
0,2	0,50	1,6										
0,4	1,02	3,1	0,61	1,7	0,56	1,6	0,55	1,6	0,51	1,5	0,48	1,5
0,6	1,88	4,7	0,79	1,9	0,72	1,9	0,70	1,8	0,62	1,7	0,60	1,7
0,8	3,10	6,3	1,00	2,9	0,86	2,0	0,82	2,0	0,73	1,8	0,69	1,8
0,9			1,17	3,1	0,93	2,1	0,88	2,0	0,76	1,9	0,74	1,8
1,0			1,33	3,5	1,00	2,2	0,94	2,1				
1,1			1,51	3,8	1,05	2,3			0,82	1,9	0,78	1,9
1,2			1,72	4,2	1,18	3,1	1,00	2,2	0,86	2,0	0,82	1,9
1,4			2,19	4,9	1,43	3,5	1,06	2,3	0,91	2,1	0,87	2,0
1,6			2,69	5,6	1,70	4,0	1,17	2,5	1,00	2,2	0,93	2,1
1,8					2,03	4,6	1,37	3,4	1,09	2,3	1,00	2,2
2,0					2,36	5,0	1,59	3,7	1,16	2,4	1,08	2,2
2,2					2,67	5,5	1,80	4,1	1,26	2,5	1,15	2,3
2,5							2,04	4,6	1,33	2,6	1,21	2,4
3,0							2,47	5,1	1,43	2,8	1,30	2,5
3,5							3,26	6,2	1,86	3,8	1,47	2,7
4,0									2,24	4,6	1,63	2,9
4,5									2,66	5,2	1,75	3,1
5,0									3,26	5,9	2,07	4,2
5,5											2,38	4,6
6,0											2,67	5,0
											2,99	5,5

H — voolu sügavus truubi ees (m);
V — voolu kiirus truubist väljumisel (m/sek) *
Truubid: portaal-, lehter- ja kaelusotsakuga.
Ülalpool kriipsu olevaid suurusi kasutatakse normaalsetes ekspluatatsioonitingimustes, allpool kriipsu — erakordsetes ekspluatatsioonitingimustes.

* Kiirus on antud voolu kriitilise sügavuse puhul.

Truupide dimensioneerimine

(nelinurksed truubid)

Truubi kõrgus d (m)	1,0		1,5		1,8		2,0		2,2		2,4		2,6		2,8		3,0	
H ja V / q (m³/sek)	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
0,4	0,44	1,6																
0,6	0,58	1,8																
0,8	0,70	2,0																
1,0	0,82	2,1																
1,2	0,93	2,3																
1,4	1,02	2,4																
1,6	1,11	2,5																
1,8	1,21	2,9	1,21	2,6														
				2,7														
2,0	1,35	3,2	1,31	2,9	1,51	2,9												
2,5	1,76	4,0	1,51	3,2	1,68	2,7	1,68	3,1										
3,0	2,27	4,8	1,68	3,8	1,89	3,1	1,88	2,8	1,88	3,3								
3,5	2,88	5,6	1,93	4,3	2,08	3,6	2,05	3,2	2,05	3,2	2,05	3,4						
4,0			2,23	4,8	2,28	4,0	2,23	3,6	2,23	3,6	2,23	3,6	2,23	3,6				
4,5			2,59	5,4	2,46	4,5	2,39	4,0	2,39	4,0	2,39	4,0	2,39	4,0	2,39	3,7		
5,0			2,97	5,9	2,67	4,9	2,41	4,4	2,54	4,0	2,54	3,7	2,54	3,7	2,54	3,7	2,54	3,8
5,5			3,55															
6,0					3,00	5,3	2,89	4,8	2,73	4,3								
6,5					3,32	5,8	3,18	5,2	2,95	4,7	2,70	4,0	2,70	3,9	2,70	3,9	2,70	3,9
7,0							3,50	5,6	3,18	5,1	2,87	4,3	2,87	4,0	2,86	4,0	2,86	4,0
7,5									3,46	5,4	3,04	4,7	3,02	4,0	3,02	4,0	3,02	4,0
8									3,79	5,8	3,26	5,0	3,17	4,6	3,16	4,2	3,16	4,2
9											3,53	5,3	3,38	4,9	3,32	4,6	3,30	4,3
10											4,10	6,0	3,80	5,5	3,64	5,1	3,52	4,8
													4,32	6,2	4,05	5,7	3,90	5,3

Vooluhulk $q = \frac{Q}{b}$ (m³/sek) — truubi laiuse 1,0 m kohta;

H — voolu sügavus truubi ees (m);

V — voolu kiirus truubist väljumisel (m/sek).*

Ülalpool kriipsu olevaid andmeid kasutatakse normaalsetes ekspluatatsioonitingimustes: truupidel — varu otsakus on $^1/_6$ truubi kõrgust, kuid mitte üle 0,5 m; sildadel — varu silla avaehitiseni on 0,25...0,50 m; allpool kriipsu algab truupidel poolsurveline voolamine, sildadel algab kandekonstruktsiooni uputatus.

Tabeli ülemises osas puuduvad H ja V suurused tuleb võtta samalt realt vasakult lähemast vastavast H ja V lahtrist.

Tabel kehtib lehterotsakuga truupide kohta (1:2). Portaal- ja kaelusotsaku puhul tuleb q korrutada koefitsiendiga k

$b:d$	1 : 0,5	1:0,67	1:1	1:1,5
k	0,98	0,93	0,91	0,86

* Kiirus on antud voolu kriitilise sügavuse puhul.

relda truubi kallet (i) kriitilise kaldega (i_k). Kriitilise kalde määrame valemiga 5-121, mille kasutamiseks tuleb eelnevalt määrata voolu kriitiline sügavus, milleks kasutame MK III, nomogrammi XVIII-A. Sealt leiame $Q=1{,}6$ ja $d=1{,}25$ järgi, et $\eta_d=0{,}55$ ja seega $h_k=0{,}55\cdot 1{,}25=0{,}69$ m. Tabelist 5-3 saame suhtelise sügavuse $\eta=0{,}55$ järgi $\omega=0{,}44d^2=0{,}44\cdot 1{,}25^2=0{,}69$ m^2 ning $R=0{,}26d=0{,}26\cdot 1{,}25=0{,}33$ m. Tabelist 5-6 saame $R=0{,}33$ m ja $n=0{,}014$ puhul $C=60{,}0$. Arvutame nüüd kriitilise kalde: $i_k=\frac{1{,}6^2}{0{,}69^2\cdot 60{,}0^2\cdot 0{,}33}=0{,}0045$. Et $i=0{,}01>i_k=0{,}0045$, siis truubist väljumisel on voolul normaalsügavus (h_0). Et truup töötab osalise täitega, siis määrame voolu normaalsügavuse § 5-6, p. 4 esitatud meetodil ning tabelitega 5-19 ja 5-20 (IV ülesandeliik). Tabelist 5-20 leiame $d=1{,}25$ m järgi interpoleerimise teel, et $K_0=41{,}1$ (karedusarvuks on võetud 0,014); valemist 5-94 saame: $K=\frac{Q}{\sqrt{i}}=\frac{1{,}6}{\sqrt{0{,}01}}=16{,}0$. Seejärel arvutame: $B=\frac{K}{K_0}=\frac{16{,}0}{41{,}1}=0{,}39$; tabelist 5-19 leiame B järgi, et $\eta=0{,}44$ ja seega $h_0=\eta d=0{,}44\cdot 1{,}25=0{,}55$ m. Voolu kiiruse arvutame valemiga $V=AW_0\sqrt{i}$ (valem 5-108), kusjuures $A=0{,}94$ (tab. 5-19) ning $W_0=33{,}3$ (tab. 5-20): $V=0{,}94\cdot 33{,}3\sqrt{0{,}01}=3{,}13$ m/sek.

Nelinurksete truupide puhul leitakse sobiv truubi kõrgus (d), varieerides truubi laiust b, kusjuures lähtesuuruseks tuleb sel juhul võtta $q=\frac{Q}{b}$. Erinevalt eelmisest näitest tuleb siin h_0 määrata valemiga 5-92 ($Q=\omega C\sqrt{Ri}$) proovimise teel või nomogrammiga IX ning arvutada seejärel V.

KIRJANDUST

1. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т. и Пикалов Ф. И. Гидравлика. Москва-Ленинград, 1954.
2. Даденков Ю. Н., Зубрий П. Е. Гидротехнические расчеты. Киев, 1949.
3. Даденков Ю. Н., Зубрий П. Е. Гидравлический расчет каналов. Киев, 1951.
4. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Москва-Ленинград, 1957.
5. Комов В. А. Гидравлика. Москва-Ленинград, 1960.
6. Краткий справочник по трубам и малым мостам. Москва, 1956.
7. Латышенков А. М., Лобачев В. Г. Гидравлика. Москва, 1956.
8. Мостков М. А. Гидравлический справочник. Москва, 1954.
9. «НиТУ» 141—56. Москва, 1957.
10. Павловский Н. Н. Гидравлический справочник. Ленинград-Москва, 1937.
11. Справочник по гидротехнике. Москва, 1955.
12. Федоров Н. Ф. Гидравлический расчет канализационных сетей (расчетные таблицы). Москва, 1958.
13. Чертоусов М. Д. Гидравлика, специальный курс. Москва-Ленинград, 1957.
14. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных и асбестоцементных водопроводных труб. Москва, 1956.

KUUES PEATÜKK

KUIVENDUSVÕRGU KOOSSEIS, DETAIL- JA PIIRDEVÕRK

§ 6-1. KUIVENDUSVIISID

Kuivendusviisi all mõistetakse võtteid ja abinõusid, millega mullast kõrvaldatakse liigniiskus. Kuivendusviise võib jagada kahte rühma, hüdromelioratiivseteks ja agromelioratiivseteks.

Hüdromelioratiivsed kuivendusviisid kuuluvad oma iseloomult põhiliste kuivendusviiside hulka, kuna agromelioratiivseid kuivendusviise rakendatakse tavaliselt vaid raskemate muldade kuivendamisel täiendavate abinõudena eelmistele lisaks. Hüdromelioratiivsete kuivendusviiside hulka kuuluvad:

a) kraavkuivendus (kuivendus lahtise detailvõrguga);
b) drenaažkuivendus (kuivendus kinnise detailvõrguga);
c) vertikaalkuivendus;
d) polderkuivendus;
e) kolmatsioon;
f) üleujutuste reguleerimine luhtadel jt.

Suurematel massiividel, kogu vesikonna ulatuses, kasutatakse liigvee (peamiselt üleujutuste) vastu võitlemiseks metsaribasid ja veehoidlaid.

Kraav- või drenaažkuivenduse puhul kõrvaldatakse liigvesi isevoolu teel töötava kuivendusvõrgu abil. Need kuivendusviisid leiavad kasutamist enamikul juhtudel ja seepärast võib neid nimetada ka *tavalisteks kuivendusviisideks*. Ülejäänud kuivendusviiside puhul kasutatakse mitmesuguseid erivõtteid, mispärast neid nimetatakse ka *erikuivendusviisideks*. Vertikaalkuivenduse puhul juhitakse liigvesi kuivendatavast pinnasekihist ära vertikaalsuunas kas pealmaaveejuhtmetesse või sügavamatesse vettmahutavatesse pinnasekihtidesse. Polderkuivendusel kõrvaldatakse liigvesi tammidega kaitstud maa-alalt (poldrist) pumpamise teel. Kolmatsiooni puhul ei juhita vett ära, vaid tõstetakse pinnase pealeuhtmise teel maapind kõrgemaks. Kahjulike üleujutuste vastu võitlemisel luhtades kasutatakse kaitsetammisid.

Hüdromelioratiivsete kuivendusviiside puhul kasutatakse liigvee ärajuhtimiseks mitmesuguse kujuga ja ehitusviisiga veejuhtmeid ja ehitisi, mille toimimine on arvestatud kas määramatuks ajaks (alaline kuivendusvõrk) või mõnikord ka lühemaks perioodiks (ajutine kuivendusvõrk).

§ 6-2. KUIVENDUSVIISI VALIK

Sõltuvalt liigniiskuse põhjustest ja selle kõrvaldamise võimalustest valitakse sobiv kuivendusviis.

Liigvee kõrvaldamiseks kuivendatavalt maa-alalt võib paljudel juhtudel ühesuguste tulemustega kasutada nii kraav- kui ka drenaažkuivendust. Nii ühel kui teisel neist kuivendusviisidest on terve rida iseärasusi, mida maaparandusprojekti koostamisel tuleb arvestada. (Kokkuvõtlikult on drenaaži ja kraavituse eelised ja puudused loetletud tabelis 6-1.)

Tabel 6-1

Drenaaži ja kraavituse võrdlev hinnang

Omadused	Drenaaž	Kraavitus
Head (eelised)	1) Ei lähe kaduma tootvat pinda 2) Ei takista maaharimist ega saagi koristamist 3) Iga-aastased korrashoiukulud on väikesed 4) Ei soodusta umbrohtude ja taimekahjurite levikut 5) Sildade ja truupide tarve on väike 6) Maa kuivab ja soojeneb kevadel 1...2 nädala võrra varem 7) Maa tahenemine toimub ühtlaselt 8) Sademetevesi akumuleerub täielikumalt 9) Kuivendussüsteeme saab otstarbekalt paigutada, maa kasutamisvõimalusi halvendamata	1) On teostatav peaaegu täiesti mehhaniseeritult 2) Ehituskulud on suhteliselt väikesed 3) Vabastab maa kiiresti pinnaveest 4) On kasutatav ka väga väikese kaldega maastikul 5) Rikked on hõlpsasti leitavad
Halvad (puudused)	1) Ehituskulud on suhteliselt suured 2) Rasketel savimaadel vajab täienduseks agromelioratiivsete abinõude rakendamist 3) Nõuab suuremat maapinna kallet 4) Rikete leidmine on raskem ja kõrvaldamine tülikam	1) Kraavide ja pervede alla läheb kaduma 10...20% pinda 2) Iga-aastased remondi- ja korrashoiukulud on suured 3) Maa harimine ja saagi koristamine on raskendatud 4) Kraaviperved soodustavad umbrohtude ja taimekahjurite levikut kuivendatud maal 5) Tuleb ehitada rohkesti sildu, truupe ning purdeid

Drenaaži või kraavituse valikul on mõõduandvad ka kuivenduse teostamise tehnilised võimalused, majanduslikud kaalutlused ja kuivendatava maa-ala kasutamise viis. Kus tehnilised võimalused (veevastuvõtja seisukord, maapinna kalle, pinnas) ei piira kuivendusviisi valikut, seal jäävad määravaiks majanduslikud kaalutlused ja maa kasutamise viis.

Õuemaad, kus see kuivendamist vajab, samuti ka spordi- ja mänguplatse tuleb kuivendada ainult drenaaži abil. Seejuures tuleb siin kasutada mitmesuguseid eriabinõusid, nagu neelukaevusid, poorset

kaevikutäidist ja teisi vahendeid pinnavee kiireks ärajuhtimiseks dreenidesse.

Põllu- ja aiamaal annavad lahtise kuivendusvõrgu kõik puudused ennast täie raskusega tunda. Tootva pinna kaotus kraavide ja kraavipervede alla, takistused mullaharimisel ja saagikoristamisel, raskused umbrohtude ja taimekahjurite tõrjel, kevadiste mullaharimise ja külvitööde hilinemine, rohke sildade ja truupide tarve ning iga-aastased suured korrashoiu- ja ekspluatatsioonikulud, mida kõike lahtine kuivendusvõrk põhjustab, teevad kraavkuivenduse põllu- ja aiamaadel vastuvõtmatuks. Nende maade kuivendamiseks sobib ainult drenaaž. Isegi rasketel savimaadel, kus kraavitust on peetud vältimatuks, põhjendusega, et neil maadel drenaaž algul ei taga küllalt kiiret pinnavee äravoolu, saab drenaaži küllalt hea eduga kasutada, kui kuivendusvõrku täiendatakse neelukaevudega (-filtritega) ja sobivate agromeliooratiivsete abinõudega.

Karjamaadele sobib samuti ainult drenaaž, sest lahtise kuivendusvõrgu korrashoid karjakoplites osutub väga kulukaks. Samuti on maa kasutamine kraavide tõttu mitmeti kitsendatud.

Heinamaadelgi osutub drenaaž majanduslikult tulusamaks kui kraavitus. Ainult tehnilised raskused, nagu väga väike kalle, kõrge veeseis veevastuvõtjas, mida pole võimalik mõõdukate kuludega alandada drenaažile vajalikul määral, või rasked savimullad võivad sundida heinamaade kuivendamisel drenaažist loobuma.

Metsamaadel osutub kraavkuivendus praegustes tingimustes ainukeseks otstarbekohaseks kuivendusviisiks. Tulukus metsamaadelt on tunduvalt väiksem kui põllumajanduslikelt maadelt ja laekub alles pika aja jooksul. See asjaolu sunnib piirama miinimumini kõiki kapitaalmahutusi metsa toogivõime tõstmisel, sealhulgas ka metsamaade kuivendamise osas. Paljud neist puudustest, mis lahtisel detailvõrgul on põllumajanduslikel maadel, ei anna ennast metsamaadel üldse tunda. Lahtine kuivendusvõrk vähendab küll siingi teataval määral tootvat pinda, kuid ühtlasi hõlbustab metsahooldustöid, jagades metsamassiivi kraavidega enam-vähem korrapärasteks osadeks ja vähendades kahjutule ning metsakahjurite leviku ohtu.

§ 6-3. SOODE KUIVENDAMISE ISEÄRASUSI

1. ÜLDNÕUDED

Erinevalt mineraalmaade kuivendamisest tuleb soode kuivendamisel lahendada rida eriküsimusi, mis on seotud turba füüsikaliste omaduste muutumisega kuivenduse mõjul.

Kuivenduse mõjul turvas tiheneb ning vajub. Et soopind vajub rohkem kui veejuhtme põhi, väheneb ka kuivendusvõrgu sügavus. Tihenemise tõttu väheneb turba veeläbilaskvus, veemahutavus ja veeloovutus, aga vee kapillaarne tõus suureneb. Selline turba füüsikaliste omaduste muutumine kahandab kuivendusvõrgu efektiivsust.

Et kuivendusvõrk efektiivselt toimiks ka pärast turba vajumist, on vaja täita rida nõudeid, millest tähtsamad on järgmised.

1. Projekteerida kuivendusvõrgu veejuhtmetele selline sügavus, mis ka pärast turba vajumist jääks veel küllaldaseks.
2. Detailvõrgu vahekauguste määramisel lähtuda turba kuivendusjärgsest filtratsioonivõimest (filtratsioonikoefitsiendist).

3. Põhivõrgu veejuhtmed paigutada tüsedama turbalasundi piirkonda ning vältida nende kui ka detailvõrgu veejuhtmete suunamist tüsedamast turbalasundist õhemasse.

4. Kui veejuhtmed läbivad mineraalkünkaid, tuleb mineraalmaas projekteerida veejuhtme põhi turba vajumise võrra sügavamale kui veejuhtmete põhi vajumata turbas.

5. Drenaaži projekteerimisel ja ehitamisel tuleb arvestada seda, et turvas on kogujakraavide piirkonnas drenaaži ehitamise ajaks juba teataval määral vajunud, mispärast kogujakraavi suubuvate üksikdreenide ja kollektorite suudmeala vajub pärast drenaaži ehitamist vähem kui kraavist kaugemal. Seetõttu muutub dreenide ning kollektorite kalle turba edaspidisel vajumisel väiksemaks ja võib kujuneda isegi vastupidiseks. Säärase olukorra vältimiseks tuleb üksikdreenidele ja kollektoritele projekteerida nende suudmealal suurem kalle kui kraavist eemal.

Soo vajumisest tingitult ei ole sageli sood (või osa sellest) võimalik kuivendadagi, kui soopinna kõrgus veevastuvõtja veetaseme suhtes on väike, mis kuivenduse mõjul muutuks veelgi väiksemaks.

U. Tomberg on vastavate uurimiste põhjal koostanud valemid turba vajumise määramiseks madalsoode kuivendamisel ning filtratsioonikoefitsiendi muutumise kohta turbalasundis sõltuvalt sügavusest.

2. TURBA VAJUMINE

Põhjavee alandamisel rikutakse turbamassi senist tasakaaluseisundit. Gravitatsiooniveest vabanenud turbakiht tiheneb ning vee üleslükkejõu kadumise tõttu avaldab senisest tunduvalt suuremat survet allpool asuvatele kihtidele, mille tõttu toimub vajumine kogu turbalasundi ulatuses. Vajumine on seda suurem, mida suurem on põhjavee alanemine (resp. kuivendusvõrgu sügavus), mida suurem on turbalasundi tüsedus ja tema veesisaldus ning mida väiksem on turba lagundumisaste.

Turba vajumise intensiivsus väheneb aja jooksul ning mõne aasta järel muutub konstantseks, s. o. stabiliseerub. Nii vajus soopind Tooma katsebaasis keskmiselt (m):

1.	aasta	kestel pärast kuivendusvõrgu rajamist	— 0,20
2.	„	„	— 0,035
3.	„	„	— 0,025
4.	„	„	— 0,01

Pärast neljandat aastat vajus soopind keskmiselt 1,5 cm aastas.

Soopinna edaspidist vajumist põhjustab turvasmulla kuivendamise ja harimise tõttu algav intensiivne turba mineraliseerumine, seega turba kui orgaanilise aine kadumine. Et mineraliseerumine toimub ainult kuivendatud kihis, peamiselt selle haritavas osas, siis vajub ka ainult see kiht, kuna kuivendaja põhi ja sellest allpool asuvad turbakihid enam ei vaju.

Turba vajumise määramiseks veejuhtmete projekteerimisel on koostatud järgmised valemid:

a) kuivendajate sügavuse vähenemine:

$$\Delta h_0 = 0{,}14\ m\ h_0; \qquad (6\text{-}1)$$

b) sügavus, mis tuleb anda kuivendajale kaevamisel, et pärast vajumist, s. o. pärast kindlaksmääratud aastaterea möödumist, kujuneks nõutav sügavus (h):

$$h_0 = \frac{h + D}{1 - 0{,}14\, m}; \qquad (6\text{-}2)$$

c) kuivendaja põhja vajumine:

$$\Delta h_p = 0{,}046\, m\, h_0 (H_0 - h_0)^{0{,}70}, \qquad (6\text{-}3)$$

kus h_0 — kuivendaja sügavus enne vajumist (m);
Δh_0 — kuivendaja sügavuse vähenemine (m);
h — „ sügavus pärast vajumist (m);
H_0 — turbalasundi tüsedus enne vajumist (m);
Δh_p — kuivendaja põhja vajumine (m);
D — kuivendaja sügavuse vähenemine turba mineraliseerumise mõjul; puitdreenide puhul võetakse, arvestades nende suhteliselt lühikest iga, $D = 0{,}15$ m; lahtise detailvõrgu puhul võetakse $D = 0$; ja
m — turba omadusi iseloomustav koefitsient (määratakse tabelist 6-2).

Tabel 6-2

Koefitsient m

Madalsooturba lagundumisaste (%)	m
60	0,64
50	1,00
40	1,36
30	1,72
20	2,07

Soopinna vajumine (ΔH_0) saadakse kuivendaja sügavuse vähenemise (Δh_0) liitmisel kuivendaja põhja vajumisega (Δh_p):

$$\Delta H_0 = \Delta h_0 + \Delta h_p. \qquad (6\text{-}4)$$

Turba vajumist on võimalik määrata ka nomogrammiga XXIX-A (MK III).

3. TURBA FILTRATSIOONIVÕIME

Turba filtratsioonivõime (veejuhtivus) sõltub turba botaanilisest koostisest ja lagundumisastmest. Nii on samblaturba filtratsioonikoefitsient tunduvalt väiksem kui tarnaturbal. Lagundumisastme suurenedes turba filtratsioonikoefitsient väheneb. Filtratsioonikoefitsient väheneb ka seoses turba vajumisega (tihenemisega). Vajumise tõttu võib turba veejuhtivus väheneda kuni 10 korda.

Kui lagundumisaste turbalasundi alumistes kihtides on suurem kui ülemistes, nagu see tavaliselt ongi, võib turba filtratsioonikoefitsiendi sõltuvuse sügavusest väljendada valemiga:

$$k_h = \frac{k_t}{10^{\alpha(h-t)}}, \qquad (6\text{-}5)$$

kus k_h — turba filtratsioonikoefitsient h meetri sügavusel (cm/sek);
k_t — filtratsioonikoefitsient t meetri sügavusel, kus toimus selle määramine (cm/sek), ja

$$\alpha = \frac{1}{10^{0,32 + 0,06\, t_{k_t}^{0,10}}}. \qquad (6\text{-}6)$$

Filtratsioonikoefitsiendi suuruseks pärast turba vajumist (tihenemist) võib umbkaudu võtta tabelis 6-3 toodud andmed.

Tabel 6-3

Turba filtratsioonikoefitsient madalsoos
(1 m sügavusel pärast turba vajumist)

Turba lagundumisaste (%)	60	50	40	30	20
Filtratsioonikoefitsient (cm/sek)	0,00015	0,0003	0,00065	0,001	0,0014

§ 6-4. KUIVENDUSVÕRGU KOOSSEIS

Kuivendusvõrk kujutab endast antud objektil — vesikonnas, majandi koguterritooriumil või mõnel maatükil — kuivendamise otstarbel korrastatud looduslike ja kaevatud kunstlike veejuhtmete kogumikku koos nendel asuvate ehitistega (vt. joon. 6-1). Kuivendusvõrgu koosseisu kuuluvad kuivendussüsteemid ja veevastuvõtjad (veejuhtmed).

Veevastuvõtjaks võib olla looduslik või kunstlik veejuhe või veekogu, mis võtab kuivendussüsteemi vee vastu. Selleks võib olla meri, järv, veehoidla, jõgi, oja, kanal, kraav, kuristik, kurisu ning maa-alune veemahuti (vett mahutav pinnasekiht).

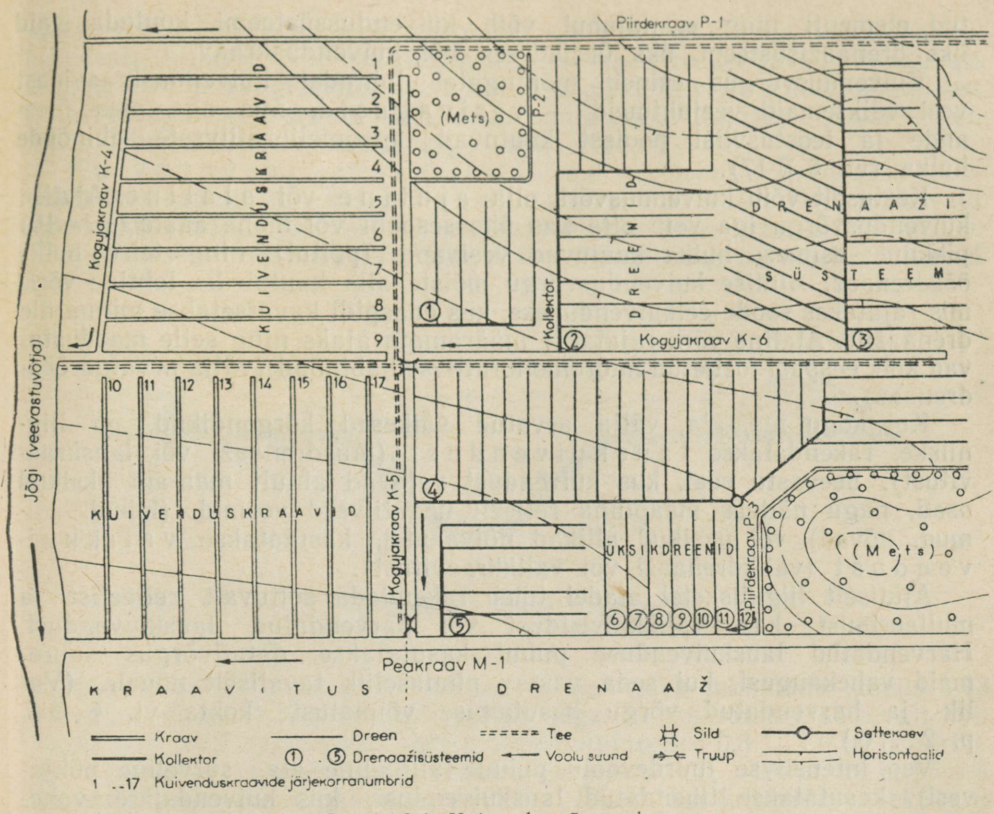
Kuivendussüsteem kujutab endast maade kuivendamise otstarbel korrastatud looduslike ja kaevatud kunstlike veejuhtmete kogumikku koos neil asuvate ehitistega, mis annab oma vee ühe keskse veejuhtme — peakraavi — kaudu edasi veevastuvõtjasse. Kuivendussüsteem jaguneb põhivõrguks, piirdevõrguks ja detailvõrguks.

Kuivendussüsteemi detailvõrgu ülesanne on kuivendatavalt maa-alalt liigvee (nii pinna- kui ka põhjavee) haaramine (vastuvõtmine) ning põhivõrku edasijuhtimine. Detailvõrk võib olla kinnine või lahtine, esimest nimetatakse drenaažiks, teist kraavituseks. Kinnine detailvõrk (drenaaž) koosneb drenaažisüsteemidest* ning üksikdreenidest, kuna lahtise detailvõrgu (kraavituse) moodustavad kuivenduskraavid. Kuivenduskraave ja dreene nimetatakse ka kuivendajateks.

Drenaažisüsteem koosneb dreenidest ning kesksest veejuhtmest — kollektorist; hargnemise korral jaguneb kollektor peakollektoriks ja harukollektoriteks. Üksikdreenid suubuvad igaüks omaette lahtisesse veejuhtmesse.

Drenaaži liigitatakse vastavalt selle ehitusviisile kaevikdrenaažiks ja õõsdrenaažiks. Kaevikdrenaaži rajamiseks kaevatakse

* Praktilisest seisukohast lähtudes on otstarbekohane lugeda kogu drenaažisüsteem tervikuna (kollektor ja dreenid) detailvõrku kuuluvaks.



Joonis 6-1. Kuivendusvõrgu skeem.

drenaažikaevik, kuhu asetatakse vastava konstruktsiooniga dreen (resp. kollektor); õõsdrenaaži puhul kaevikut ei tehta. Kaevikdrenaaž jaguneb oma konstruktsiooni järgi torudrenaažiks ja täidisdrenaažiks. Torudrenaažil täidavad liigvee haaramise ja edasijuhtimise ülesannet maasse asetatud torud, täidisdrenaažil täidab seda ülesannet poorne keha (täidis) ning õõsdrenaažil maa sisse kujundatud õõs. Sõltuvalt materjalist jaguneb torudrenaaž savitoru-, lauttoru-, freestorudrenaažiks ning teisteks torudrenaaži alaliikideks torude materjali (tsement- ja asfaltbetoon, klaas ja plastmass) järgi. Täidisdrenaaž jaguneb latt-, hagu- (ehk fašiin-) ning kividrenaažiks. Õõsdrenaaži liigitatakse õõne kuju järgi mutt- ja piludrenaažiks. (Lähemalt üksikutest drenaažiliikidest vt. § 6-6 kuni § 6-10.)

Kuivendussüsteemi põhivõrk koosneb peakraavist ja kogujakraavidest. Viimased on vahelüliks detailvõrgu ja peakraavi vahel. Hargnemise korral jaguneb kogujakraav I, II jne. järgu kogujakraavideks (I järgu kogujakraav suubub peakraavi). Põhivõrgu ülesanne on detailvõrgust saabuva vee edasijuhtimine veevastuvõtjasse.

Kuivendussüsteemi piirdevõrgu moodustavad piirdekraavid ja piirdedreenid, mille ülesanne on kuivendatavale maaalale kõrvalt pealevalguva (väljastpoolt saabuva) pinna- ja põhjavee äralõikamine ning selle edasijuhtimine kas põhivõrku (resp. drenaaži kollektorisse) või otse veevastuvõtjasse.

Kuivendussüsteemis võib puududa üks või mitu eespool loetle-

tud elementi ning erandjuhul võib kuivendussüsteemi kuuluda vaid üks drenaažisüsteem, üks üksikdreen või kuivenduskraav.

Kuivendusvõrgus esineb mõningatel juhtudel kuivenduskraavidest veel väiksemaid veejuhtmeid — vesivagusid, mis aga oma ülesande ja teostusviisi poolest kuuluvad agromelioratiivsete abinõude hulka (vt. § 6-17).

Kestuselt võib kuivendusvõrk olla ajutine või alaline. Ajutise kuivendusvõrgu iga võib olla kas ühe sesooni või mõne aasta (1 ... 10) pikkune; esimese hulka kuuluvad vesivaod (põllul) ning teise hulka õõsdrenaaž. Ajutise kuivendusvõrgu mõiste alla kuulub ka lahtine võrk, mis rajatakse soode eelkuivenduseks, kus edaspidi kavatsetakse minna üle drenaažile. Alaline võrk rajatakse määramata ajaks ning selle moodustavad kõik eespool loetletud hüdromelioratiivsed abinõud (välja arvatud õõsdrenaaž).

Kui kogu maa-ala, välja arvatud väikesed kõrgendikud, on liigniiske, rakendatakse lauskuivendust (lausdrenaaži või lauskraavitust). Seevastu seal, kus kuivendust vajavad ainult maa-ala üksikud osad, nagu näiteks maapinna reljeefi negatiivsed vormid (lohud, loimud, nõvad) või üksikud allikad nõlvakutel, kasutatakse valikkuivendust (valikdrenaaži või valikkraavitust).

Ajutiselt liigniisketel aladel tuleb rakendada sõltuvalt reljeefist ja mullaerimist kas valikkuivendust või harvendatud lauskuivendust. Harvendatud lauskuivenduse puhul kasutatakse detailvõrgus suuremaid vahekaugusi, kui seda vastav pinnaseliik tavaliselt nõuab. (Valik- ja harvendatud võrgu kasutamise võimaluste kohta vt. § 2-6, p. 2 ... 6.)

Vee intensiivse juurdevoolu puhul (allikaline ala, surveline põhjavesi), kasutatakse tihendatud lauskuivendust, kus kuivendajate vahekaugused on tavalisest väiksemad.

§ 6-5. KRAAVITUS

1. KASUTAMISULATUS

Maa kuivendamine lahtise detailvõrgu abil on Eesti NSV-s olnud laialdaselt kasutusel niihästi põllumajanduslikel kui ka metsamajanduslikel maadel. Põllumajanduslikel maadel asendub kraavitus järjest rohkem drenaažiga, kuid metsamaade osas jääb kraavitus ka edaspidi veel ainuvalitsevaks. Põllumajanduslike maade kuivendamisel kasutatakse kraavitust neil juhtudel, kui kõrge veeseis veevastuvõtjas või kuivendatava maa-ala väike kalle ei võimalda kasutada drenaaži. Samuti on loopealsed alad drenaaži kasutamiseks sobimatud. Üksikutel juhtudel võivad majanduslikud kaalutlused õigustada lahtist detailvõrku ka teistsugustes tingimustes, eriti heinamaal. Raskete savimaade piirkonnas (Lääne- ja Edela-Eestis) leiab selline kuivendusviis esialgu veel kasutamist isegi põllumaadel.

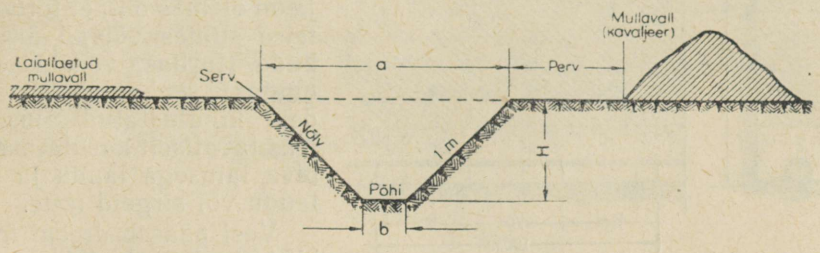
2. LAHTISE DETAILVÕRGU KOOSSEIS JA KONSTRUKTSIOON

Lahtine detailvõrk koosneb kuivenduskraavidest.

Kuivenduskraavide pikkuse ja asendi määravad kuivendatava maa-ala reljeef ja kontuurid. Tavaliselt kõigub kuivenduskraavide

pikkus 80 ja 600 m piirides, kusjuures sobivaim pikkus on 300 ... 400 m. Lühikesed kraavid pole soovitatavad, sest need raskendavad tunduvalt maaharimist ja saagi koristamist. Ka väga pikad kraavid pole sobivad, sest kraaviadraga kaevates on neile raske anda kogu ulatuses sobivat kallet, mille tõttu vee äravool neis on sageli takistatud.

Kuivenduskraavide ristlõige (vt. joon. 6-2) tehakse eranditult trapetsikujuline, kusjuures selle mõõtmeid ei määra vooluhulk, vaid konstruktiivsed kaalutlused või mehhanismid, millega kraavid kaevatakse. Põhja laiuseks võetakse tavaliselt 0,2 ... 0,3 m ning nõlvuseks sõltuvalt



Joonis 6-2. Kraavi ristlõige.

pinnasest 1 : 0,75 kuni 1 : 2. Nõlvuse valikul tuleb juhinduda tabelis 5-13 antud soovitustest. Kuivenduskraavide sügavus määratakse sõltuvalt kuivendatava maa kasutamise viisist mineraalpinnases 0,8 ... 1,0 m ja turbapinnases turba vajumise võrra rohkem, tavaliselt 0,9 ... 1,4 m, nii et pärast vajumist kujuneks sügavuseks ca 0,8 ... 1,0 m. Ka kraavide vahekaugus määratakse sõltuvalt nõutavast kuivenduse intensiivsusest (vt. § 6-13, -15 ja -16).

Tavaliselt kaevatakse kuivenduskraavid kraaviadra abil; sel juhul kujuneb kraavi põhja laiuseks 0,2 m, nõlvuseks 1:1 ning sügavuseks 0,7...1,2 m. Adrakraavide kalle kujuneb vastavalt maapinna looduslikule kaldele kaevatava kraavi trassil, mis harva on küllalt ühtlane selleks, et vee vaba äravool kogu kraavi ulatuses oleks täielikult tagatud. Seepärast on vaja parandada kallet käsitsi viimistlemisega. Minimaalseks kaldeks tuleb pidada 0,5‰ ja ülempiiriks kallet, mille ületamisel voolu kiirus põhjustaks juba kraavi põhja ja nõlvade uhtumist. Soovitatavaks võib pidada kallet 1 ... 5‰. Et kuivenduskraavid paigutatakse reeglina terava nurga all horisontaalide suhtes, ei esine neis tavaliselt uhtumise ohtu, seevastu põhjustab aga settimine sageli rohkesti tööd kraavide korrashoiul.

Kraavide kaevamisel saadud pinnas tuleb ajada võimalikult ühtlase ja õhukese kihina laiali. Kui erandjuhul kraavivallid jäävad laiali ajamata (rähkne, kivine, viljatu pinnas), tuleb nendesse pinnavee kraavi pääsemiseks teha maapinna madalamatesse kohtadesse keskmiselt 20 ... 30 m tagant avad (rennid).

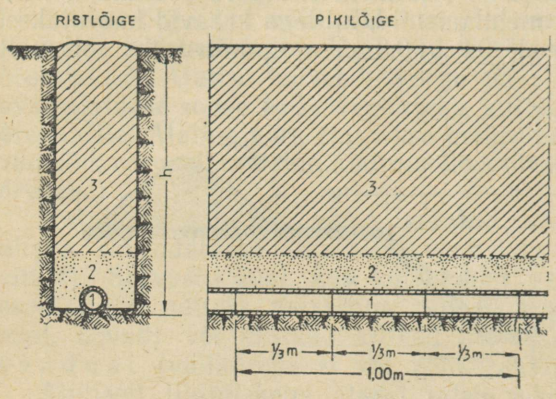
§ 6-6. SAVITORUDRENAAŽ

1. KASUTAMISULATUS

Põllumajanduslike maade kuivendamiseks kasutatavatest drenaažiliikidest on savitorudrenaaž kõige levinum. Savitorudrenaaž on kasutatav kõigil põllumajanduslikel kõlvikutel.

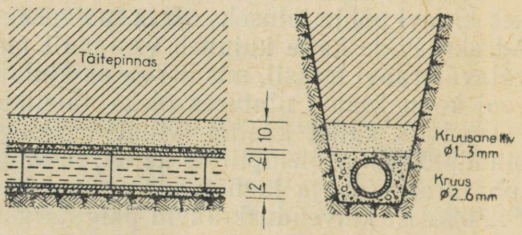
2. KONSTRUKTSIOON JA TOIMIMISVIIS

Savitorudreenid koostatakse üksikutest savitorudest, mis otsakuti üksteise vastu paigutatuna moodustavad torustiku (vt. joon. 6-3). Savitorudrenaaži üksikuid torusid ei ühendata omavahel, seetõttu jääb dreeni pidevus ja kalde ühtlus olenevaks drenaažikaeviku põhja tasasusest ja püsivusest. Kus kaeviku põhjal looduslikult vajalikku püsivust ei ole ja on olemas oht, et torud üksteise suhtes võivad ära nihkuda (turbas, vedelas savis, mudas), seal tuleb teha torudele kindlustatud alus, milleks tavaliselt kasutatakse sobiva laiusega laudu ja pindlaudu või sirgeid latte.



Joonis 6-3. Savitorudreen:
1 — savitoru; *2* — kattekiht; *3* — täitepinnas; *h* — dreeni sügavus.

Vesi pääseb dreeni torude liitekohtade (liiduste) kaudu. Läbi toruseinte on vee imbumine tähtsusetult väike, kui torud ei ole varustatud aukude või piludega, või kui torud pole valmistatud erilise menetlusega, mis toruseinte poorsust ja seega ka nende veeläbilaskvust suurendab. Tihedalt üksteise vastu otsakuti paigaldatud torude otste vahele jääb ka väga korrapärase kujuga ja siledate otstega torudel umbes 0,5 mm laiune pilu. Kuna aga savitorude otsad ei ole täiesti tasased, siis jääb toru otste vaheline pilu tavaliselt laiemaks kui 0,5 mm. Ilma suurema ohuta võib pilu laius olla kuni 2 mm, laiematest piludest võivad aga juba pääseda peenikesed pinnaseosakesed dreenidesse ja põhjustada viimaste ummistumist.



Joonis. 6-4. Savitorudreen kruusfiltriga.

Allikaliste alade kuivendamisel, kus vee juurdevool on väga intensiivne, kasutatakse sõeltorusid, s. o. savitorusid, millesse vee sissepääsuks on tehtud pilusid või auke (vt. § 6-6, p. 7). Pinnaseosakeste sisseuhtumise vältimiseks ümbritsetakse sõeltorud kruusfiltriga (vt. joon. 6-4). Üksikute suurema deebitiga allikate puhul tuleb kasutada allikakaevu (vt. lk. 245).

3. SÜSTEEMID

Savitorudrenaaž kujundatakse tavaliselt süsteemide kujul. Süsteemiks nimetatakse sellist iseseisvat osa drenaaživõrgust, mis ühe ühise suudme kaudu annab vee edasi lahtisesse veejuhtmesse või veekogusse. Drenaažisüsteem koosneb dreenidest, kollektorist (mis suurematel süsteemidel võib hargneda) ja vajalikust armatuurist (suudmetoru, settekaev, astangkaev jm.). Üks süsteem võib hõlmata maa-ala, mille suu-

rus on mõnest aarist mitmekümne hektarini. Kuivõrd maastiku reljeef, kasutada olevate torude läbimõõt ja pinnase iseärasused ei piira süsteemi suurust, on soovitatav kujundada võimalikult suuri süsteeme. Selle läbi väheneb lahtiste veejuhtmete vajadus, suureneb drenaažisüsteemi toimimiskindlus ja vähenevad iga-aastased korrashoiukulud. (Dreenide paigutust maastikul, samuti nende omavahelist asendit ja sügavust on käsitletud § 6-12 ja -13.)

4. DREENIDE PIKKUS

Drenaaži ehitamise lihtsustamiseks on soovitatav, et dreenid oleksid võimalikult pikad, sest siis jääb ühenduskohtade arv minimaalseks ja muudki drenaažitööd lähevad jõudsamini. Maastiku reljeef, torude läbilaskevõime ja sageli ka pinnase iseärasused sunnivad aga dreenide pikkust piirama.

Dreenide maksimaalne pikkus võib olla:

$$l_{max} = \frac{10000\,Q}{Eq_{max}}, \qquad (6\text{-}7)$$

kus l_{max} — dreeni maksimaalne pikkus (m);
Q — dreeni läbilaskevõime antud kalde ja läbimõõdu juures (*l*/sek);
q_{max} — maksimaalne äravoolumoodul (*l*/sek.ha) ja
E — dreenide vahekaugus (m).

Näide. Dreeni läbimõõt $d=5$ cm, kalle $i=3‰$, $E=30$ m ja $q_{max}=0{,}80$ *l*/sek.ha; siis $Q=0{,}48$ *l*/sek* ja $l_{max}=\frac{10000 \cdot 0{,}48}{30 \cdot 0{,}80}=200$ m.

Dreenideks kasutatakse savitorusid läbimõõduga 50 mm ja 40 mm.

Tavaliselt on dreenide pikkus kuni 150 m (50 mm torud) või kuni 100 m (40 mm torud); ainult erandjuhuna võib hea kalde puhul lubada kuni 30% võrra suuremat pikkust. Liikuvate rauaühendite (ferroühendite) poolest rikastes ja nn. vesiliivapinnastes tuleb dreenideks kasutada ainult 50-millimeetrilisi torusid ning kõige rohkem 100 m pikkusi dreene.

Dreenide lubatud minimaalne kalle tavalistes pinnastes on 2,5‰ (50 mm torud) ja 3,5‰ (40 mm torud). «Vesiliivas» ja liikuvaid raua- või väävliühendeid sisaldavas pinnases peab kalle olema suurem kui 3,5‰. (Dreenide ja kollektorite minimaalsed lubatavad kalded ja voolu kiirused on esitatud tabelis 5-27.)

5. SAVITORUDE MÕÕTMED

Drenaažiks kasutatavaid savitorusid valmistatakse ainult riikliku standardiga kindlaksmääratud mõõtmeis. Kuni 1957. a. oli Eesti NSV-s kehtiv savitorude nomenklatuur torude siseläbimõõduga 40, 50, 65, 80, 100, 130 ja 160 mm. 1957. a. kehtestatud standardi kohaselt (ГОСТ 8411-57) on savist drenaažitorude normaalläbimõõtudeks määratud 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175 ja 200 mm. Torude normaalpikkuseks on 1/3 meetrit. (Savitorude kvaliteedinõudeid vt. MK IV.)

* MK III, nomogramm XXII-A.

6. TORUDE TARVE

Torude normaalpikkuse juures peaksid kolm toru andma täpselt 1 m pikkuse dreeni või kollektori. Torude purunemise tõttu transportimisel ja muudel põhjustel väljapraagitavate torude arvel arvestatakse torude kulu 5% võrra suuremana, s. t. 1 jm drenaaži ehitamiseks arvestatakse 3,15 toru. Tegelik kulu osutub sellest enamasti veelgi suuremaks, sest torude kvaliteet ei vasta veel täielikult standardi nõuetele. Drenaažitorude tarbe ligikaudseks kalkuleerimiseks võib kasutada tabelis 6-4 toodud arvusid.

Tabel 6-4

Drenaažitorude tarve 1 ha kohta

Dreenide vahekaugus (m)	Vajatav torude hulk (tuh. tk.)	Dreenide vahekaugus (m)	Vajatav torude hulk (tuh. tk.)
10	3,38	25	1,49
12	2,86	26	1,44
14	2,48	28	1,39
16	2,20	30	1,28
18	1,97	32	1,21
20	1,80	34	1,15
22	1,66	36	1,10
24	1,54	38	1,06
		40	1,01

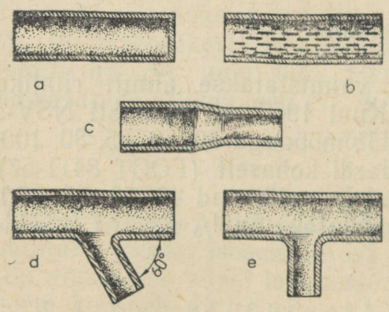
Märkus. Arvestatud on 3,15 toru ühe jm kohta.

Eri suurusega torude tarve protsentides torude kogutarbest on Eesti NSV-s kogemuste järgi olnud keskmiselt järgmine:

siseläbimõõduga 50 mm	83,3%
„ 75 „	12,3%
„ 100 „	2,7%
„ üle 100 „	1,7%

7. ERIOTSTARBELISED TORUD

Peale tavaliste drenaažitorude esineb mõnikord vajadus kasutada erikonstruktsiooniga torusid, nagu piludega ehk sõeltorud, dreeni lõpptorud ja ühelt läbimõõdult teisele ülemineku torud (vt. joon. 6-5).



Joonis 6-5. Eriotstarbelisi savitorusid: *a* — lõpptoru; *b* — sõeltoru; *c* — ülemineku-toru; *d*, *e* — kolmikud.

Piludega või aukudega sõeltorusid on soovitatav kasutada väga vesiste (allikaliste) alade kuivendamisel, kus vee juurdevool dreeni on nii intensiivne, et liidusepiludest üksi ei piisa vee vastuvõtmiseks. Pilude või aukude arv on sõltuv toru läbimõõdust; tavaliselt tehakse neid üüte torusse 10 ... 40 tk. Pilud tehakse laiusega 1,5 ... 2,0 mm ja pikkusega 35 mm.

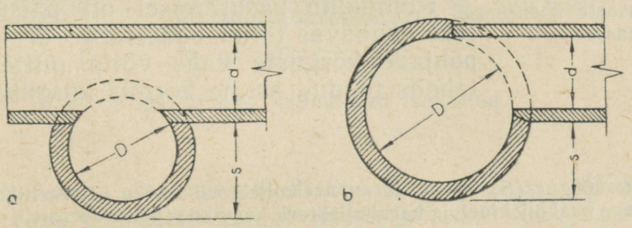
Dreenide alguses (ülemises otsas) tuleb esimese toru ots sulgeda, et takistada pinnase valgumist dreeni. On otstarbekohane kasutada selleks spetsiaalseid suletud otsaga torusid, siseläbimõõduga 50 mm (lõpptorud).

Kui kollektori sirgel otsal tuleb teha üleminek väiksemalt läbimõõdult suuremale, siis on soovitatav kasutada selleks üleminekutoru.

8. DREENIDE ÜHENDAMINE KOLLEKTORIGA

Kõige paremini saab dreene kollektoriga ühendada spetsiaalsete fassongtorude ehk kolmikute (vt. joon. 6-5) abil. Sellised kolmikud tehakse torude ühendamiseks kas täisnurga või 60°-se nurga all. Sagedamini kasutatavad kolmikud on 50/75; 50/100; 50/125; 75/100 ja 75/125 mm.

Kolmikute puudumise korral ühendatakse dreen ja kollektor tavaliste torude abil. Ühendused tehakse kas pealtühendusena või külgühendusena. Pealtühenduse puhul raiutakse või käiatakse auk kollektoritorule pealt sisse, kuna sellesse suubuva dreenitoru sisse tehakse vastava suurusega auk alt. Mõlemad augud asetatakse torude paigaldamisel kohakuti (vt. joon. 6-6, *a*). Sellise ühenduse korral voolab vesi kollektorisse ülevalt. Külg-



Joonis 6-6. Savitorudrenaaži ühendused:
a — pealtühendus; *b* — külgühendus.

ühenduse puhul annab kollektorisse suubuv dreen oma vee kollektorisse küljelt. Kollektoritoru külje sisse raiutakse sobiva suurusega auk ja sellesse sobitatakse dreenitoru ots (vt. joon. 6-6, *b*).

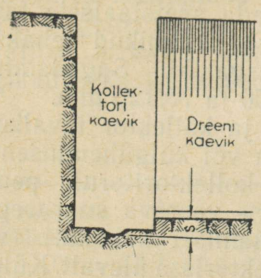
Kus maapinna väike kalle või pinnase rohke rauaühendite sisaldus selleks takistusi ei tee, tuleb eelistada pealtühendust. Külgühenduste kasutamine osutub paratamatuks seal, kus maapinna väikese kalde tõttu pole kollektorile võimalik anda pealtühenduseks vajalikku sügavust või kus on ette näha rauaookri tekkimine drenaažisüsteemis. Torude ummistumist põhjustava rauaookri tekkimine esineb happelise reaktsiooniga maade kuivendamisel, kus drenaaživesi sisaldab lahustunud rauaühendeid, mis kokkupuutumisel õhuhapnikuga muutuvad lahustumatuks ja sadestuvad drenaažitorudes. Nii muutub näiteks vees lahustunud rauabikarbonaat rauaookriks järgmiselt:

$$2\,Fe\,(HCO_3)_2 + O + H_2O \rightarrow 2\,Fe\,(OH)_3 + 4CO_2\,.$$

See keemiline reaktsioon toimub seda intensiivsemalt, mida suurem on vee kokkupuutepind õhuga. Dreenide pealtühenduse korral tekib ühenduskohas väike vee kukkumine, mille juures drenaaživesi seguneb hästi õhuga, ja mis niiviisi soodustab rauaookri tekkimist.

Külgühenduse puhul tuleb kollektori siselagi sobitada kokku suubuva dreenitoru siselaega. Sama läbimõõduga torude ühendamisel ei ole soovitatav kasutada külgühendust. Kui seda erandjuhtudel siiski peab tegema, tuleb kollektori ja suubuva toru kaeviku põhja kõrguste vaheks võtta torudel Ø 40 mm 1 cm, Ø 50 ... 125 mm puhul 2 cm ning Ø 150 mm ja rohkema puhul 3 cm. Sel juhul tuleb kollektori lagi toru välispinnal sobitada kokku suubuva toru laega toru sisepinnal.

Pealtühenduse puhul tuleb suubuvasse torusse teha elliptilise kujuga ava, mille ristlõike pind (toru sisepinnal) peab olema ca $^2/_3$ toru ristlõikest. Kollektorisse tehtava ava kontuur kollektori sisepinnal peab ühtima suubuva toru ava kontuuriga selle välispinnal. Ideaalse pealtühenduse saab juhul, kui kasutada käiu või poolümmargusi raspleid, millest ühega, mille läbimõõt on võrdne suubuva toru välisläbimõõduga, tehakse ava vastuvõtvasse torusse ja teisega, mille läbimõõt on võrdne vastuvõtva toru siseläbimõõduga, tehakse ava suubuvasse torusse (raspli lameda küljega silutakse vajaduse korral toru otsi). Tabelis 6-5 on esitatud andmed drenaažikaevikute põhjade kõrguste vahe kohta pealt- ja külgühenduste puhul (vt. joon. 6-7). Tabeli koostamisel on aluseks võetud savitorude normaalläbimõõdud ja seina maksimaalne paksus ГОСТ 8411-57 järgi.



Joonis 6-7. Drenaažikaevikute sügavusaste ühenduskohas.

Kolmikute kasutamisel on paisutuse vältimiseks suubuvas torus soovitatav drenaažikaevikute põhjade kõrguste vahe võtta mitte väiksem kui tabelis toodud astme kõrgus külgühenduse puhul.

Tabel 6-5

Astme kõrgus (S) savitorudrenaaži kollektorikaeviku ja dreenikaeviku (resp. peakollektori ja harukollektori kaeviku) põhja kõrguste vahel

d — suubuva toru siseläbimõõt (mm), D — vastuvõtva toru siseläbimõõt (mm), pü. — pealtühenduse korral, kü. — külgühenduse korral.

(Koostanud E. Vei)

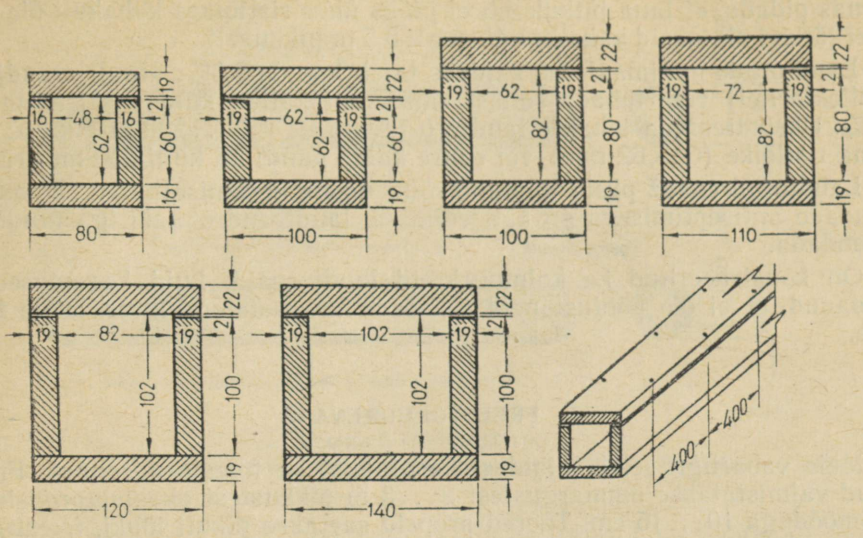
D	Astme kõrgus s (cm)															
	d=40		d=50		d=75		d=100		d=125		d=150		d=175		d=200	
	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.	pü.	kü.
50	5	1	4	—												
75	8	4	7	3	6	—										
100	10	7	10	6	9	3	8	—								
125	13	9	13	8	12	6	11	3	10	—						
150	16	12	16	11	15	8	14	6	13	3	12	—				
175	19	15	18	14	18	11	17	8	16	6	15	3	14	—		
200	21	18	21	16	20	14	20	11	19	8	18	6	17	3	16	—

§ 6-7. PUITTORUDRENAAŽ

Soode kuivendamisel drenaaži abil on savitorude kasutamine raskendatud, sest kaevikupõhja nõrk ja ebaühtlane kandvus põhjustab üksikute torude paigalt nihkumist veel pärast sedagi, kui drenaaž on juba valmis ehitatud. Et turvas on hea konserveeriva toimega, siis on puittorud turbas osutunud ka küllalt vastupidavaks. Puittorudrenaaž ehitatakse kas laudtorudest või freestorudest.

1. LAUDTORUDRENAAŽ

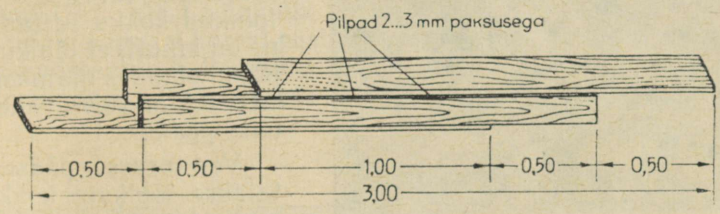
Laudadest drenaažitorud tehakse tavaliselt nelinurksed (ristkülikukujulise ristlõikega) ja nende ehitamiseks kasutatakse servatud hööveldamata laudu. Laudade asetus toruks kokkunaelutamisel on näidatud joonisel 6-8.



Joonis 6-8. Nelinurksed laudtorud.

Torude valmistamine toimub sageli 2...3 m pikkuste lülide kaupa, mis drenaažikaevikus või selle kaldal monteeritakse kokku torustikuks (vt. joon. 6-9).

Laudtorude mõõtmete kohta ei ole päris kindlaid eeskirju antud. NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi juhendis kuivendussüsteemide projekteerimise kohta (1957. a.) on ette nähtud minimaalsete sisemiste mõõtmetena laudtorudel dreenidena 75×75 mm ja kollektoritena 100×100 mm.



Joonis 6-9. Laudtorulüli.

Läti NSV-s kasutatakse laudtorusid sisemiste mõõtmetega 50×50, 75×75 ja 100×100 mm. Meie vabariigis projekteeritakse laudtorud tavaliselt sisemiste mõõtmetega 48×62; 62×62; 62×82 ja 72×82 mm (vt. joon. 6-8). Kahte viimast suurust kasutatakse kollektorite jaoks. Üksikutel juhtudel kasutatakse ka suurema ristlõikega laudtorusid, nimelt sisemiste mõõtmetega 82×102 või 102×102 mm. Laudtorudrenaaž projekteeritakse meil enamasti üksikdreenidena ja kasutatakse kahte esimest eespool mainitud torusuurust (s. o. 48×62 või 62×62 mm). Drenaažisüsteemide kujundamisel ühendatakse dreen kollektoriga pealt- või külgühendusena (vt. joon. 6-12, *a* ja *b*). Laua paksuseks võetakse 16...22 mm; kaanelaud on soovitatav võtta veidi paksem kui põhja- ja küljelauad.

Laudtorude kokkunaelutamisel tuleb kaanelaua ja küljelaudade vahele jätta ca 2 mm laiune pilu vee torusse pääsuks. Selleks asetatakse kaanelaua alla naelutamise kohtadesse vastava paksusega laastud või 2...3-kordne tõrvapapiriba (vt. joon. 6-8). Laudade kokkunaelutamisel tuleb

silmas pidada, et laua jätkukohti ei jääks ühes ristlõikes kohakuti üle kahe ja et jätkud ulatuksid vaheliti vähemalt 0,5 m pikkuselt.

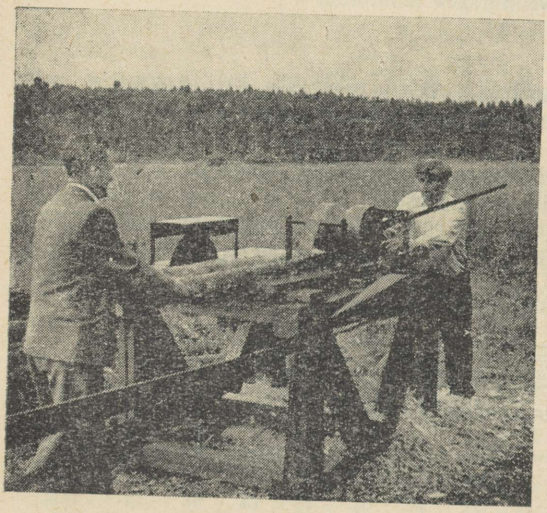
Laudtorude minimaalseks kaldeks tuleb lugeda 2,5‰; ainult erandjuhul (kollektoritel) võib lubada sellest väiksemat kallet, kuid siiski mitte alla 1,5‰. Üksikdreenina tehakse laudtoru tavaliselt 150 ... 200 m pikana; suurema ristlõike (62×62 mm) või suure kalde puhul ka kuni 250-meetrisena.

Laudtorudrenaaž püsib toimimisvõimelisena keskmiselt 15 ... 20 aastat. Laudade antiseptimisega on aga võimalik laudtorudrenaaži iga tunduvalt pikendada.

On konstrueeritud ka kolmnurkseid laudtorusid; kuid kogemused on näidanud, et ei ole põhjust neid eelistada tavalistele nelinurksetele torudele.

2. FREESTORUDRENAAŽ

Meie vabariigis leiab laialdast kasutamist ka freestorudrenaaž. Freestorud valmistatakse ümmargustest 2 ... 3 m pikkustest okaspuupropsidest, läbimõõduga 10 ... 15 cm. Toored propsid saetakse pikuti lõhki, freesitakse sellekohasel freespingil kummalegi lõhikule poolringikujulise ristlõikega soon sisse (vt. joon. 6-10) ja naelutatakse siis lõhikud niiviisi kokku, et sooned jäävad kummalgi poolel kohakuti (vt. joon. 6-11). Nii saadakse puittoru, mille õõne läbimõõt on tavaliselt 50 ... 65 mm. Kokkunaelutamisel ei tarvitse sama puu lõhikud kokku sattuda; oluline on ainult, et lõhikute otsad jätkukohtades ulatuksid vähemalt 0,5 m võrra vaheliti üksteise peale.

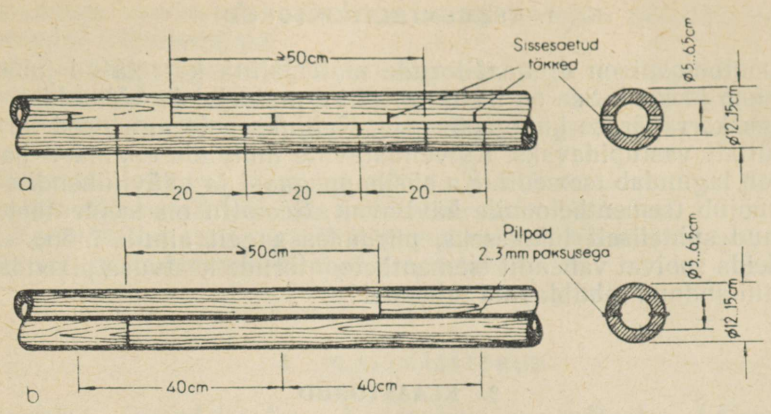


Joonis 6-10. Freestoru valmistamine.

Vee torusse pääsuks asetatakse lõhikute kokkunaelutamisel nende vahele umbes iga 0,5 m tagant ca 2 mm paksused pilpad (liistud) (vt. joon. 6-11, *b*). Torude kaevikusse paigaldamisel peetakse silmas, et lõhikute liitekoha pilud ei jääks alla ega üles, vaid külgedele. Kasutatakse ka täkete (sälkude) sisselõikamist lõhikutesse enne nende kokkunaelutamist (vt. joon. 6-11, *a*); kuid eelistada tuleb siiski pilude kujundamist pilbaste vahelepanemise teel, sest nii pääseb vesi paremini torusse.

Lõhikud naelutatakse kokku ca 0,4 ... 0,5 m tagant 3,5×80 mm naelte abil.

Freestorude valmistamiseks kulub küll tunduvalt rohkem puitu kui laudtorude valmistamiseks, kuid neil juhtudel, kui kuivendataval maa-alal või läheduses kuulub maharaiumisele sobiva puude jämedusega metsa, võib freestorudrenaaži ehitamine osutuda ökonoomsemaks kui laudtorudrenaaži ehitamine. Eesti NSV mitmes metsamajandis valmistatakse freestorusid tööstuslikus ulatuses. Müügiks valmistatavate freestorude kohta



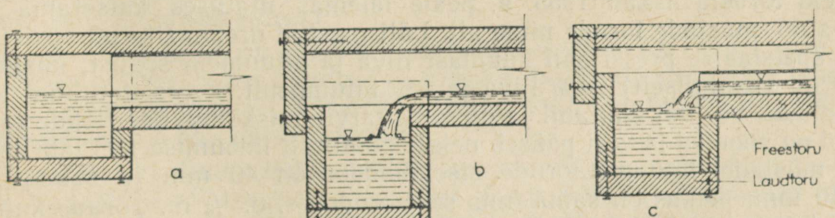
Joonis 6-11. Freestoru:
a — sisseseatud täketega; *b* — torupoolte vahele paigutatud pilbastega.

on ENSV Põllumajanduse Ministeerium kehtestanud ka vastavad kvaliteedinõuded.

Freestorusid kasutatakse nagu laudtorusidki enamasti üksikdreenidena, sest tavaliselt on puitdrenaaži abil kuivendatavad maad väikese kaldega ega võimaldagi süsteemide kujundamist. Kus aga kalle seda siiski võimaldab, võib kuivendusvõrku kujundada ka suuremate või väiksemate süsteemide näol. Drenaažisüsteemi kujundamisel kasutatakse kollektorina sobivas suuruses laudtoru (vt. joon. 6-12, *c*).

Freestorudreenide pikkus piirdub tavaliselt 120 ... 150 meetriga. Kui dreene tuleb projekteerida kunstliku kaldega, võib osutuda paratamatuks nende pikkust isegi 100 meetrist lühemaks jätta. Seevastu on aga sobiva kalde puhul (5 ... 10‰) võimalik projekteerida ka 175 kuni 200 m pikkusi üksikdreene; niisugusel korral peab aga freestoru õõs olema Ø 60 ... 65 mm.

Freestorudreenide kalle peaks olema vähemalt 2,5‰. Toimimise kestus on freestorudrenaažil umbes niisama pikk kui laudtorudrenaažilgi.



Joonis 6-12. Laud- ja freestorudrenaaži ühendused:
a — laudtorudrenaaži külgühendus; *b* — pealtühendus; *c* — freestorudreeni ühendus laudtorukollektoriga.

§ 6-8. MUUDEST MATERJALIDEST DRENAAŽITORUD

Savitorudrenaaž nõuab suhteliselt suurt tööjõu- ja materjalikulu. Odavamate materjalide ja drenaažiliikide otsingul on katsetatud ka mitmeid muid materjale peale savi ja puidu. Neist tuleks esmajoones mainida betooni, klaasi, turbaga segatud savi ja lõpuks — plastmassi.

1. TSEMENTBETOONTORUD

Tsementbetooni on drenaažitorude materjalina katsetatud juba mitme aastakümne jooksul. See on hästi vormitav materjal ja võimaldab valmistada väga korrapärase kujuga torusid. Kahjuks pole aga need torud osutunud küllalt vastupidavaks. Kuivendatavate muldade enamasti happeline reaktsioon lagundab tsementi. Ka süsihappegaasi ja väävliühendite rohkus mullas mõjub tsementbetoonile hävitavalt. Seetõttu on tsementbetoontoru iga jäänud suhteliselt lühikeseks, piirdudes sageli ainult mõne aastaga. Katsed leida sobivat vahendit tsementbetoontorude kestvuse pikendamiseks pole senini andnud rahuldavaid tulemusi.

2. KLAASTORUD

Katseliselt on paksuseinalisi klaastorusid kasutatud Saksamaal ja mujal juba aastakümnete eest. Meie vabariigis hakati klaastorudrenaaži laiemas ulatuses katsetama 1957. a., eesmärgiga leida asendavat materjali defitsiitsetele savitorudele. Reas kolhoosides, sovhoosides ja Kehtna õppemajandis katseliselt ehitatud klaastorudrenaaž, milleks kasutati savitorust muhvidega 1 m pikki siseläbimõõduga 35 mm ja keskmiselt 4 mm seinapaksusega klaastorusid, osutus aga kontrollimisel juba üheaastase toimimise järel ebarahuldavaks. Kuivenduse efektiivsus oli nõrk ja massiliselt esines torude purunemist. Paljudel juhtudel olid torud suudmepoolses otsas ka rauaookriga ummistunud. Rahuldavaid tulemusi on saadud ainult Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi majandis Sakus, kus 1959. a. on katseliselt ehitatud klaastorudrenaaži torudest, mille pikkus oli 0,5 m ja millel ühenduskohad olid ümbritsetud ruberoid-tõrvapapiga. Suureks paheks tuleb lugeda veel kuivendatud maale hulgaliselt mahajäänud suuri ja väikesi klaasikilde, mis võivad põhjustada õnnetusi loomadele ja inimestele.

3. ASFALTBETOONTORUD (BITUUMENTORUD)

Katseliselt on kasutatud ka asfaltbetoontorusid.

Neid torusid hakati 1955. a. peale laiemas ulatuses katsetama Läti NSV-s nn. mustade torude nime all. Läti mustad drenaažitorud valmistatakse spetsiaalse pressi abil kuumast liiva ja bituumeni segust, kusjuures segus on (kaaluliselt) 94% liiva ja 6% bituumenit. Pressist tulnud torud jahutatakse vee või õhu abil ja on kohe tarvitamiskõlblikud. Nende torude seinad on poorsed ja vesi pääseb neisse põhiliselt imbumise teel läbi seinte. Läti mustade bituumentorude siseläbimõõt on 40 mm ja seinapaksus 9...10 mm; pikkus on sama mis savitorudel, s. o. $^1/_3$ m. Torude kuju on korrapärane ja mõõtmed ühtlased. Hinnalt on nad aga kallimad kui vastava suurusega savitorud. Torude toimimiskestvuse kohta pole veel täielikku ülevaadet, kuid esialgsed andmed ei anna põhjust loota bituumentorudest perspektiivset drenaažimaterjali.

4. SAVITORUD TURBALISANDIGA

Leedu NSV-s hakati 1956. a. katseliselt lisama turvast savisse, millest valmistati drenaažitorud. Savisse lisati nimelt (mahu järgi) 30...40% peenikest turbapuru, kuna liiva, mida tavaliste savitorude valmistamisel segu lisandina kasutatakse, sel juhul üldse ei pandud. Muus osas ei erine

turbalisandiga savitorude valmistamise tehnoloogia tavaliste savitorude valmistamise tehnoloogiast.

Turbalisandiga savitorud kuivavad paremini ja nende põletamise kulud on mõningal määral väiksemad. Põletamisel põleb turvas toru seintes ära ja jätab seinad poorseks. Torud on seetõttu kergemad kui tavalised savitorud.

Esialgsete andmete järgi on selliste torude kvaliteet hea ja tootmiskulud veidi väiksemad tavaliste savitorude tootmiskuludest.

Ka Eesti NSV-s on Sangaste tellisetehases praktiseeritud turba lisamist savisegusse, millest drenaažitorud valmistatakse.

5. PLASTMASSTORUD

Ameerika Ühendriikides, Austraalias ja mõnedes Lääne-Euroopa maades on kasutusele võetud plastmassist drenaažitorud. Plastmasstorud kujutavad endast elastseid voolikuid siseläbimõõduga 37 ... 75 mm ja seinapaksusega 1 ... 2 mm. Vee sissepääsuks on toru (vooliku) seina lõigatud kuni 36 augukest 1 m kohta. Ühenduskohti torul ei ole, vaid see moodustab terve dreeni pikkuses ühtse vooliku. Torude paigaldamine maa sisse toimub mehhaniseeritult spetsiaalse muttadra abil, mis veab toru maa sisse ilma kaevikut kaevamata. Drenaaži sügavus on keskmiselt 0,5 ... 0,7 m.

Analoogiliselt sellele on Saksa Demokraatlikus Vabariigis H. Janerti poolt kasutusele võetud uus drenaaži ehitusviis tema konstrueeritud «Greifswaldi adra» abil, kus samuti leiavad kasutamist plastmassist (viniduur-) torud. Erinevalt ameerika viisist, kus valmistorud voolikuna maa sisse paigutatakse, kujundatakse H. Janerti meetodil toru drenaažiadra külge monteeritud valtside seadeldise abil alles maa sees. Plastmasslint, millest toru kujundatakse, asetseb adra järel liikuval pooliseadeldisel, kust lint veetakse adra edasiliikumisel maa sisse ja vormitakse seal toruks, mille allküljele jääb vee sissepääsuks kogu toru ulatusel pidev pilu.

Esialgu on alles vähe kogemusi plastmassi kui drenaažitorude materjali vastupidavuse ja ökonoomsuse kohta. On siiski võimalik, et drenaaži mehhaniseeritud ehitusviisi laiaulatuslikumal rakendamisel see materjal kujuneb perspektiivseks. H. Janerti väidete kohaselt on tema drenaaži ehitusviisil järgmised eelised:

a) drenaažiehitus on täielikult mehhaniseeritud; b) taimejuurte sissetungimise oht torudesse puudub; c) masina töö järel ei ole vaja teha mingeid täiendavaid töid; d) drenaaži ehitamise kulud on tunduvalt väiksemad savitorudrenaaži ehitamise kuludest.

H. Janerti drenaažiehitusviisi edasi arendades on Nõukogude Liidus 1959. a. СНИИГиМ-i algatusel ja 1960. a. ka Meštšera tsonaalses maaparanduse katsejaamas alustatud plastmassist drenaaži ehitamise katseid. V. J. Antonovi kirjelduse järgi on Meštšera katsejaamas ehitatud mõnisada meetrit vinüplastist (mida saadakse polikloorvinüülvaigu termilisel plastifitseerimisel stabilisaatorite, plastifikaatorite ja värvainetega) torudega drenaaži lühikeste, 5 ... 10 m pikkuste katsedreenide kujul. Vinüplastplaadid, millest torud valmistati, olid paksusega 0,5; 0,75 ja 1,0 mm ja neist kujundatud toru siseläbimõõduga 40 mm. Torud veeti muttseadeldisega pinnasesse kujundatud õõntesse üheaegselt muttimisega, kusjuures vinüplastlintide toruks vormimisel jäi plaadi vaheliti keeratud servade vahele vee sissepääsuks vajalik pilu. Vinüplastist toru vastupidavus tõmbele ei võimaldanud turbapinnases, kus turvas kleepus tugevasti toru külge, sisse vedada dreenitoru pikkusega üle 40 m. Seevastu saviliivapinnases, kus

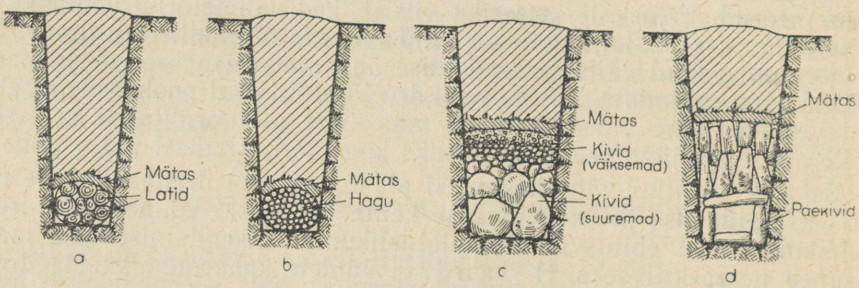
pinnaseosakeste kleepumine toruseina külge on tunduvalt väiksem, oli võimalik sisse vedada isegi kuni 120 m pikkust toru.

1961. a. toimetatud kontrollimisel selgus, et katsedreenid olid rahuldavas seisukorras ja töötasid muidu normaalselt, kuid suudmed vajasid kindlustamist. Torud olid algosades säilitanud esialgse kuju, kuid pikemal ulatusel maa sisse vedamisel oli tekkinud torude väändumist nende pikitelje ümber ja mõningast kuju muutumist, mis siiski polnud põhjustanud olulist ristlõike vähenemist.

Katseid jätkatakse ja tõenäoliselt õnnestub lõpuks leida mingist plastmassist torudega drenaaži ehitusviis, mis nõudeid rahuldab ja võimaldab ehitustöid täielikult mehhaniseerida. V. J. Antonov loetleb järgmisi voorusi sellel drenaažiliigil: võrreldes savitorudrenaažiga on plastmassist torudega drenaaži ehituskulud umbes 5 korda väiksemad, tööjõudlus nende ehitamisel 5 korda suurem, inimtööjõu tarve drenaaži ehitamisel 20 korda väiksem ja ummistumise oht väiksem.

§ 6-9. TÄIDISDRENAAŽ

Täidisdrenaažiks nimetatakse sellist kaevikdrenaaži, kus kaevikusse on toru asemel paigutatud mingi vettjuhtiv kõre materjal, nagu latid, haod, kivid või jäme kruus (vt. joon. 6-13). See on kõige vanem drenaažiliik ja on meie vabariigi territooriumil olnud kasutusel palju varem, kui hakati kasutama torudrenaaži.



Joonis 6-13. Täidisdreenide ristlõikeid:
a — lattdreen; *b* — hagudreen; *c* — kividreen; *d* — paasdreen.

1. LATTDRENAAŽ

Lattdrenaaž on kõige enam kasutatavaid täidisdrenaažiliike. See valmistatakse lattidest läbimõõduga 5... 10 cm ja pikkusega 3...8 m. Dreeni jaoks seotakse kokku 5...7 sellist latti, ladvad ja tüved vaheldumisi. Kimbu läbimõõduks kujuneb umbes 30 cm (vt. joon. 6-13, *a*). Kimpusidumiseks kasutatakse raudtraati või selle puudumisel paju- või toomingavitsu. Sidumine toimub analoogiliselt hagudreeni sidumisega drenaažikaeviku kaldal.

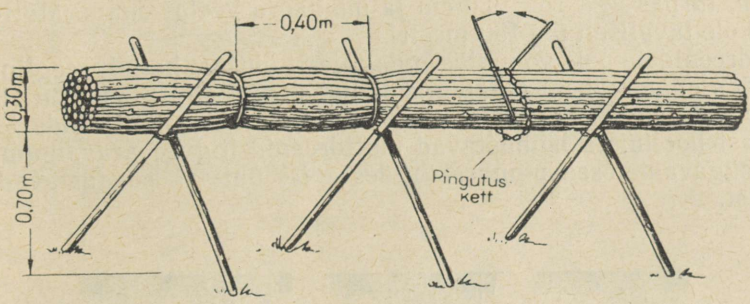
Lattdrenaaži tegemisel tuleb drenaažikaeviku põhi eelnevalt mudast puhastada. Kaevikusse asetatud latikimbule pannakse peale kiht mättaid (kamar allapoole).

Lattdrenaaž vajab kallet vähemalt 4,0‰. Kasutamist leiab lattdrenaaž ainult üksikdreenidena ja ainult soos. Suudmetoru tehakse lattdreenidel laudadest. Lattdrenaaži toimimisiga ei ületa tavaliselt 6...8 aastat. Kui

märjas pinnases ongi võidud leida kauem säilinud latte, siis on selline drenaaž lattide vahede ummistumise tõttu juba ammu vee juhtimise võime minetanud ja seega kasutuks muutunud.

2. HAGU- EHK FAŠIINDRENAAŽ

Hagu- ehk fašiindrenaažis kasutatakse vettjuhtiva täidisena hagu. Haod seotakse tavaliselt pidevaks köietaoliseks kimbuks (fašiiniks), mille jämedus on 25...30 cm ja pikkus vastab drenaažikaeviku pikkusele (vt. joon. 6-13, *b*). Hagude sidumine toimub teivaspukkidel traadi või sitkete vitsade abil 40...50 cm vahemaade tagant (vt. joon. 6-14). Seejuures püütakse jämedamad haod paigutada kimbu keskele ja peenemad ääre poole. Haod laotakse sidumispukile latvadega pärivoolu nii, et need jääksid pikisuunas vaheliti ja moodustaksid sidumisel enam-vähem ühtlase jämedusega fašiini.



Joonis 6-14. Hagu- ehk fašiindreeni kokkusidumine teivaspukkidel.

Hagudreeni kalle ei või olla väiksem kui 5,0‰. Hagudrenaaž tehakse ainult üksikdreenide näol ja seda kasutatakse ainult soos. Suudmetoru tehakse nagu lattdreenidelgi laudadest. Hagudrenaaž leiab vähe kasutamist, sest selle toimimisiga ei ületa tavaliselt 5 aastat.

3. KIVIDRENAAŽ

Vettjuhtiva täidise moodustavad kividrenaaži puhul kaevikusse asetatud mitmesuguse suurusega kivid. Suuremad kivid paigutatakse kaeviku põhja ja väiksemad pealepoole (vt. joon. 6-13, *c*). Kivitäidise kõrgus peab olema vähemalt 30 cm. Kui kive on rohkesti kasutada, on soovitatav teha paksem kivitäidis. Kivid kaetakse mätastega, mille kamar on pööratud allapoole, ja kaevik täidetakse pinnasega.

Paekivide kasutamise korral on soovitatav laduda neist kaeviku põhja kitsas renn ja katta see pealt lapiti suuremate paetükkidega ning need omakorda serviti paetükkidega. Nende peale asetatakse mätas ja ülejäänud osa kaevikust täidetakse väljakaevatud pinnasega (vt. joon. 6-13, *d*). Kividrenaaži saab kasutada ainult hea kaldega maadel, kus dreenidele saab anda vähemalt 6,0‰ kallet ning kui kuivendataval maa-alal leidub rohkesti sobiva suurusega koristamist vajavaid kive.

Kividrenaaži toimimiskindlus on enamasti ebarahuldav.

§ 6-10. ÕÕSDRENAAŽ

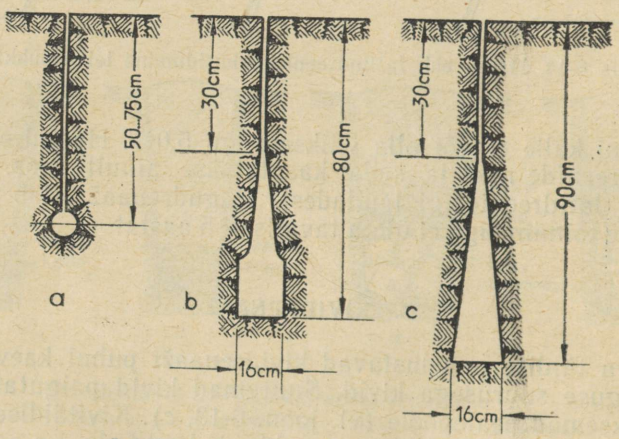
Õõsdrenaaž kujutab endast sellist drenaaži, kus liigvee ärajuhtimise ülesannet täidavad maa sisse veetud õõned, mis meenutavad mutikäike või on pilukujulised. Vastavalt õõne ristlõike kujule jaguneb õõsdrenaaž muttdrenaažiks ja piludrenaažiks.

1. MUTTDRENAAŽ

Muttdrenaaž on kasutatav rasketes pinnastes ja turbas. Muttdreenid veetakse maa sisse vastava muttadra abil tugevajõulise roomiktraktoriga. Muttdreenide sügavus on tavaliselt 50 . . . 75 cm ja vahekaugus mineraalmaas 3 . . . 10 m ning turbas 5 . . . 15 m.

Dreeniõõs on ümmarguse ristlõikega (vt. joon. 6-15, *a*), mille läbimõõt on dreeni ehk muti jämedusest sõltuvalt mineraalmaades tavaliselt 4 . . . 6 cm, turbas aga 15 . . . 20 cm ja mõnikord veelgi enam. Muttdreenide pikkus ei ole tavaliselt üle 150 meetri.

Muttdreenidele pole võimalik anda täiesti ühtlast kallet; reeglina kopeerib mutiõõs enam-vähem maapinna kallet dreeni sihil. Seetõttu ei ole vee äravool neist täielik. See asjaolu vähendab tunduvalt dreenide toimimisiga. Sellest hoolimata hõlbustavad muttdreenid liigvee äravalgumist künnikihist sügavamatesse pinnasekihtidesse ja ühtlasi soodustavad mulla õhustamist.



Joonis 6-15. Õõsdreenide ristlõiked:
a — muttdreen; *b* — vintfreesmasinaga tehtav piludreen; *c* — ketasfreesmasinaga tehtav piludreen.

Muttdrenaaži valmistamine on täielikult mehhaniseeritav ja see ei vaja mingeid materjale. Seetõttu kulutatakse selle drenaaži valmistamiseks vähe raha ja aega. Kogemused, mis on saadud Pärivere ja Rahnoja sovhoosis, Tooma katsebaasis ja mujalgi, on näidanud, et Eesti NSV tingimustes on muttdrenaaži iga lühike, see piirdub vaevalt ühe taimekasvuperioodiga. Niisama lühike on muttdrenaaži iga olnud ka Leedus. Iseseisva kuivendusviisina muttdrenaaži meie vabariigis enam ei kasutata, kuid rasketel savimaadel täiendusena savitorudrenaažile võib muttdrenaaž siiski otstarbekohaseks osutuda. Turbas, kus muttdreenid tehakse suure läbimõõduga, on nende iga küll pikem, kuid nende sissevedamise teeb sageli võimatuks turbasse mattunud kännud ja puit.

2. PILUDRENAAŽ

Piludrenaaž on spetsiaalselt tööstusliku turbatootmise ettevõtete turbarabade kuivendamiseks kohandatud drenaažiliik. Piludrenaaži puhul lõigatakse (freesitakse) turbamassi sisse pilu, kusjuures lahtifreesitud turbapuru tõstetakse pilust välja. Selle tõttu ei vaju piludreen nii hõlpsasti kokku kui muttdreen. Piludrenaaži tegemiseks konstrueeritud masinad freesivad turbasse 0,8...1,0 m sügavuse ja 12...16 cm põhjalaiusega kiilukujulise pilu. Põhjast ülespoole pilu aheneb ja umbes 25...30 cm sügavusel maapinnast on see peaaegu täiesti kokku surutud (vt. joon. 6-15, *b*, *c*). Piludreenid tehakse pikkusega kuni 250 m ja vahekaugusega 15...30 m. Kändude ja mattunud puidu esinemine turbas ei takista piludreenide tegemist. Eesti NSV-s on piludrenaaž leidnud kasutamist Tootsi Briketitööstuses freesväljade kuivendamiseks.

§ 6-11. MAA-ALUSE VEE DÜNAAMIKA ALUSED

1. VEE LIIKUMISE ISELOOM PINNASES (MULLAS)

Vee liikumise iseloom pinnases sõltub peamiselt pinnase hüdrofüüsikalistest omadustest ning veega küllastumise astmest.

Veeauru liikumine toimub passiivselt koos õhuga ja aktiivselt kõrgema aururõhuga (kõrgema temperatuuriga ja suurema niiskusega) keskkonnast madalama aururõhuga keskkonna poole; küllastades õhku, kondenseerub aur veeks. Hügroskoopsusvesi saab liikuda ainult veeauru näol. Kirmevesi liigub ühelt pinnaseosakeselt teisele nende kontakti puhul paksema kirmega pinnaseosakeselt õhema kirmega pinnaseosakese poole, kuni kirmete paksus muutub ühesuguseks. Kirmevee liikumine on väga aeglane. Kapillaarvesi liigub kapillaarjõudude mõjul mööda poore niiskemast keskkonnast kuivemasse. Põhjaveest tõuseb kapillaarvesi teatava kõrguseni, moodustades põhjavee kohal kapillaarvöötme, mis kerkib ja alaneb koos põhjaveepinnaga. Gravitatsioonivee infiltratsioon (pinnasesse imbumine) toimub vee raskusjõu mõjul, kusjuures vesi ei täida pinnase kõiki poore, vaid liigub neis üksikute tilkadena või jugadena. Pinnasekihis, kus vesi täidab poorid täielikult (põhjavesi), toimub vee liikumine hüdrostaatilise survejõu mõjul; põhjavesi liigub kohast, kus põhjaveepind on kõrgemal, koha suunas, kus põhjaveepind on madalamal, ehk teisiti öeldes — vesi liigub põhjaveepinna kalde suunas. Põhjavee liikumist nimetatakse filtratsiooniks, liikuvat põhjaveemassi aga põhjaveevooluks ehk filtratsioonivooluks. Kui põhjaveepind on horisontaalne, ei toimu vee liikumist; sel juhul on tegemist põhjaveebasseiniga.

2. PÕHJAVEE LIIKUMISE SEADUSED

Erinevalt vee voolamisest veejuhtmetes toimub põhjavee liikumine (voolamine) tavaliselt laminaarselt (vt. § 5-3, p. 4), mille puhul kehtib Darcy seadus ($V=ki$) ning vooluhulk arvutatakse valemiga

$$Q=\omega V=\omega ki, \tag{6-8}$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek või m^3/ööpäevas);
ω — põhjaveevoolu ristlõike pindala (m^2);
k — filtratsioonikoefitsient (m/sek või m/ööp.);

V — filtratsiooni kiirus (m/sek või m/ööp.);

i — põhjavee kalle; $i = \frac{\Delta H}{l}$, kus ΔH — põhjaveepinna kõrguste vahe (lang) põhjaveevoolu kahe ristlõike vahel (m), ja

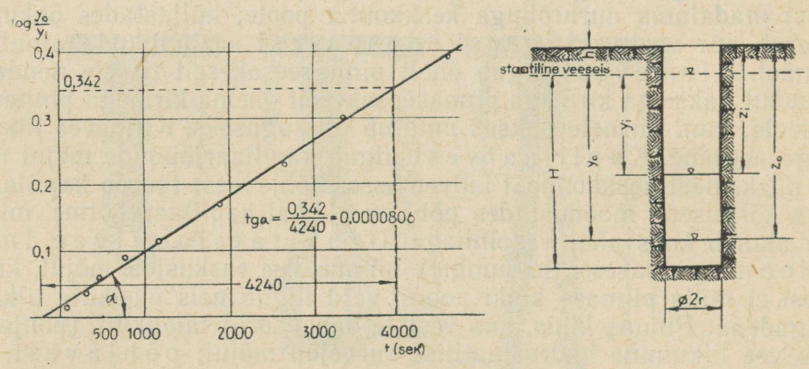
l — nende ristlõigete vaheline kaugus (m).

Et põhjavesi ei voola mitte pideva vooluna, vaid ainult pinnase pooride, ei tähenda filtratsiooni kiirus (V) seetõttu põhjavee liikumise tegelikku kiirust, vaid see on teoreetiline suurus, mis näitab, missuguse kiirusega liiguks vesi, kui voolamine toimuks pideva vooluna, s. o. kui puuduks pinnas, kusjuures vooluhulk jääks endiseks. Põhjavee liikumise tegelik keskmine kiirus poorides (u) on arvutatav valemiga

$$u = \frac{V}{n} = \frac{Q}{\omega n}, \tag{6-9}$$

kus n — pinnase aktiivne poorsus (aktiivsete pooride maht jagatud pinnase mahuga).

Filtratsioonikoefitsient (k) iseloomustab pinnase veeläbilaskvust ehk veejuhtivust ning sõltub põhiliselt pinnase pooride suurusest ning kujust, vedelikuliigist ja temperatuurist. Filtratsioonikoefitsienti määratakse kas empiiriliste valemitega, laboratoorselt või katsete teel välitingimustes. Maaparanduslikel väliuurimistel määratakse filtratsioonikoefitsient tavaliselt põhjaveeseisu taastumiskiiruse järgi puuraugus. Puur-



Joonis 6-16. Filtratsioonikoefitsiendi määramine puuraugus.

augu sügavus peab vastama pinnasekihi tüsedusele, mille filtratsioonikoefitsienti määratakse, ning puuraugu läbimõõt peab olema ca 20 cm. Puurauk tehakse aegsasti valmis (ca 1 ööpäev varemalt), et katsemomendiks oleks põhjaveeseis selles stabiliseerunud (staatiline veeseis). Mõõtnud ära vee sügavuse puuraugus (H), tõstetakse puuraugust vesi välja ning jälgitakse seejärel veepinna kerkimist, mõõtes korduvalt (8... 10 korda) põhjavee sügavust (z_i) ning vastavat vee tõusmise aega (vt. joon. 6-16). Filtratsioonikoefitsient määratakse seejärel G. D. Erkini valemiga

$$k = \frac{3{,}5\, r^2}{H + 2r} \cdot \frac{\log \frac{y_0}{y}}{t}, \tag{6-10}$$

kus k — filtratsioonikoefitsient (cm/sek) ja

t — põhjavee tõusmise aeg (sek);

ülejäänud tegurid on väljendatud cm-tes ning on näha joonisel 6-16.

Mõõtmiste tingimustest ja täpsusest tingitult on suhte $\frac{\log \frac{y_0}{y}}{t}$ väärtus kõikuv. Selle keskmist suurust on kõige lihtsam määrata graafiliselt, milleks tuleb koordinaatteljestikule kanda punktid, mille koordinaatideks on $\log \frac{y_0}{y}$ ja sellele vastav t (vt. tab. 6-6), tõmmata saadud punktidest läbi sirgjoon ning määrata viimase tõusunurga tangens (vt. joon. 6-16). Valem 6-10 kujuneb sel juhul järgmiseks:

$$k = \frac{3{,}5\, r^2}{H+2r} \operatorname{tg} \alpha. \qquad (6\text{-}11)$$

Arvutused on otstarbekohane koondada tabelisse (vt. tab. 6-6).

Tabel 6-6

Filtratsioonikoefitsiendi arvutamise tabel

Jrk. nr.	z (cm)	Aja lugem: tunnid	Aja lugem: minutid	Ajavahemik vaatluse algusest t (sek)	$y=z-h$ (cm)	$\frac{y_0}{y_i}$	$\log \frac{y_0}{y_i}$	Märkused
0	65	10	12	0	46	1,00	0	
1	63	10	14	120	44	1,04	0,017	$r=7{,}5$ cm
2	61	10	17	300	42	1,09	0,037	
3	59	10	20	480	40	1,15	0,061	$h=19$ cm
4	56,5	10	25	780	37,5	1,23	0,090	$H=57$ cm
5	54	10	32	1200	35	1,31	0,117	
6	50	10	44	1920	31	1,48	0,170	
7	46	10	57	2700	27	1,70	0,230	
8	42	11	09	3420	23	2,00	0,301	
9	39	11	24	4320	20	2,30	0,362	

$$k = \frac{3.5\, r^2}{H+2r} \operatorname{tg}\alpha = \frac{3{,}5 \cdot 7{,}5^2}{57+2 \cdot 7{,}5} \cdot 0{,}0000806 = 0{,}000220 \text{ cm/sek}.$$

Kirjeldatud meetod ei ole kasutatav pudedates pinnastes, kus puuraugu seinad ei ole püsivad.

Tabel 6-7

Filtratsioonikoefitsiendi orienteeriv suurus*

Pinnaseliik	k (m/ööp.)	Pinnaseliik	k (m/ööp.)
Klibu	> 200	Raske liivsavi	0,07 ... 0,12
Kruus	70 ... 200	Tolm	0,07
Jäme liiv	20 ... 70	Kerge savi	0,03
Keskmine liiv	3 ... 20	Keskmine savi	0,01
Peen liiv	0,7 ... 3	Vähe lagund. turvas	1 ... 3
Saviliiv	0,4 ... 0,7	Keskm. „ „	0,2 ... 1
Kerge liivsavi	0,2 ... 0,4	Hästi „ „	0,05 ... 0,2
Keskmine liivsavi	0,12 ... 0,20		

Märkus. Et saada filtratsioonikoefitsienti ühikutes cm/sek, tuleb tabeli arvusid jagada 864-ga.

Erandjuhtudel esineb põhjavee liikumisel ka turbulentset voolamist (suurtes lõhedes, karstitühemetes). Sel puhul allub põhjavee liikumine Chézy seadusele: $V = k\sqrt{i}$.

* Turba filtratsioonikoefitsienti vt. tab. 6-3.

Põhjavee liikumise suunda saab määrata hüdrogeoloogiliselt plaanilt, millel on kujutatud hüdroisohüpsid (põhjaveepinna horisontaalid); põhjavee liikumine toimub risti hüdroisohüpsidega kõrgema hüdroisohüpsi poolt madalama hüdroisohüpsi poole. Hüdrogeoloogilise plaani puudumisel määratakse põhjavee liikumise suund looduses kolmnurga tippudena paigutatud kolme šurfi (puuraugu) abil, mille vahekaugus on ca 50 ... 100 m. Neis šurfides nivelleeritakse veeseis pärast selle stabiliseerumist. Šurfid kantakse plaanile ning nivelleeritud veeseisude andmeil tõmmatakse läbi šurfide kolmnurga kas või üksainus hüdroisohüps, mis määrabki ära põhjavee liikumise suuna (vee liikumise suund on sellega risti).

3. PÕHJAVEE LIIKUMISE VÕRRANDID

Allpool on käsitletud ainult surveta põhjavee liikumist. Kasutades võrrandit 6-8, võib määrata põhjavee vooluhulka looduslikes tingimustes. Tavaliselt arvutatakse vooluhulk põhjaveevoolu laiuse ühiku (1,0 m) kohta. Valem 6-8 kujuneb sel korral järgmiseks:

$$q = khi, \tag{6-12}$$

kus h — voolu sügavus põhjaveevoolu ristlõikes (m).

Kui põhjaveevool väljub mingisse veehaardesse (jõkke, kraavi, dreeni, kaevu jne.), on põhjavee voolamine tavaliselt ebaühtlane, mille puhul põhjaveepind on kõver. Sellist põhjaveepinda nimetatakse depressioonipinnaks ning selle lõikejoont vertikaaltasapinnaga, mis on orienteeritud voolu suunas, depressioonikõveraks.

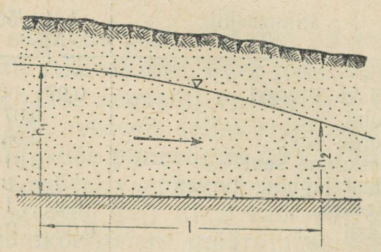
Infiltratsiooni puudumisel, s. o. konstantse vooluhulga puhul piki filtratsiooniteekonda kasutatakse vooluhulga määramiseks ning depressioonikõvera konstrueerimiseks järgmisi valemeid.

Vooluhulga määramiseks (valemi 6-12 põhjal) —

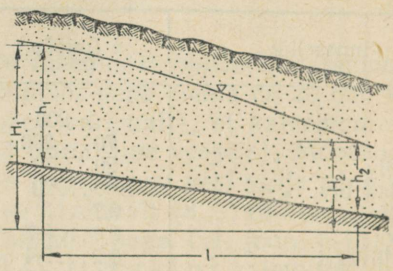
kui vettpidav kiht on horisontaalne (vt. joon. 6-17):

$$q = k\,\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{h_1 - h_2}{l} = k\,\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \tag{6-13}$$

mis on tuntud Dupuit' valemi nime all;



Joonis 6-17. Filtratsioonivool horisontaalsel vettpidaval kihil.



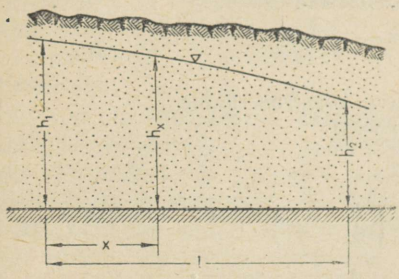
Joonis 6-18. Filtratsioonivool kallakulisel vettpidaval kihil.

kui vettpidav kiht on kaldu (vt. joon. 6-18):

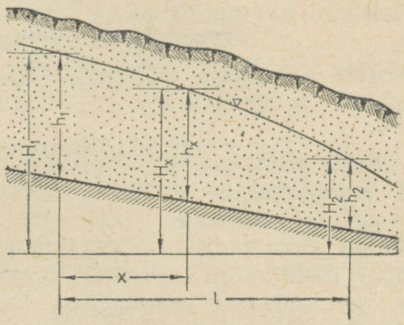
$$q = k\,\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l} = k\,\frac{(h_1 + h_2)(H_1 - H_2)}{2l}. \tag{6-14}$$

Depressioonikõvera konstrueerimiseks — horisontaalse vettpidava kihi puhul (vt. joon. 6-19):

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2)}; \qquad (6\text{-}15)$$



Joonis 6-19. Depressioonikõvera konstrueerimine (vettpidav kiht horisontaalne).



Joonis 6-20. Depressioonikõvera konstrueerimine (vettpidav kiht kaldu).

kui vettpidav kiht on vähese kallakuga (G. N. Kamenski valem; vt. joon. 6-20):

$$(h_1 + h_2)\frac{H_1 - H_2}{l} = (h_1 + h_x)\frac{H_1 - H_x}{x}; \qquad (6\text{-}16)$$

vettpidava kihi suure kalde puhul kujuneb valemiga 6-16 saadud tulemus ebatäpseks, mispärast sel juhul tuleb kasutada akad. N. N. Pavlovski valemit ning tabeleid [24].

Juhul kui h_2 (resp. H_2) on teadmata, võib kasutada depressioonikõvera konstrueerimiseks valemeid 6-13 ja 6-14, milleks tuleb eelnevalt eriarvutuse teel (äravoolu andmeil) määrata vooluhulk q.

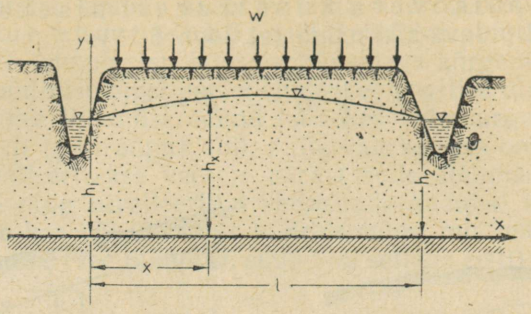
Näide. Määrata horisontaalse vettpidava kihi puhul põhjavee vooluhulk ning konstrueerida depressioonikõver (vt. joon. 6-17 ja -19), kui filtratsioonikoefitsient $k = 6{,}0$ m/ööp., voolu sügavus 1. ristlõikes $h_1 = 6{,}43$ m ja 2. ristlõikes $h_2 = 6{,}24$ m ning ristlõigete vaheline kaugus $l = 390$ m.

Lahendus. Vooluhulga määrame valemiga 6-13:

$q = k\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} = 6{,}0\frac{6{,}43^2 - 6{,}24^2}{2 \cdot 390} = 0{,}0184$ m³/ööp. Depressioonikõvera konstrueerimiseks arvutame põhjaveevoolu sügavuse mitmes punktis, näiteks 100, 200 ja 300 m kaugusel ristlõikest 1.

Põhjaveevoolu sügavus 100 m kaugusel valemi 6-15 järgi $h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2)} = \sqrt{6{,}43^2 - \frac{100}{390}(6{,}43^2 - 6{,}24^2)} = 6{,}38$ m. Analoogiliselt leiame põhjaveevoolu sügavuse ka ülejäänud punktides.

Sademete (pinnavee) infiltratsiooni puhul muutub filtratsioonivooluhulk piki voolu teekonda. Horisontaalse vettpidava kihi puhul kasutatakse sel puhul vooluhulga määramiseks ning depressioonikõvera konstrueerimiseks G. N. Kamenski valemeid (vt. joon. 6-21):



Joonis 6-21. Depressioonikõvera konstrueerimine (infiltratsiooni puhul).

$$q_x = k\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} - W\left(\frac{l}{2} - x\right) \qquad (6\text{-}17)$$

ja

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2) + \frac{W}{k}(l - x)x} \qquad (6\text{-}18)$$

Nendes q_x — filtratsioonivooluhulk (m^3/ööp.) voolu ristlõikes kaugusel x;
k — filtratsioonikoefitsient (m/ööp.) ja
W — infiltratsioonimoodul, s. o. sademete (pinnavee) hulk, mis infiltreerub pindalaühikul ajaühikus ning mis avaldatakse samas ühikus kui filtratsioonikoefitsient (m/ööp.).

Ülejäänud tegurite tähendus selgub jooniselt 6-21.

Infiltratsioonimoodul (W) määratakse kas valemiga 6-18, mõõtes selleks looduses ära kõik ülejäänud tegurid (h_1, h_2, h_x, l, x ja k), või arvutatakse sademete hulga ja infiltratsioonikoefitsiendi järgi. (Infiltratsioonikoefitsient on infiltreerunud vee ja sademete hulga suhe.)

Kui valemiga 6-17 saadakse positiivne tulemus, tähendab see seda, et voolamine toimub x-telje positiivses suunas (vt. joon. 6-21), s. o. vasakult paremale; negatiivse tulemuse puhul toimub voolamine vastupidises suunas.

Valemitega 6-17 ja 6-18 saab lahendada ülesandeid ka siis, kui infiltratsiooni asemel esineb auramine, mispuhul valemeis tuleb W suuruseks võtta auramise intensiivsus (m/ööp.) negatiivse märgiga.

Valemite 6-15 ja 6-18 analüüsimisel selgub, et depressioonikõveral on infiltratsiooni puhul poolellipsi kuju, infiltratsiooni puudumisel (lakkamisel) läheb see aga üle paraboliks. Sademete perioodil depressioonikõver kerkib, kuival ajal alaneb.

§ 6-12. DETAILVÕRGU KOOSSEIS, PAIGUTUS MAASTIKUL JA TÖÖTAMISE VIIS

1. DETAILVÕRGU KOOSSEIS

Eespool (vt. § 6-4) on kirjeldatud kuivendusvõrgu ülesandeid ja koosseisu.

Kuivendussüsteemi detailvõrk võib olla kinnine või lahtine; sellest sõltuvalt nimetatakse ka kuivendusvõrku kinniseks või lahtiseks. Lahtisesse detailvõrku kuuluvad kuivenduskraavid, kuna kinnine koosneb drenaažisüsteemidest ja üksikdreenidest. Drenaažisüs-

teem omakorda koosneb kollektorist ning sellesse suubuvaist dreenidest ja vajalikust armatuurist.

Üksikdreenide kasutamisest tuleb võimalikult hoiduda ja rajada selle asemel drenaažisüsteeme. Üksikdreenid on õigustatud aga järgmistel juhtudel: a) kui reljeefitingimused ei võimalda luua drenaažisüsteeme (väike kalle); b) kui kasutatakse ebasoodsate hüdrauliliste omadustega dreene (fašiin-, latt-, kivi- ja õõsdreene), mis kergesti ummistuvad; c) liikuvate rauaühendite poolest rikastes pinnastes, kus dreenid kipuvad ummistuma rauaookriga; d) nn. vesiliivas.

Drenaažiarmatuuri hulka kuuluvad: a) suue; b) settekaev; c) kontrollkaev; d) neelukaev; e) astangkaev; f) allikakaev; g) düüker ja h) imbkaev.

Suue on kollektori või üksikdreeni viimaseks lüliks, mille kaudu vesi voolab üksikdreenist või kollektorist välja lahtisesse veejuhtmesse. Suue allub välismõjudele ja peab seetõttu olema tugev, stabiilne ja ilmastikutingimustele vastupidav. Settekaev on vajalik kohas, kus kollektori või üksikdreeni kalle allavoolu muutub väiksemaks, mille tõttu väheneb voolu kiirus torustiku alumises lõigus. Settekaevu ülesanne on kinni pidada veega kaasaliikuvad uhtmed, mis võiksid torustikus allpool settida. Et settekaevud nõuavad süstemaatilist järelevalvet ja nimelt perioodilist settest puhastamist, on nad tülikad. Seepärast tuleb püüda drenaažisüsteemid ja üksikdreenid projekteerida selliselt, et settekaevude vajadus langeks ära. Kontrollkaeve on soovitatav rajada pikematel kollektoritel vähemalt iga 300 ... 500 m tagant ning kõigis kollektori hargnemiskohtades. Kontrollkaevu ülesanne on võimaldada juurdepääs kollektorile selle seisukorra kindlakstegemiseks. Konstruktsioonilt on kontrollkaev sarnane settekaevuga, mispärast iga settekaev võib täita ka kontrollkaevu ülesannet. Neelukaevu ülesanne on soodustada pinnavee pääsu dreenidesse, vältides seejuures viimaste ummistumist uhtmetega. Neid kasutatakse raskemate pinnastega sulglohkude ja loimude kuivendamisel ning õuemaade kuivendamisel, samuti vee suunamiseks lahtisest veejuhtmest drenaažitorustikku või kurisusse. Lihtsama konstruktsiooniga neelukaevu, mis koosneb ainult filtrist («kaev» puudub), nimetatakse neelufiltriks. Astangkaev on vajalik kohas, kus kollektori (resp. dreeni) trassil esineb järsk maapinna kalle (astang). Allikakaevu kasutatakse allikavee haaramiseks ja selle suunamiseks drenaažitorustikku. Lõikumisel teedega kasutatakse düükrit, mis võimaldab viia drenaažitorustiku tee alt läbi, ilma et seda kahjustaksid teel liiklevad masinad ja veovahendid. Vee immutamiseks sügavamatesse pinnasekihtidesse kasutatakse imbkaevusid (vt. § 8-5).

2. DETAILVÕRGU PAIGUTUS MAASTIKUL

Detailvõrgu paigutusest maastikul ning selle sügavusest ja vahekaugustest sõltub olulisel määral kuivendusvõrgu efektiivsus ja ka maksumus. Seetõttu on detailvõrgu otstarbekohasel lahendusel väga suur tähtsus.

Detailvõrgu paigutus, vahekaugused ja sügavus peavad olema sellised, et: a) oleks tagatud vajalik mulla vee- ja õhurežiim ning b) ei oleks takistatud maade kasutamine ja mullaharimis- ning saagikoristustööde mehhaniseerimine kuivendataval maa-alal.

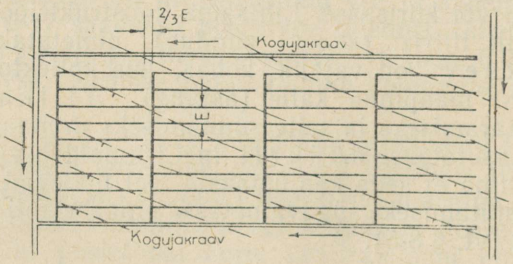
Esimese nõude täitmiseks peavad dreenid ning kuivenduskraavid omama ettenähtud sügavust ja vahekaugust ning paiknema põhja- või pinnavee liikumise suunaga võimalikult risti, seega horisontaalidega või

hüdroisohüpsidega võimalikult rööbiti. Hüdrogeoloogilise plaani puudumisel tuleb orienteeruda maapinna reljeefi järgi, pidades meeles, et hüdroisohüpsid üldjoontes jälgivad horisontaale, kusjuures hüdroisohüpsidel on tavaliselt vähem lokaalseid kõrvalekaldumisi üldsuunast kui horisontaalidel. Kuivendajate paigutamisel tuleb arvestada igal juhul maapinna reljeefi ning suunata need nii, et neile kujuneks sobiv kalle ning võimalikult ühtlane sügavus. Et mehhanismide kasutamine põllumajanduslikel töödel oleks vähem takistatud, peavad lahtiste veejuhtmete vahelised väljakud olema võimalikult suured. See nõue eeldab suurte drenaažisüsteemide rajamist. Suurte süsteemide eelisteks on: kogujakraavide võrk on harv, seega väljakud on suured, drenaažisuudmeid on vähe, torustiku hüdraulilised tingimused on paremad (suurem vooluhulk ja kiirus, mis soodustab torustiku isepuhastumist), kuivendusvõrgu ehitus- ja korrashoiukulud on väiksemad. Kõige selle kõrval on suurtel süsteemidel vaid ainus puudus — torustikus ettetulevad rikked halvavad drenaaži suuremal maa-alal. Suuri drenaažisüsteeme tuleb seepärast kasutada kõikjal seal, kus reljeef ja pinnase geoloogilised tingimused seda võimaldavad, s. o. suhteliselt ühtlase reljeefi ja liivsavi- ning saviliivapinnaste puhul. Väiksemad süsteemid on paratamatud ebaühtlase ja lainja reljeefi puhul, väga väikese kaldega maastikul ja tolmjate «vesiliiva» ning liikuvaid rauaühendeid sisaldavate pinnaste puhul.

Kui põhivõrgu skeem on visandatud (vt. § 7-1), algab drenaažisüsteemide skitseerimine, milleks tuleb: a) valida kollektoritele sobivad asukohad ja süsteemide piirid (veelahkmed) ning b) skitseerida sobiva suunaga ja nõutava vahekaugusega dreenid.

Drenaažisüsteemide projekteerimisel tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid.

1. Drenaaži ehitamise hõlbustamiseks peavad drenaažisüsteemid olema võimalikult lihtsa ja korrapärase kujuga ning minimaalse armatuuriga (vt. joon. 6-22 ja 6-24).

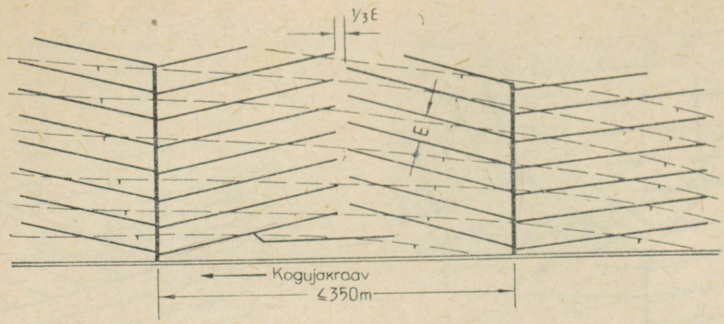


Joonis 6-22. Ühepoolsed drenaažisüsteemid kaldtasandikul.

2. Drenaažisüsteemid on soovitatav projekteerida kahepoolsed, s. o. dreenid peavad suubuma ühte kollektorisse kahelt poolt, milleks kollektor peab suunduma võimalikult risti horisontaalidega (vt. joon. 6-23).

3. Kollektorite paigutamisel arvestada seda, et 50-mm-lise läbimõõduga dreenide pikkus võib olla kuni 150 (äärmiselt 200) meetrit ja 40-mm-lise läbimõõduga dreenide pikkus kuni 100 (äärmiselt 130) meetrit (vt. joon. 6-23).

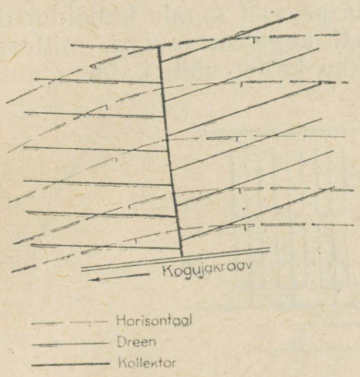
4. Kollektori kalle olgu võimalikult ühtlane või suurenegu allavoolu. Kus kalle allavoolu paratamatult siiski väheneb, mis põhjustab ka voolu kiiruse märgatava vähenemise, tuleb kalde murdepunkti asetada settekaev.



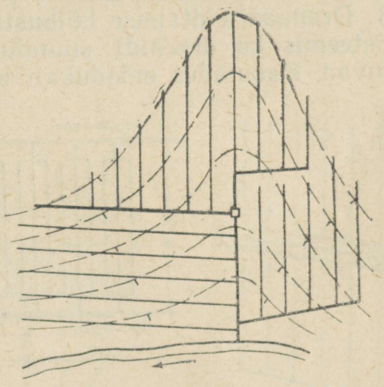
Joonis 6-23. Kahepoolsed drenaažisüsteemid kaldtasandikul.

5. Kollektor peab olema võimalikult sirge, käänaku puhul ei või tekkida nurki, mis on väiksemad kui 120°; väiksema nurga puhul tuleb kujundada käänak kaarekujuliseks (vt. joon. 6-27).

6. Kui reljeef võimaldab drenaažisüsteemi maastikul paigutada mitmes erinevas suunas, tuleb eelistada sellist lahendust, kus dreenide suund põhjavee liikumise suhtes on lähem täisnurgale (vt. joon. 6-22 ja 6-25).



Joonis 6-24. Drenaažisüsteem madalas nõos.

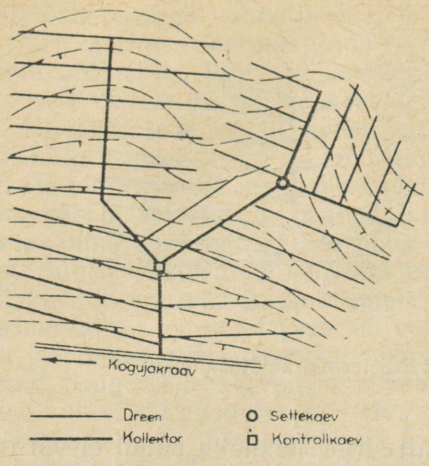


Joonis 6-25. Drenaažisüsteem sügavas nõos.

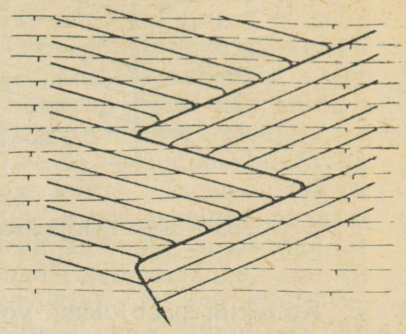
7. Kui maastikul esinevad nõod (orundid), siis tuleb kollektor paigutada selle kõige madalamasse kohta (nõvajoonele). Juhul aga, kui nõos esineb uhtoru tunnuseid, tuleb kollektorid paigutada nõvajoonest kummalegi poole kõrvale. Madalas nõos suubuvad dreenid kollektorisse täisnurga või täisnurgale lähedase nurga all (vt. joon. 6-24), sügavas nõos kujuneb drenaažisüsteem hargnevaks (vt. joon. 6-25), et dreenidele anda horisontaalide suhtes õige suund. Hargnev süsteem on paratamatu ka nõo hargnemisel (vt. joon. 6-26).

8. Suure kaldega maastikul, kus voolu kiirus kollektoris kipub ületama lubatavat piiri, tuleb kollektoris kasutada muhvtorusid või kiiruse vähendamiseks projekteerida kollektor väiksema kalde saamiseks siksakiliselt (vt. joon. 6-27).

9. Kui maapinna kalle on alla 3‰, ei saa dreene enam ilma kunstliku kaldeta (kunstlik kalle on dreeni, resp. kraavi kalle, mis on suurem maapinna kaldest antud veejuhtme trassil) suunata põigiti horisontaalidega ega luua drenaažisüsteeme eespool kirjeldatud viisil. Sel juhul tuleb

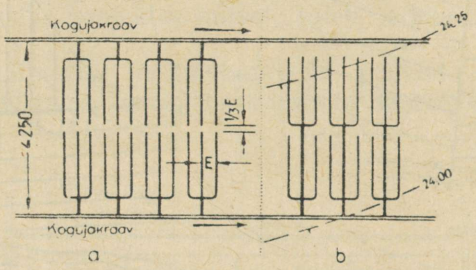


Joonis 6-26. Hargnev drenaažisüsteem.



Joonis 6-27. Drenaažisüsteem suure kaldega maastikul.

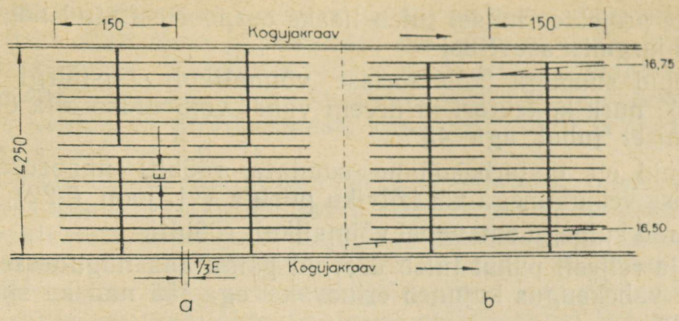
kujundada kahvelsüsteemid (vt. joon. 6-28) või kärbissüsteemid (vt. joon. 6-29). Drenaaži ehitamise hõlbustamiseks peavad nende kollektorid (kahvelsüsteemis ka dreenid) suunduma risti kogujakraaviga, millesse nad suubuvad. Kasutades mõõdukalt kunstlikku kallet võib kaldeta maastikul



Joonis 6-28. Kahvelsüsteemid:
a — kaldeta maastikul; *b* — nõrga kaldega maastikul.

kuivendada kahvel- ja kärbissüsteemidega väljakud, mille laius on kuni 250 m. Joonisel 6-29, *a* on esitatud kärbissüsteemi tüüplahendus kaldeta maastikul, kus dreenide pikkus on 75 m ja kalle 2,5‰, kuna kollektoril on need vastavalt ca 120 m ja 2,0 . . . 2,2‰. Joonis 6-28, *a* esitab näite kahvelsüsteemi kohta kaldeta maastikul, kus dreenide ja kollektori kaldeks on ette nähtud 2,5‰. Neist kahest eritüübilisest drenaažisüsteemist on kärbissüsteemil see eelis, et suudmeid on kuivendatava maa-ala pinnaühiku kohta vähem.

Vähese kaldega maastikul ($i \approx 1 \ldots 3$‰) tuleb kasutada kas kärbissüsteeme (vt. joon. 6-29, *b*) või kaksikkahvelsüsteeme (vt. joon. 6-28, *b*). Kogujakraavide vahekaugusi (resp. väljakute laiusi) on siis võimalik kujundada nii suureks, et need rahuldavad küllaldaselt põllutööde mehhaniseerimise nõudeid. Ka siin on kärbissüsteemil see eelis, et suudmete arv pinnaühiku kohta kujuneb väiksemaks. Kärbissüsteemidel võrreldes kahvelsüsteemidega on see puudus, et lühikesed dreenid ja sellest tingitud

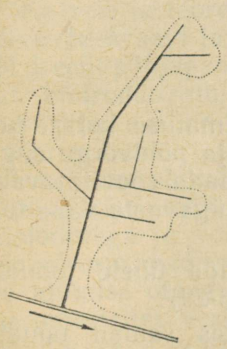


Joonis 6-29. Kärbissüsteemid:
a — kaldeta maastikul; *b* — nõrga kaldega maastikul.

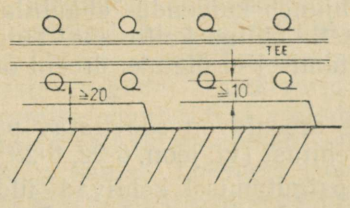
suurem arv ühendusi dreenide ja kollektori vahel teevad drenaaži ehitamise tülikamaks.

10. Valikkuivenduse puhul suunatakse üksikdreenid ja väiksemad drenaažisüsteemid mööda nõgusid, kusjuures süsteemi kuju sõltub nõo kujust (vt. joon. 6-30).

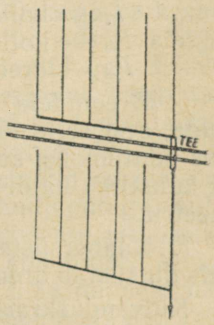
11. Kollektorit mitte paigutada puudele lähemale kui 20 m (vt. joon. 6-31).



Joonis 6-30. Valikkuivendus.



Joonis 6-31. Drenaažisüsteem puiestee ääres.



Joonis 6-32. Drenaažisüsteemi ristumine teega.

12. Tuleb võimalikult hoiduda kollektori ja dreenide ristumisest teede, puuridade ja hekkidega. Kui see aga on paratamatu, tuleb teeriba laiuselt ja puude ning põõsaste ribast 10 kuni 20 m kauguseni mõlemale poole torude liidused kinni kittida, betoneerida või kasutada kahekordseid või muhvtorusid (vt. joon. 6-32).

13. Hoiduda drenaažisüsteemide ja üksikdreenide vahetust suunamisest veejuhtmesse, milles toimub parvetus või esineb jääminek. Kui see on aga paratamatu, siis tuleb suudmete vigastuste vältimiseks ette näha 1 . . . 2 m pikkused suudmekraavid. Suudmekraavid on nõutavad ka siis, kui drenaažisüsteem või üksikdreen suubub majanditevahelisse veejuhtmesse, mille puhastamine on ette nähtud ekskavaatoriga.

(Tüüpilised näited drenaažisüsteemide paigutuse kohta maastikul on esitatud joonistel 6-22 . . . 6-32, samuti joonisel 7-3.)

Dreenide projekteerimisel tuleb lisaks eespool esitatud nõuetele silmas pidada veel järgmisi soovitusi.

1. Dreenid suubugu kollektorisse võimalikult täisnurgi (pealtühenduse puhul), nurk kollektori ja dreeni vahel võib üldse olla 60...90° piirides, äärmisel juhul aga 45°.

2. Dreenid on otstarbekohane suunata rööbiti naabruses asetseva teega, lahtise veejuhtmega või kõlviku piiriga (vt. joon. 6-22).

3. Dreenid kulgegu omavahel võimalikult rööbiti.

4. Lainja reljeefi puhul tuleb dreenid paigutada nõgudesse, kuigi seetõttu nende vahekaugus kujuneb erinevaks ega jää nad ka siis omavahel paralleelseks.

5. Dreenid suunata selliselt, et maapinna kalle dreeni trassil oleks võimalikult ühtlane, optimaalseks kaldeks dreenidel on 3...5‰, kalle ei või olla väiksem kui minimaalne lubatud kalle (vt. tab. 5-27) ega ka kollektori kaldest sedavõrd suurem, et voolu kiirus dreenis ületaks tunduvalt kiiruse kollektoris; tolmjates pinnastes ei või voolu kiirus dreenis üldse ületada voolu kiirust kollektoris.

Orienteerivalt võib dreeni maksimaalse lubatud kalde määrata sõltuvusest

$$\frac{i_d}{i_k} \leqslant \frac{1}{2} \cdot \frac{F_k}{F_d}, \qquad (6\text{-}19)$$

milles i_d — dreeni kalle;
i_k — kollektori kalle;
F_k — kollektori vesikonna pindala ja
F_d — dreeni vesikonna pindala.

6. Dreenidele kunstliku kalde andmisest tuleb võimaluse korral hoiduda, sest selle tõttu kujuneb kuivendus ebaühtlaseks ja põhivõrgu sügavus suuremaks, seega selle ehitus kallimaks. Tuleb pidada soovitatavaks, et kunstliku kalde kasutamisel ei ületaks dreeni otste sügavuste vahe 0,30 meetrit.

7. Naabersüsteemide dreenid on soovitatav paigutada ühele joonele, mis lihtsustab drenaaži ehitust (vt. joon. 6-22, 6-28, *a* ja 6-29).

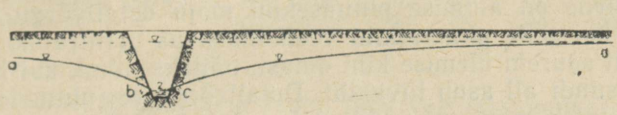
Kuivenduskraavide paigutamisel kehtivad üldjoontes samad nõuded mis dreenide puhul, kuid võrreldes kinnise võrguga tuleb siin suuremat rõhku panna sellele, et kuivenduskraavid oleksid omavahel ja kõlviku piiriga, kogujakraaviga, teega jne. paralleelsed ja nendevahelised väljakud oleksid võimalikult suurte mõõtmete ja korrapärase kujuga, et seejuures oleks välditud kraavide lõikumine teedega ning metsas kvartalisihtidega ja et luhas suunduksid kuivenduskraavid piki suurvee liikumise suunda (nende mudastumise ohu vähendamiseks). Maapinna väikese kalde ($\leqslant 0{,}5\%$) puhul tuleb kuivenduskraavid suunata risti horisontaalidega.

3. DETAILVÕRGU TÖÖTAMISE VIIS

Liigniiskus, mida põhjustab seiskuv pinnavesi, kõrvaldatakse peamiselt kraavitusega. Drenaaž on pinnavee kõrvaldamisel palju vähem efektiivne. Valgudes mööda maad kallaku suunas, satub pinnavesi kuivenduskraavi ning voolab ära. Pinnavee liikumise kiirus on seda suurem, mida siledam ja suurema kaldega on maapind. Ühesuguse kuivendusmõju saavutamiseks peab seepärast kuivenduskraavide vahekaugus olema seda väiksem, mida

väiksem on maapinna kalle. Vahekaugus sõltub peale maapinna kalde veel kliimateguritest (sademete ja auramise vahekorrast, resp. äravoolust) ja viljeldavast kultuurist. Maapinna vähese kalde puhul kasutatakse pinnavee äravoolu kiirendamiseks ja seega ka kuivenduskraavide vahekauguse suurendamiseks maapinna profileerimist, kitsaeelist kündi ja teisi agromeliooratiivseid abinõusid (vt. § 6-17).

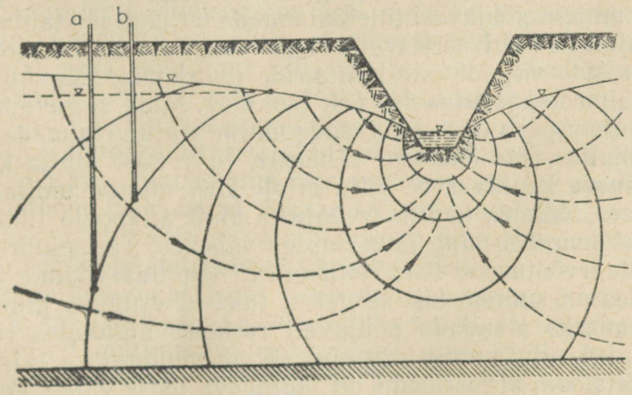
Kui mulla liigniiskus on tingitud kõrgest põhjaveest, tuleb rajada detailvõrk põhjavee alandamiseks. Põhjavee alandamisel on nii kraavitus kui ka drenaaž praktiliselt ühesuguse mõjuga, tingimusel, et kuivenduskraave pidevalt korras hoitakse. Rajatava kuivenduskraavi või dreeni piirkonnast valgub põhjavesi ära ning senise põhjaveepinna asemele kujuneb depressioonipind, mille vertikaallõige (depressioonikõver) on kujutatud joonisel



Joonis 6-33. Depressioonikõver kraavi piirkonnas.

6-33 (joon *a-b-c-d*). Depressioonikõvera kuju sõltub mitmest tegurist, millest kõige suuremat mõju avaldab pinnase veeläbilaskvus (filtratsioonivõime). Mida läbilaskvam on pinnas, seda lamedam on depressioonikõver ning seda kaugemale ulatub kraavi (dreeni) kuivendusmõju.

Katsete ja teoreetiliste uurimistega on kindlaks tehtud, et vesi siseneb kuivenduskraavi ja dreeni kogu märja perimeetri ulatusel, seega ka kraavi või dreeni põhjapoolelt. Vee liikumise trajektoorid (voolujooned) on kõikjal risti hüdrodünaamilise rõhu samajoontega (ekvipotentsiaalidega). Ekvipotentsiaalid kujutavad endast kontsentrilisi kõverjooni veejuhtme märja perimeetri ümber, kusjuures hüdrodünaamiline rõhk (potentsiaal) väheneb veejuhtmele lähenemisel. Joonisel 6-34 on kujutatud põhjavee liikumise hüdrodünaamiline võrk, kus ekvipotentsiaalid on esitatud täisjoontega ja veeosakeste (jugade) trajektoorid katkendjoontega, mille nooled osutavad vee liikumise suunda. Kui asetada pinnasesse piesomeetrid alumise otsaga ühele ja samale ekvipotentsiaalile, siis tõuseb kõigis piesomeetrites vesi ühele ja samale tasemele (joonisel 6-34 on neid näidatud kaks, *a* ja *b*). Mida lühem on trajektoor kahe ekvipotentsiaali vahel,



Joonis 6-34. Põhjavee liikumise hüdrodünaamiline võrk kraavi piirkonnas.

seda suurema kiirusega toimub sellel veeosakeste liikumine vastavalt Darcy seadusele $V = ki = k \frac{\Delta H}{l}$, kus ΔH — veepinna kõrguste (resp. ekvipotentsiaalide) vahe, l — trajektoori pikkus. Vee liikumise kiirus on seega pöördvõrdeline ekvipotentsiaalide vahelise trajektoorilõigu pikkusega.

Et põhjavesi liigub kuivenduskraavi ja dreeni poole ka selle põhjast allpool asuvate vettjuhtivate pinnasekihtide kaudu, on kraavi ja dreeni kuivendusvõime seda suurem, mida tüsedam on vettjuhtiv pinnasekiht. Kuid et trajektooride pikkus suureneb sedamööda, mida sügavamalt vesi veejuhtme suunas liigub, väheneb ka põhjavee liikumise kiirus pinnase sügavamates kihtides ja seetõttu väheneb ka sügavamate pinnasekihtide mõju kraavi (dreeni) kuivendusvõimele; praktiliselt võib arvestada, et ca 1,5...2,0 m sügavusel allpool veejuhtme põhja kustub põhjavee liikumine selle poole. Väga efektiivne on alumise pinnasekihi mõju detailvõrgu kuivendusvõimele juhul, kui selle pinnasekihi veeläbilaskvus (filtratsioonikoefitsient) on tunduvalt suurem ülemise kihi omast, näiteks juhul, kui hästi lagunenud turbalasundi all asub liivakiht. Detailvõrgu veejuhtmete vahekauguse määramisel tuleb seega arvestada nii veejuhtme põhjast ülevalpool kui ka allpool asuva pinnasekihi filtratsioonivõimet.

§ 6-13. KUIVENDAMINE PÕHJAVEE ALANDAMISE TEEL

1. DETAILVÕRGU ÜLESANNE

Põhjaveeseisu tuleb alandada sel määral, et kultiveeritavatele taimedele kujuneksid normaalsed kasvutingimused. Põhjavee alandamiseks ja selle hoidmiseks vajalikul sügavusel rajatakse nõuetekohane detailvõrk. Kasutamist leiavad kõik eespool (vt. § 6-6...§ 6-10) kirjeldatud drenaažiliigid, sõltuvalt nende sobivusest igal üksikul juhul, ning mõningatel juhtudel ka kraavitus. Detailvõrgu nõuetekohast paigutust maastikul on käsitletud eespool (§ 6-12). Kuivenduse intensiivsus sõltub kuivendajate sügavusest, vahekaugusest ja ka paigutusest; sügavus omakorda on otseses sõltuvuses kuivendusnormist.

2. KUIVENDUSNORM

Nn. klassikalise definitsiooni järgi mõistetakse *kuivendusnormi* all sügavust, milleni põhjavesi tuleb alandada, et mullas (taimejuurte levikuruumis) kujuneks kultiveeritavatele taimedele optimaalne veerežiim. Kuivendusnorm sõltub viljeldavate kultuuride juurdumise sügavusest, mullaliigist ning taimede kasvufaasist (vt. tab. 6-8). Mida sügavamalt juurdub taim, seda suurem peab olema kuivendusnorm. Kultuurtaimede juured arenevad hästi mullas, kus õhku on vähemalt 10...20% mulla kogumahust. Põhjaveest tõusva kapillaarvee tõttu ei ole kuivendatud mullakihi niiskus kogu sügavuses ühtlane; kapillaarvöötmes ülalt allapoole liikudes mullaniiskus järjest suureneb ning õhusisaldus väheneb. Taimejuured tungivad seetõttu kapillaarvöötmesse vaid osaliselt. Et kapillaarvöötme tüsedus rasketes muldades on suurem kui kergetes, tuleb ühesuguse juurdumissügavuse saavutamiseks alandada põhjavett rasketes muldades rohkem kui kergetes. Taimede juurdumise sügavus sõltub muidugi ka taimede kasvufaasist; vegetatsiooni algperioodil on juurekava päris väike, kuid see pikeneb pidevalt sedamööda, kuidas taim kasvab ja areneb.

Mitmeaastaste kultuuride puhul (heintaimed, viljapuud, marjapõõsad

Tabel 6-8

Orienteerivad kuivendusnormid (cm-tes) keskmiselt vegetatsiooniperioodil
(A. Tšerkassovi järgi)

Kultuurid	Muld			
	madalsoo-turvas	liiv ja saviliiv	liivsavi	savi
Vikikaerasegatis, lina, üheaastased heintaimed	50...60	45...50	50...60	55...50
Mitmeaastased heintaimed	70...80	50...60	60...75	65...55
Karjamaataimed	80...90	60...70	75...90	85...80
Teravili, silokultuurid	70...90	55...65	65...90	80...75
Kartul, juurvili	80...100	60...80	75...100	90...80
Muu köögivili	75...100	60...75	80...100	90...75
Sügavalt juurduvad taimed (kanep)	80...100	70...85	80...100	95...85
Viljapuud ja marjapõõsad	100...125	80...95	90...120	110...100

jm.) on väga oluline, et põhjavesi asuks juba vegetatsiooniperioodi esimesel kuul (maikuul) küllalt sügaval; nii on I. Eiseni andmeil vajalik, et maikuu keskmine põhjavee sügavus rohumaadel oleks vähemalt 0,65 m.

Majanduslikust seisukohast lähtudes tuleb eeltoodud kuivendusnormi mõistet muuta selles mõttes, et eesmärgiks ei tule seada mitte optimaalset veerežiimi ja sellest sõltuvat maksimaalset saaki, vaid selline põhjavee sügavus (resp. kuivendusvõrgu sügavus), millest alates kuivendusvõrgu sügavuse edaspidine suurendamine muudab kuivendusvõrgu ehitamise ning korrashoiukulude juurdekasvu ja saagi juurdekasvu suhte ebamajanduslikuks.

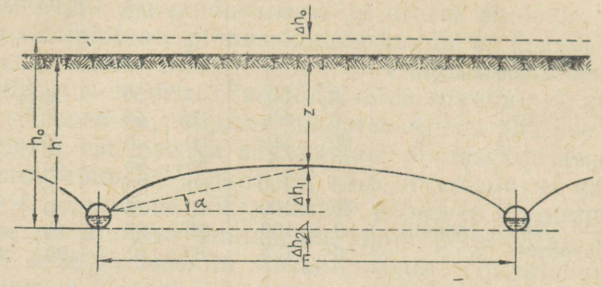
Suure veemahutavusega muldades suureneb põllumajanduslike kultuuride saak sedamööda, kuidas põhjavee alandamisest sõltuvalt suureneb taimede juurdumissügavus ja seega nende juurte toitumisruum. Kui alandada põhjavett, suureneb saak algul intensiivselt, kuid põhjavee teatavast sügavusest alates hakkab saagi juurdekasv võrdlemisi järsult kahanema. I. Eiseni andmeil osutus selliseks pöördepunktiks Tooma katsebaasis vähe kuni keskmiselt lagundunud turvasmulla puhul peaaegu kõigi põllu- ja rohumaakultuuride juures sügavus 0,75...0,80 m. Sellist põhjavee sügavust tulebki vaadelda kui kuivendusnormi minimaalset väärtust eespool mainitud turvasmulla omaduste puhul. Suurema veemahutavusega mineraalmuldades (keskmise kuni raske lõimisega muldades) võib tõenäoliselt kuivendusnormi minimaalseks väärtuseks võtta sama suuruse. Mida kergema lõimisega on aga muld, seda väiksem on selle väliveemahutavus ja seetõttu on tähtis, et taimejuured saaksid kasutada vett ka kapillaarvöötmest, mispärast põhjavee ülearune alandamine neis muldades tekitab ülekuivenduse ning seetõttu vähendab saaki.

Kuigi suure veemahutavusega muldades (keskmised ja rasked mineraalmullad, tüseda lasundiga turvasmullad) ei ole põhjust karta ülekuivendust, ei ole liigne põhjavee alandamine ratsionaalne, sest see suurendab tarbetult kuivendustööde maksumust. Lisaks sellele suurendab see ka soo süttimise ohtu, raskendab võitlust soo põlemisega ning suurendab turba mineraliseerumisproduktide (nitraatide) väljauhtumist.

Kõrvuti vegetatsiooniperioodi kuivendusnormiga tuleb kõnelda ka külvi- ja koristusperioodi kuivendusnormist. Selle all mõistetakse sellist minimaalset põhjaveesügavust, mille puhul külvi- ja koristusmasinate töötamine on võimalik, ilma et oleks karta sissevajumist. Nagu kogemused näitavad, on selleaegne kuivendusnorm liivmuldadel 0,3...0,4 m ning savimuldadel 0,4...0,5 m.

3. KUIVENDAJATE SÜGAVUS

Nagu juba nimetatud (vt. § 6-11), muutub depressioonikõvera kuju pidevalt, sõltuvalt sademete infiltreerumisest, auramisest ja äravoolust. Joonisel 6-35 on kujutatud depressioonikõvera mingi keskmine asend ehk nn.



Joonis 6-35. Depressioonikõver dreenide vahel.

«normaalasend». Selle järgi kujuneb dreenide sügavus järgmiseks:

$$h_0 = z + \Delta h_0 + \Delta h_1 + \Delta h_2, \qquad (6\text{-}20)$$

kus h_0 — vajumiseelne dreenide sügavus (m);
z — kuivendusnorm (m);
Δh_0 — maapinna vajumine kuivendamise mõjul (m);
Δh_1 — depressioonikõvera looga kõrgus (m) ja
Δh_2 — kõrgusvahe depressioonikõvera madalaima punkti ja dreeni põhja vahel (m).

Maapinna vajumine kuivendamise mõjul (Δh_0) sõltub pinnaseliigist, turba lagundumisastmest, liigniiskuse astmest jm. Mineraalpinnaste vajumine on suhteliselt väike: saviliival kuni 5%, liivsavil 5...8% ja savil 8...12% detailvõrgu sügavusest; turba vajumine on tunduvalt suurem ning see määratakse vastavate valemite või nomogrammiga (vt. § 6-3 ja MK III, nomogramm XXX-A).

Depressioonikõvera looga kõrgus $\Delta h_1 = \frac{E}{2} \operatorname{tg} \alpha$, milles $\operatorname{tg} \alpha$ sõltub pinnaseliigist ning kliimatingimustest, kusjuures keskmiste väärtustena võib A. Tšerkassovi järgi kasutada tabelis 6-9 antud suurusi.

Tabel 6-9

$\operatorname{tg} \alpha$ sõltuvus pinnaseliigist

Pinnaseliik	$\operatorname{tg} \alpha$
Liiv	0,003...0,02
Saviliiv	0,02 ...0,05
Liivsavi	0,03 ...0,07
Savi	0,05 ...0,10
Raske savi	0,06 ...0,12
Madalsooturvas	0,02 ...0,05

Δh_2 sõltub vooluhulgast dreenis ning pinnaseliigist; umbkaudu võib võtta $\Delta h_2 \approx d$, kus d — dreeni välisläbimõõt (0,05...0,08 m).

Valemist 6-20 võib järeldada, et mida suurem on kuivendajate vahekaugus (E), seda suurem on Δh_1 ja seega seda suurem peab olema ka kuivendajate sügavus. Üldiselt peab detailvõrgu sügavus olema kuivendus-

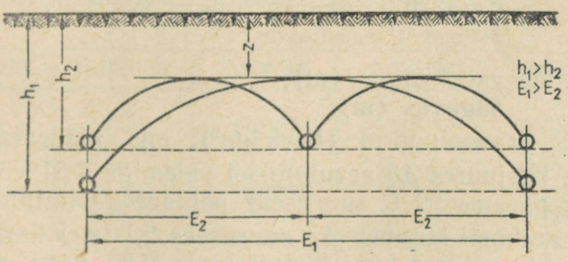
normist ca 0,30...0,50 m võrra suurem ning ta kõigub tavaliselt heinamaadel 0,9...1,1 ning karja- ja põllumaadel 1,0...1,3 m piirides (pärast pinnase vajumist).

Kuivendajate sügavuse valikul tuleb lähtuda järgmistest kaalutlustest ja soovitustest.

1. Mida suurem sügavus, seda ebaühtlasem kuivendus.
2. Mida väiksem dreenide sügavus, seda suurem väetisainete väljauhtumine.
3. Mida väiksem on dreenide sügavus, seda suurem on taimejuurte sissetungimise oht.
4. Väikese sügavuse puhul külmuvad dreenid talvel sagedamini läbi, mis põhjustab savitorude kestendamist ning purunemist, punduvates pinnastes nihkuvad torud ka paigalt. Eesti NSV kliimatingimusi arvestades tuleb savitorud asetada mineraalmaas vähemalt 0,80 m sügavusele, soos aga võib sügavus olla ka mõningal määral väiksem (turvas külmub õhemalt kui mineraalmaa).
5. Keskmistes muldades kasutada suuremaid, rasketes ja kergetes väiksemaid sügavusi.
6. Kergetes ja keskmistes muldades kasutada suuremate sademete tingimustes suuremaid sügavusi.
7. Suuremaid sügavusi kasutada sügavapõhjalistes, toitaineterikastes ja rauarikastes muldades ning sügavalt juurduvate taimede puhul.
8. Vältida dreenide paigutamist «vesiliivakihti».
9. Kihilise ehitusega pinnastes tuleb dreenid rajada vettjuhtivatesse kihtidesse, hoidudes vettpidavasse kihti ning rasketest vahekihtidest allapoole sattumist, kuigi allpool oleks vettjuhtivam pinnas.

4. KUIVENDAJATE VAHEKAUGUS

Valikkuivenduse puhul määrab dreenide (kuivenduskraavide) asukoha kindlaks negatiivsete pinnavormide paiknevus ja kuju (vt. joon. 6-30). Lauskuivenduse puhul määratakse kuivendajate vahekaugus vastavate arvutusmeetoditega ning selle alusel paigutatakse dreenid ja kuivenduskraavid maastikule teatava korra järgi ning omavahel võimalikult paralleelselt. Kuivendajate vahekaugus sõltub paljudest teguritest: kuivendajate sügavusest, nõutavast põhjavee sügavusest (kuivendusnormist), mulla veeläbilaskvusest, kliimateguritest (sademetest, auramisest resp. äravoolust) ning viljeldavate kultuuride nõuetest iga järjekordse liigveeolukorra kõrvaldamise tähtaja suhtes. Kui kõik muud tingimused on ühesugused, võib kuivendajate vahekaugus olla seda suurem, mida suurem on nende sügavus (vt. joon. 6-36).



Joonis 6-36. Dreenide vahekauguse sõltuvus sügavusest.

Kuivendajate sügavuse ja vahekauguse määramisel tuleb arvesse võtta järgmisi asjaolusid.

1. Suure sügavuse ja suure vahekauguse puhul on depressioonikõvera kõikumise amplituud suurem; kevadel ja vihmasadude järel kulub rohkem aega depressioonikõvera laskumiseks «normaalasendisse», mille tõttu hilineb külv ja sadude perioodil halvab kõrge põhjavesi taimekasvu; seevastu kuival perioodil, seoses depressioonikõvera alanemisega liiga sügavale, võib kergetes muldades avalduda liigkuivus.

2. Suurema vahekauguse puhul kujuneb detailvõrgu ehitusmaksumus väiksemaks, kuid põhivõrgu maksumus võib kujuneda suuremaks.

3. Tihe lahtine detailvõrk raskendab põllutööde mehhaniseerimist, samuti läheb sel juhul kraavide all kaduma palju tootmispinda.

NSV Liidu mittemustmullavööndis kasutatakse dreenide vahekauguse määramisel laialdaselt akad. A. N. Kostjakovi valemit:

$$E = 17{,}3\sqrt{\frac{kT(h+2a)(h-z)}{\delta z+S-A}}, \qquad (6\text{-}21)$$

kus E — dreenide vahekaugus (m);
h — dreenide sügavus (m);
z — kuivendusnorm (m);
k — pinnasekihi kaalutud keskmine filtratsioonikoefitsient (m/ööp.);
δ — pinnase veeloovutuskoefitsient % (vt. § 3-4, p. 5);
T — päevade arv, mille kestel depressioonikõver peab laskuma «normaalasendisse»; T suuruseks võetakse kevadisel perioodil tavaliselt — põllul 5...10, karjamaal 10...15 ning heinamaal kuni 20 päeva;
S ja A — sademed ja auramine samal ajavahemikul (m) ja
a — aktiivse pinnasekihi tüsedus allpool dreeni, milles toimub põhiline põhjavee surveline voolamine dreenide suunas; $a \leqslant 2{,}0$ m; kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, siis $a = 0$.

Eesti NSV-s kasutatakse praegu dreenide vahekauguse määramiseks mineraalmaal K. Hommiku ning madalsoos U. Tombergi valemeid (6-22...6-28). K. Hommik on valemite tuletamisel sel juhul, kui dreenid paiknevad vettpidavast kihist kõrgemal, ära kasutanud A. N. Kostjakovi drenaaži äravoolu võrrandi [20] ning sel juhul, kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, § 4-5 esitatud arvutused.

A. Dreenide vahekauguse määramine mineraalmaal

Põllul ja kultuurkarjamaal:

$$E = 4270\sqrt{\frac{k_1(h-0{,}50)^2+0{,}86a\,k_2(h-0{,}50)}{\bar{q}}}, \qquad (6\text{-}22)$$

kus E — dreenide vahekaugus (m);
h — „ sügavus (m);
$\bar{q}$ — aasta äravoolunorm (l/sek.km^2), mis määratakse valemiga 4-30, kusjuures $\Delta\bar{q}$ arvutamisel valemiga 4-31 võetakse $q_{95\%} = 0$ ning parameetri C suuruseks põhjaveega toitumise puhul 150; neil andmeil kujuneb $\Delta\bar{q}$ suuruseks 2,1 l/sek.km^2;
k_1 — dreenide põhjast kuni künnikihini (0,20 m-ni allapoole maapinda) ulatuva pinnasekihi kaalutud keskmine filtratsioonikoefitsient (cm/sek);

k_2 — allpool dreenide põhja asuva aktiivse pinnasekihi (kihi, milles toimub põhiline põhjavee surveline liikumine dreenide suunas) kaalutud keskmine filtratsioonikoefitsient (cm/sek); juhul kui dreenide lähedal asub vett halvemini juhtiv pinnasekiht kui sügavamal, tuleb kaalutud keskmise filtratsioonikoefitsiendi asemel kasutada dreenidelähedase pinnasekihi filtratsioonikoefitsienti;

a — allpool dreenide põhja asuva aktiivse (vettjuhtiva) pinnasekihi tüsedus (m); a on sõltuv pinnase filtratsioonivõimest ning on praktiliselt keskmiselt 0,8 ja maksimaalselt 1,5 meetrit.

Kaalutud keskmine filtratsioonikoefitsient kihilises pinnases määratakse G. N. Kamenski järgi valemiga:

$$k=\frac{k_1h_1+k_2h_2+\ldots+k_nh_n}{h_1+h_2+\ldots+h_n}, \qquad (6\text{-}23)$$

kus k_i — pinnase üksikute kihtide filtratsioonikoefitsient ja
h_i — „ „ „ tüsedus.

Kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, lihtsustub vahekauguse määramise valem ning kujuneb järgmiseks:

$$E=4270(h-0{,}50)\sqrt{\frac{k_1}{q}}. \qquad (6\text{-}24)$$

Kultuurheinamaal:

$$E=4580\sqrt{\frac{k_1(h-0{,}45)^2+0{,}86\,a\,k_2(h-0{,}45)}{q}}, \qquad (6\text{-}25)$$

kus tegurite tähendus on sama mis valemi 6-22 juures.

Kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, kujuneb valem lihtsamaks:

$$E=4580(h-0{,}45)\sqrt{\frac{k_1}{q}}. \qquad (6\text{-}26)$$

Hõlpsam on dreenide vahekaugust määrata tabeliga 6-10 ning MK III, nomogrammidega XXIII ja XXIV. Tabelis esitatud vahekaugused on määratud valemite 6-22 ja 6-25 järgi eeldusel, et nii ülemine kui ka alumine (dreenidest allpool asuv) pinnasekiht on ühesuguse veejuhtivusega.

Tabel 6-10

Dreenide vahekaugus mineraalmaal põllu, kultuurkarjamaa ja (sulgudes) kultuurheinamaa puhul aasta äravoolunormi juures 9,0 l/sek. km²*

Dreenide sügavus (m)	Kerge savi	Raske liivsavi	Keskmine liivsavi	Kerge liivsavi	Saviliiv	Liiv
	Filtratsioonikoefitsient k (cm/sek)					
	0,000033	0,000118	0,000197	0,000326	0,000542	0,00090
0,8	4(5)	8(10)	11(13)	14(17)	18(21)	23(28)
0,9	5(6)	10(12)	13(15)	17(20)	22(25)	28(33)
1,0	6(7)	12(14)	15(18)	20(23)	26(29)	33(38)
1,1	7(8)	14(15)	18(20)	23(26)	29(33)	38(43)
1,2	8(9)	15(17)	20(22)	25(29)	33(37)	42(48)
1,3	9(10)	17(19)	22(24)	28(31)	36(40)	46(52)

* Tolmja pinnase puhul võtta vahekaugus lähema raskema pinnase lahtrist; kruusase või rähkse pinnase puhul võtta vahekaugus lähema kergema pinnase lahtrist.

Kui aasta äravoolunorm ($\bar{q}$) erineb tabelis mainitust, tuleb tabelist saadud vahekaugusi korrutada koefitsiendiga $\beta = \sqrt{\frac{9,0}{\bar{q}}}$, mida on hõlpus määrata tabelist 6-11.

Tabel 6-11

Koefitsient β

$\bar{q}$ (l/sek.km²)	7	8	9	10	11	12	13
β	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,83

Valemi, tabeli või nomogrammiga saadud dreenide vahekaugust tuleb survelise põhjaveega kallakute kuivendamisel vähendada 20...30% võrra ning suurendada: a) ajutiselt liigniiskete maade puhul 10...30% võrra; b) rasketel liivsavi- ja savimaadel agromelioratiivsete abinõude (vesivaod, maapinna profileerimine, muttimine, sügav põhja kobestamine jne.) rakendamisel kuni 1,8 korda.

Kuivenduskraavide vahekauguse võib võtta dreenide vahekaugusest kuni 30% suurema, seda eriti raskemate pinnaste puhul, kuna lahtine detailvõrk on pinnavee kõrvaldamisel drenaažist efektiivsem.

B. Dreenide vahekauguse määramine madalsoos

Kui turbalasundi alumised kihid on rohkem lagundunud kui ülemised, nagu see tavaliselt ongi, määratakse dreenide vahekaugus järgmiselt.

Põllul ja kultuurkarjamaal:

$$E = 3750\varepsilon \sqrt{\frac{k_h}{aq}\left[\frac{10^{a(h-0,50)}-1}{2,3a} - \frac{(h-0,50)}{10^{a}}\right]}. \qquad (6\text{-}27)$$

Kultuurheinamaal:

$$E = 4000\varepsilon \sqrt{\frac{k_h}{aq}\left[\frac{10^{a(h-0,45)}-1}{2,3a} - \frac{(h-0,45)}{10^{a}}\right]}. \qquad (6\text{-}28)$$

Neis k_h — filtratsioonikoefitsient dreenide põhja tasemel pärast turba kuivendusjärgset vajumist (cm/sek), mis arvutatakse valemiga 6-5;

a — arvutatakse valemiga 6-6;

h — dreenide sügavus pärast turba vajumist (m);

$\bar{q}$ — aasta äravoolunorm (l/sek.km²; selle määramisest vt. lähemalt valemi 6-22 juurest);

a — turbakihi paksus allpool dreeni pärast turba vajumist (m); kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, siis $a=0$;

ε — paranduskoefitsient, mis määratakse tabelist 6-12.

Tabel 6-12

Paranduskoefitsient ε

$h-0,50$ või $h-0,45$ (m)	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	⩾ 0,80
ε	0,77	0,84	0,90	0,95	0,98	1,00

Dreenide vahekaugust madalsoos on lihtsam määrata tabeliga 6-13 või MK III, nomogrammiga XXV, mis on koostatud valemite 6-27 ja 6-28 alusel.

Tabel 6-13

Dreenide vahekaugus põllu, kultuurkarjamaa ja (sulgudes) kultuurheinamaa puhul madalsoos turba lagundumisastme 30% (1,0 m sügavusel) ning aasta äravoolunormi 9,0 l/sek.km² juures

Dreenide sügavus (m)		Turbalasundi tüsedus enne vajumist (m)			
enne vajumist	pärast vajumist	1,5	2,0	2,5	⩾ 3,0
1,40	0,90	21 (26)	27 (33)	30 (36)	31 (37)
1,55	1,00	23 (28)	31 (36)	34 (40)	36 (42)
1,65	1,10	—	33 (39)	37 (43)	39 (45)
1,80	1,20	—	34 (41)	39 (46)	41 (48)

Kui aasta äravoolunorm (q) erineb tabelis mainitust, tuleb tabelist saadud vahekaugust korrutada koefitsiendiga $\beta = \sqrt{\frac{9{,}0}{q}}$, mida on hõlpus määrata tabelist 6-11. Kui aga künnialuse kihi lagundumisaste on suurem või väiksem kui 30%, tuleb tabelist saadud vahekaugust vähendada või suurendada 20% võrra lagundumisastme erinevuse iga 10% kohta. Survelise põhjaveega toituvatel soodel tuleb saadud vahekaugust vähendada 15...25% võrra. Kuivenduskraavide vahekaugust võib dreenide vahekaugusega võrreldes suurendada kuni 30% võrra.

Kui turbakiht allpool dreenide põhja on vähem lagundunud kui ülalpool või kui dreenid asuvad turba all asuvas vettjuhtivas mineraalpinnases, siis tuleb dreenide vahekaugust arvutada valemiga 6-22 ja 6-25.

Filtratsioonikoefitsient nii mineraal- kui ka turbapinnases määratakse Erkini valemiga (6-10). Umbkaudu võib turba filtratsioonikoefitsienti määrata ka tabeli 6-3 järgi.

§ 6-14. DRENAAŽI HÜDRAULILISED ARVUTUSED

Drenaažisüsteeme moodustatakse teatavasti peamiselt savitorudest ja vähemal määral laud- ning freestorudest. Drenaažisüsteemi elementidest dimensioneeritakse hüdraulilise arvutuse teel ainult kollektoreid, kuna dreenidena kasutatakse üldiselt minimaalseid standardsuurusi (savitorudel 40 ja 50 mm).

Hüdrauliliste arvutuste aluseks võetakse ühtlase voolamise põhivalem $Q = \omega C\sqrt{Ri}$, millele arvutuste hõlbustamiseks antakse võimalikult lihtne kuju.

1. SAVITORUD

Hüdraulilistel arvutustel lähtutakse maksimaalsest arvutuslikust vooluhulgast, mille puhul toru töötab maksimaalse läbilaskevõimega, s. o. 95%-lise täitega, kusjuures Chézy koefitsient C määratakse Manningi järgi, võttes karedusarvuks (n) 0,013. Asetades need tegurid ühtlase voolamise põhivalemisse, saadakse drenaaži hüdrauliliste arvutuste valem järgmisel kujul (vt. valemit 5-109):

$$Q = 25{,}76\, d^{8/3}\sqrt{i},$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek);
d — kollektori siseläbimõõt (m) ja
i — kollektori kalle.

Et valemis esinev astendaja on murdarv, on selle valemiga tülikas arvutada. Praktikas toimub kõigi hüdraulliliste ülesannete lahendamine sobiva nomogrammiga (MK III, XXII-A).

Asendades eelmises valemis Q temaga võrdse Fq-ga, saadakse valem, mille järgi on konstrueeritud nimetatud nomogramm, järgmisel kujul:

$$Fq = 25{,}76\, d^{8/3} \sqrt{i}, \qquad (6\text{-}29)$$

kus F — kollektori vesikonna pindala ning
q — arvutuslik äravoolumoodul.

Nomogrammi juures olevas seletuskirjas on antud ammendav selgitus nomogrammi kasutamise kohta ning on illustreeritud seda ka näidetega. Ühtlasi on samas antud juhised arvutusliku äravoolumooduli määramiseks.

Kollektori minimaalseks läbimõõduks võetakse 50 mm dreenide puhul 75 mm ning 40 mm dreenide puhul 50 mm.

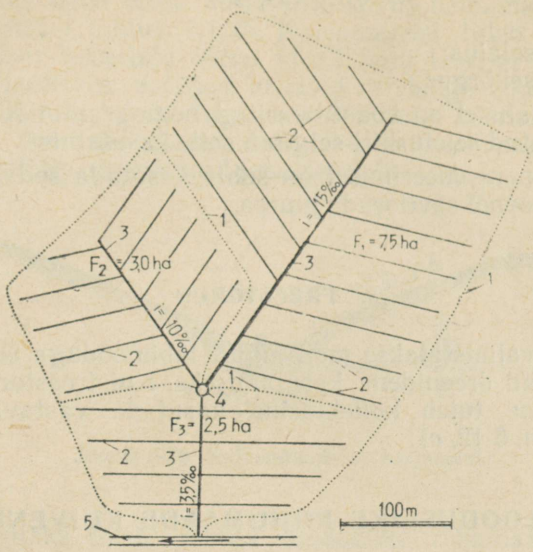
Kollektori hüdraulilist arvutust on hõlpus teostada järgmises korras.

Kollektori kalde ja äravoolumooduli järgi määratakse nomogrammiga valitud toru (kas Ø 75 või Ø 50 mm) kuivendusvõime F', s. o. maa-ala suurus, mida suudab kuivendada savitoru läbimõõduga 75 või vastavalt 50 mm, ning võrreldakse seda drenaažisüsteemi (resp. harukollektori) vesikonna pindalaga (kuivendatava maa-ala suurusega) F. Kui $F' \geqslant F$, rahuldab valitud läbimõõt kuivendusnõudeid ja kollektor on seega dimensioneeritud. Kui $F' < F$, tuleb plaani järgi määrata kollektoril punkt, mille kohal vesikonna pindala on võrdne F'-ga. Sellest punktist allapoole (allavoolu) tuleb paigutada jämedam toru, antud juhul 100 või vastavalt 75 mm. Nomogrammiga määratakse nüüd selle toru kuivendusvõime (F'') ning võrreldakse F-ga. On ka $F'' < F$, tuleb analoogiliselt eeltoodule leida kollektoril punkt, kust allapoole tuleb paigutada järgmine, veelgi suurema läbimõõduga toru. Kollektori kuivendusvõimet kontrollitakse igas erineva kaldega kollektorilõigus. Seda tehet jätkatakse seni, kuni jõutakse suudmeni või harukollektori puhul selle ühinemiseni peakollektoriga. Kollektori hargnemise korral dimensioneeritakse ükshaaval kõik harukollektorid ning jätkatakse seejärel peakollektori dimensioneerimist.

Seejärel leitakse nomogrammilt voolu kiirus igas torustikulõigus või vähemalt selle alumises otsas.

Drenaažisüsteem on projekteeritud õigesti siis, kui voolu kiirus allavoolu ei vähene, vaid jääb samaks või, veel parem, suureneb pidevalt ning kui see kusagil ei jää väiksemaks lubatavast minimaalkiirusest (vt. tab. 5-27) ega ületa ka lubatavat ülempiiri (tavaliselt 1,2 m/sek). Kui kiirus peaks ületama ülempiiri, tuleb kas kasutada muhvtorusid või suurendada kunstlikult kollektorilõigu pikkust, projekteerides drenaažisüsteemi ümber siksakiliseks (vt. joon. 6-27), või näha sobivasse kohta ette astangkaev. Kollektori läbimõõtu allavoolu ei tule vähendada, kuigi hüdraulilise arvutuse andmed seda võimaldavad, välja arvatud juhud, kui vahepeal on kas kontroll- või astangkaev. Ülevaatlikkuse huvides on soovitatav vormistada hüdraulilised arvutused tabeli kujul (tab. 6-14).

Näide. Teostada joonisel 6-37 kujutatud drenaažisüsteemi kollektori hüdraulilised arvutused, kui arvutusliku äravoolumooduli suurus (q) on 0,60 l/sek.ha ja dreenideks on kasutatud savitorusid Ø 50 mm.



Joonis 6-37. Drenaažisüsteemi hüdrauliline arvutus:
1 — drenaažisüsteemi vesikonna veelahe; *2* — dreenid; *3* — kollektor; *4* — settekaev; *5* — kogujakraav.

Tabel 6-14

Drenaažisüsteemi hüdraulilised arvutused

Süsteemi nr.	Arvutuspunkt	Kuivendatava maa-ala suurus F (ha)	Arvutuslik äravoolumoodul q (l/sek. ha)	Kalle i (‰)	Valitud toru risti lõike mõõtmed (mm)	Kuivendusvõime F' (ha)	Voolukiirus V (m/sek)	Märkused
1.	Settekaev	3,0	0,60	10,0	75	4,5	0,58	harukollektor
	Settekaevust 160 m	5,4	„	15,0	75	5,5	0,73	peakollektor
	Settekaev	7,5	„	„	100	10,7	0,87	
	Suue	13,0	„	3,5	150	16,0	0,57	

2. LAUDTORUD

Meie projekteerimisorganisatsioonides ja maaparanduspraktikas kasutatakse laudtorusid, mille sisemised konstruktiivsed mõõtmed millimeetrites on: (38×52), 48×62, 62×62, 62×82, 72×82, 82×102 ja 102×102.

Laudtorude hüdraulilistes arvutustes on eeldatud, et arvutusliku vooluhulga puhul ulatub veepind laudtoru pilu alumise ääreni. Arvutades Chézy koefitsiendi C P a v l o v s k i järgi ning võttes karedusarvu suuruseks 0,013 (eeldusega, et turbas kattub toru sisepind limakelmega), kujuneb arvutusvalem järgmiseks:

$$Fq = \frac{bh}{0{,}013}\left(\frac{bh}{b+2h}\right)^{0{,}653}\sqrt{i}, \qquad (6\text{-}30)$$

kus b — toru siselaius;
h — toru sisekõrgus.

Selle valemi alusel on konstrueeritud nomogramm XXII-B (MK III), mille juures esitatud seletuskiri selgitab selle kasutamist.

Kollektori dimensioneerimisel on sobiv kasutada sedasama viisi, mida on kirjeldatud eespool savitorude juures.

3. FREESTORUD

Freestorusid valmistatakse meil ainult läbimõõduga 50 ... 65 mm. Sellisena nad sobivad dreenidena kasutamiseks. Kui freestorudest soovitakse koostada süsteeme, tuleb kollektorina kasutada vastavate mõõtmetega laudtoru (vt. joon. 6-12, *c*).

§ 6-15. LOODUSLIKE ROHUMAADE KUIVENDAMINE

Maade kuivendamist, kus liigniiskus on põhjustatud kõrgest põhjaveest, on käsitletud eespool (vt. § 6-13). Eri käsitlust vajab selliste maade kuivendamine, kus liigniiskust põhjustab pinnavesi (rasketel mineraalmuldadel asuvad looduslikud rohumaad).

Selliste maade liigniiskuse aste sõltub väga suurel määral maapinna reljeefist. Suure kaldega ilma märgatava mikroreljeefita maastikul pinnavesi ei seisku; mispärast liigniiskus ei avaldu üldse või avaldub vaid nõrgal kujul. Seevastu tekib maapinna väikese kalde ning vahelduva mikroreljeefi puhul pinnavee seiskumine ja selle tagajärjel liigniiskus.

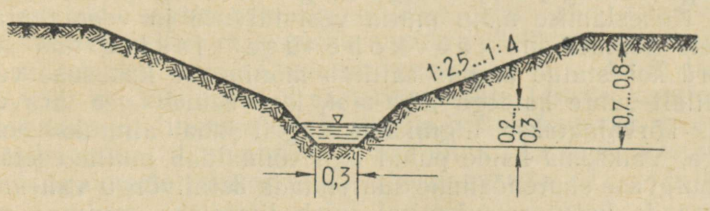
Selliseid maid saab kuivendada vaid lahtise detailvõrguga, millele vajaduse korral lisatakse ka lahtine piirdevõrk. Heinamaadel, kus mehhanisme põllumajanduslikel töödel vähe kasutatakse, on lahtine kuivendusvõrk ka igati õigustatud ja seda eriti ajutiselt liigniisketel maadel, kus kuivenduskraavide vahekaugused on suuremad. Kuivenduskraavide paigutuse suhtes maastikul on rohumaadel üldjoontes kehtivad samad nõuded, mida on kirjeldatud eespool (§ 6-12, p. 2), kuid selle erinevusega, et kuivenduskraavide paralleelsuse nõue ei ole nii kategooriline kui põllumaadel. Kuivenduskraavid tuleb paigutada üldjoontes horisontaalide suhtes terava nurga all, suunates neid mööda nõgusid, loimusid ja nõvasid. Kraavide vahekaugused sõltuvad maapinna reljeefist ning osalt ka pinnase veeläbilaskvusest (vt. tab. 6-15).

Tabel 6-15

Kuivenduskraavide vahekaugus lauskuivenduse puhul looduslikel rohumaadel (Läti NSV andmeil)

Pinnaseliik	Maapinna kalle (‰)		
	< 2	2 ... 10	> 10
Kerge ja keskmine liivsavi	50 ... 60	60 ... 70	70 ... 80
Savi ja raske liivsavi	40	50	60

Kraavide sügavus võib olla ca 0,7 ... 0,8 m ning põhja laius 0,2 ... 0,3 m; minimaalne kalle 0,5‰. Kraavide nõlvus heinamaadel on sõltuvalt pinnasest tavaliselt 1:1 kuni 1:1,25. Karjamaadel tuleb seevastu pidada soovitatavaks hästi lamedaid nõlvu (1:2,5 kuni 1:4), et nad vastu paneksid loomade tallamisele. Sellised kraavid on kõige otstarbekam kaevata greideriga ning kitsas voolusängiosa viimistleda käsitsi. Kraavi nõlvade lame (ülemine) osa tuleb kamardada (külvata rohuseeme). Sellise kuivenduskraavi ristlõige on esitatud joonisel 6-38.



Joonis 6-38. Kuivenduskraav karjamaal.

Ratsionaalsemaks tuleb pidada looduslike rohumaade kuivendamist harvendatud lahtise detailvõrguga koos sobivate agromelioratiivsete abinõudega. Vahekaugused võivad sel puhul olla kuni 2 korda suuremad tabelis 6-15 esitatud arvudest. Agromelioratiivsetest abinõudest sobib kasutada muttimist pinnavee sügavamatesse mullahorisontidesse akumuleerimiseks (muttimisagregaadiga P-5) ning valikvagusid (vesivagusid) pinnavee ärajuhtimiseks loimudest.

§ 6-16. RASKETE SAVIMAADE KUIVENDAMINE

1. RASKETE SAVIMAADE KUIVENDAMISE ISEÄRASUSI

Gravitatsioonivee liikumise kiirus looduslikus lasundis olevas raske lõimisega pinnases (raske liivsavi, savi) on väga väike. Praktiliselt liigub vesi seal vaid mööda üksikuid veesoonekesi (lõhed, taimejuurte jäljed) ning mööda horisontaalseid liivakaid vahekihte. Nende arv on aga kõikuv, sageli väga väike ning seetõttu ebapiisav liigvee ärajuhtimiseks nõutava ajavahemiku kestel. Väikese kaldega maastikul puudub või on väga aeglane ka pinnavee äravool; vesi seiskub maapinnal, põhjustades kultuurtaimede hävimist ning künnikihi üleküllastumist veega.

Raskete maade vähene veeläbilaskvus tingib vajaduse kasutada kuivendajate väikesi vahekaugusi, mis kraavituse puhul raskendab mehhaniseeritud mullaharimis- ja saagikoristustöid, drenaaži puhul aga ei kaitse põllumajanduskultuure pinnavee seiskumisest tingitud kahjustuste eest. Väikeste vahekauguste tõttu kujuneb kuivendusvõrk ka tunduvalt kallimaks võrreldes kergete muldade kuivendamisega.

Savimaade kuivendamine tavaliste võtetega, eriti drenaažiga on seetõttu vähe efektiivne, mispärast seal tuleb kasutada esmajärjekorras järgmisi abinõusid:

a) suurendada mulla veejuhtivust;

b) suurendada mulla veemahutavust (vee akumuleerimise võimet);

c) loikude tekkimise vältimiseks lohkudes (loimudes) hõlbustada pinnavee äravoolu;

d) kasutada maad selliste kõlvikutena, kus tihe lahtine detailvõrk on talutav (heinamaa, mets).

Nende abinõude sobivus antud majandis sõltub maa kasutamise viisist, majandi majanduslikest võimalustest ning looduslikest tingimustest. Viimastest on tähtsamad maapinna kalle, tasasus (tasane, lohklik, vanade kraavide esinemine, kumera profiili olemasolu jne.) ning klimaatilised tegurid (sademete ajaline jaotus, sademete ja auramise vahekord jt.).

Mulla veejuhtivuse ja veemahutavuse suurendamine on praktiliselt võimalik tüseda struktuurse künnikihi loomise ning künnialuse kihi sügava (kuni 0,5 m) kobestamise teel. Tüse struktuurne künnikiht saavutatakse sügavkünniga, lupjamisega ning rohke orgaanilise väetise kasutamisega. Kobestamise mõju mulla veejuhtivuse ja veemahutavuse suurendamisele põhineb nn. j ä ä v k o b e s u s e e f e k t i l, mis seisneb selles, et kord kobestatud pinnas säilitab mõningase kobesuse väga pikaks ajaks. Küllalt suure kaldega maa-alal, kus esineb vee äravool mööda maapinda, kõrvaldatakse liigniiskus sageli juba ainuüksi eelnimetatud abinõudega. Väiksema kalde puhul aga võimaldab mulla veeläbilaskvuse ja veemahutavuse suurendamine suurendada detailvõrgu vahekaugusi.

Uudismaade kasutuselevõtmisel tuleb liigniiske savimaa puhul kaaluda võimalust rajada neile maadele heinamaa või mets, arvestades seda, et lahtine detailvõrk on neil kõlvikutel kõige talutavam, selle ehitus drenaažiga võrreldes tunduvalt odavam ning ka korrashoiukulud suhteliselt väiksemad.

Kui majandil on raskete muldadega põllumaid vähe, on õigustatud nende kuivendamine ka kraavitusega; põllutööd tuleb siis nendel maadel planeerida teha hobujõul või väiketraktoritega (ratastraktor rippriistadega). Suurematel põllumassiividel ei ole sotsialistliku põllumajanduse tingimustes kitsaste vahedega lahtine detailvõrk enam õigustatud. Nõuetele vastava kuivendusvõrgu saab rajada sel teel, et täienduseks hüdromelioratiivsetele abinõudele kasutatakse sobivaid agromelioratiivseid abinõusid, mille tulemusena detailvõrgu efektiivsus on tõhusam ning võib suurendada kraavide vahekaugusi.

Agromelioratiivsetest abinõudest tuleb esmajärjekorras kasutada vee akumuleerimisele suunatud võtteid (künnialuse kihi kobestamine, muttimine). Ainult seal, kus maapinna kalle on väga väike ja seetõttu esineb pinnavee pikemaaegset seiskumist, tuleb koos vee akumuleerimise abinõudega rakendada ka abinõusid vee ärajuhtimiseks (kitsaeeline künd, peenardamine, profileerimine, vesivaod, vt. § 6-17); eriti otstarbekohane on vesivagude ja kitsaeelise künni kasutamine sügiseste ja kevadiste üleujutuste likvideerimiseks taliviljade puhul.

Täiesti usaldusväärsed üksikasjalised andmed savimaade kuivendusviiside tulemuste kohta Eesti NSV tingimustes puuduvad. Alljärgnevad soovitused baseeruvad üksikute katsete tulemustel ning teoreetilistel kaalutlustel, mispärast neid tuleb vaadelda kui esialgseid ning orienteerivaid.

2. DRENAAŽI KASUTAMINE RASKETE MULDADEGA PÕLLUMAADE KUIVENDAMISEKS

Abinõud, mida raskete muldadega põllumaade kuivendamisel tuleb rakendada, peab seadma alljärgnevasse järjekorda:

1) tüseda struktuurse künnikihi loomine;

2) lahtise piirdevõrgu rajamine kõrvalt pealevalguva pinnavee äralõikamiseks;

3) hüdromelioratiivsete abinõude (drenaaži) täiendamine agromelioratiivsete abinõudega ja nimelt:

a) harvendatud drenaaž koos künnialuse kihi kobestamisega (keskmine ja raske liivsavi);

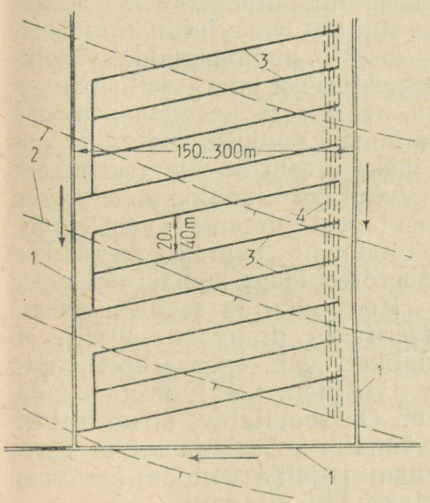
b) harvendatud drenaaž koos muttimisega (raske liivsavi);

c) kahe eelmise võtte kombinatsioon (raske liivsavi, savi);

d) kitsaeeline künd risti dreenidega koos peenardamisega või ilma (savi).

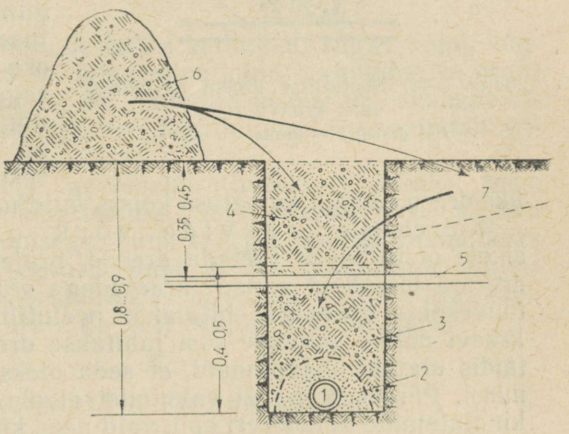
Allpool käsitletakse hüdromelioratiivsete abinõude kombineerimist agromelioratiivsete abinõudega (piirdevõrgust ja agromelioratiivsetest abinõudest vt. § 6-17 ja § 6-18).

Inglise meetod savimaade dreenimisel (nn. mutt-savitorudrenaaž) seisneb selles, et kogujakraavide vahelistele väljakutele rajatakse savitorudest üksikdreenid, vahekaugusega ca 40...60 m ja sügavusega 0,75...0,90 m, kusjuures drenaažikaevikute täiteks kasutatakse ca 40...50 cm paksuselt filtermaterjali (kruus, killustik, šlakk, hagu). Põiki üle savitorudreenide tõmmatakse (maapinna kaldele vastassuunas) 0,5...0,6 m sügavusele muttdreenid vahekaugusega 2,7...4,5 m.



Joonis 6-39. Drenaaživõrgu skeem muttimisel:

1 — põhivõrgu veejuhtmed; *2* — horisontaalid; *3* — drenaaživõrk; *4* — muttimise suund.



Joonis 6-40. Vertikaallõige risti dreeniga.

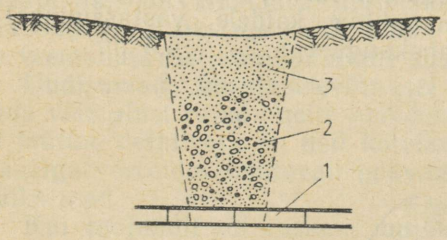
1 — savitorudreen; *2* — kruus, liiv, vähe lagundunud turvas, sammal, kanarbik; *3* — huumusmuld (künnikihist); *4* — kaevikusse tagasiaetav pinnas (täitepinnas); *5* — mutiõõs; *6* — kaeviku mullavall; *7* — künnikihist kaevikusse aetav muld.

Et muttdreenide toimimiskestus mineraalpinnastes on Eesti NSV tingimustes osutunud väga lühikeseks, tuleb nende asemel kasutada lihtsamat (odavamat) võtet — muttimist sügavusega 0,35...0,45 m. Joonisel 6-39 on esitatud skeem sellise drenaaživõrgu paigutuse kohta reljeefi suhtes. Joonis 6-40 kujutab vertikaallõiget risti dreeniga. Savitorudreen tuleb kaitseks taimejuurte sissetungi vastu ümbritseda toitainetevaese materjaliga (kruus, liiv, sammal, kanarbik, vähe lagundunud turvas) ning selle peale asetada künnikihist võetud huumusmuld vähemalt kuni mutiõõneni ning kõige peale ajada drenaažikaeviku ülejäänud pinnas. Muttimine annab tulemusi ainult neil juhtudel, kui maa-ala on küllalt tasane ning maapinnal on kalle muttimise suunas. Üksikdreenide vahekaugus sõltub reljeefist ja pinnase veejuhtivusest; mida suurem on maapinna kalle ja suurem pinnase veejuhtivus, seda suurem võib olla vahekaugus. Maapinna

väikese kalde puhul tuleb nendele dreenidele raskes pinnases paratamatult mõningal määral kunstlikku kallet anda, kusjuures kogujakraavide vahekaugust (väljakutę laiust) tuleb vajaduse korral ka vähendada; selle suuruseks peab siiski jääma minimaalselt 100 ... 150 m.

Liivsavis (keskmine ja raske) võib muttimise asemel kasutada ka künnikihi süvendamist või künnialuse kihi kobestamist. Sel puhul võetakse dreenide vahekaugus ca 2 korda suurem kui ilma mainitud agromelioratiivsete abinõudeta (s. o. ca 20 ... 30 m).

Kui drenaaž ehitatakse maa-alale, mis varemalt oli kuivendatud lahtise detailvõrguga, on raskusi nüüd ülearuseks muutunud kraavide kinniajamisega, sest neid ei õnnestu peaaegu kunagi niivõrd tasandada, et nende ase ei moodustaks maapinnal nõgu, millesse koguneb vesi. Veeloikude tekkimise ärahoidmiseks tuleb talitada siis järgmiselt.



Joonis 6-41. Neelufilter dreeni ristumisel vana kraaviga:
1 — dreen; *2* — kruus; *3* — liiv.

Kui kraavide asetus on sobiv ja nendevahelisel alal on kumer profiil, kaldega kraavide poole, tuleb dreenid asetada kraavide joonele, kasutades dreenikaeviku alumise osa täiteks vett juhtivat materjali — kruusa, huumusmulda, vähelagundunud turvast jm. — sellise arvestusega, et pärast kaeviku pealmise osa täitmist kaevikust võetud pinnasega jääks dreeni kohale veel madal nõgu. Juhul kui kraavide vahekaugus on nõutavast dreenide vahekaugusest tunduvalt suurem, asetatakse üks dreen profiili kumeruse kohta, kuid naaberdreenidega samale tasemele.

Kui endiste kraavide võrk on korratu ja seetõttu neisse ei ole otstarbekas asetada dreene, projekteeritakse drenaaž selliselt, et dreenid lõikuksid vanade kraavidega võimalikult risti. Igasse dreeni ristumiskohta kraaviga ehitatakse neelufilter (vt. joon. 6-41), mille kaudu kraavi nõkku kogunev vesi juhitakse dreeni. On soovitatav, et neelufiltri täidis ulatuks maapinnani, et seda oleks võimalik kobestada mulla harimisel. Pärast drenaaži valmimist ei ole enam vajalik vanade kraavide kinniajamine buldooseri abil, vaid need küntakse lihtsalt kinni.

3. LAHTINE DETAILVÕRK KOOS AGROMELIORATIIVSETE ABINÕUDEGA

Eesti NSV läänepoolsetes rajoonides esineb veesettelise päritoluga raskeid savimaid, kus maapinna kalle on väga väike. Neil maa-aladel on drenaaži kasutamine raskendatud. Seal, kus dreenidele ei ole võimalik küllaldast kallet anda (ka kunstlikult mitte), tuleb kasutada lahtist detailvõrku, kusjuures kuivendajate vahekaugusi suurendatakse agromelioratiivsete abinõude kasutamise arvel kuni 2 korda. Viimastena kasutatakse kitsaeelist künti, profileerimist, peenardamist ja vesivagusid.

Kuivenduskraavid tuleb suunata maapinna kalde suunas. Samas suunas toimub ka künd. Maapinnalt ja künnikihist koguneb vesi lahkukünnivagudesse ning voolab seda mööda ära. Vajaduse korral tuleb lahkukünnivagusid käsitsi viimistleda, et soodustada vee äravoolu. Profileerimisega kujundatakse väljakutele ka ristkalle, mis soodustab pinnavee kiiremat äravoolu. Lohkudest (loimudest) pinnavee ärajuhtimiseks küntakse vesivaod, mis suunatakse lahkukünnivagudesse või kuivenduskraavi. Kitsaeelise künni künniee laiuseks võetakse ca 12 ... 20 m. Tuleb silmas

pidada, et mullavallid eemaldataks kraavipervelt jäägitult ning et kraaviperve mööda kulgev künnivagu oleks madalamates kohtades renni abil ühendatud kraaviga.

§ 6-17. AGROMELIORATIIVSED ABINÕUD

1. ÜLESANNE JA TÄHTSUS

Agromelioratiivsetest abinõudest käsitletakse järgnevalt neid abinõusid, millega kõrvaldatakse ajutine liigvesi maapinnalt või künnikihist, suunates seda kas kuivendusvõrku või mulla sügavamatesse horisontidesse, ning mida teostatakse lihtsate seadistega, sageli üheaegselt agrotehniliste abinõudega, millele nad oma teostusviisilt on lähedased. Eriline tähtsus on neil abinõudel rasketel ja osalt ka keskmistel muldadel (savi, raske ja keskmine liivsavi) vähese kaldega või kaldeta ning liigestunud mikroreljeefiga maastikul. Agromelioratiivsed abinõud suurendavad kuivendussüsteemi detailvõrgu efektiivsust, mille tõttu kuivendusvõrku on võimalik harvendada ja seega odavamaks muuta. Seejuures ei takista need abinõud oluliselt masinate kasutamist põllutöödel. Oma iseloomult on agromelioratiivsed abinõud kahesugused — vett akumuleerivad ja vett ärajuhtivad.

Antud agromelioratiivsete abinõude hulka kuuluvad: sügav künd, künnialuse kihi kobestamine, muttimine, kitsaeeline künd, vagumine ja profileerimine. Neist kolm esimest abinõu on suunatud veevarude akumuleerimisele mullakihti, kõik ülejäänud aga vee ärajuhtimisele maapinnalt või künnikihist.

Põhiliseks, suurima tähtsusega agromelioratiivseks abinõuks tuleb lugeda tüseda struktuurse mullakihi loomist, mis saavutatakse sügava künni ja künnialuse kihi kobestamisega, kuna sellega muutub võimalikuks talletada taimekasvuks vajalik veevaru, ilma et see põhjustaks mullas liigniiskust. Alles siis, kui ka tüse mullakiht ei suuda vastu võtta kogu sademete vett, tuleb võtta kasutusele ka vett ärajuhtivad abinõud.

2. SÜGAV KÜND JA KÜNNIALUSE KIHI KOBESTAMINE

Tavalise künni sügavus on ca 18...20 cm. Sügavamalt on võimalik künda uudismaa-adraga ПКБ-56, mille künnisügavus ulatub 30 cm-ni ja rohkemgi.

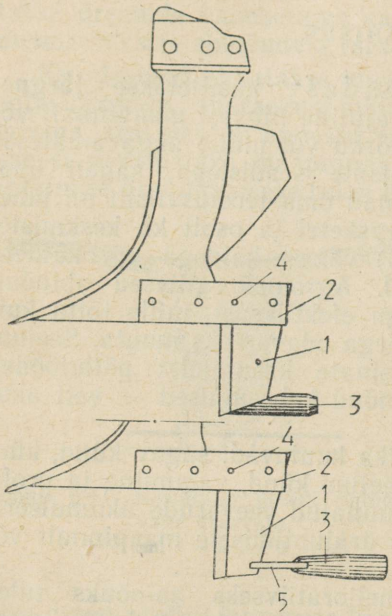
Et vältida mulla viljakuse ajutist langust mittetegusa sügava mullakihi väljakündmise tagajärjel, tuleb esimestel aastatel anda tugev annus orgaanilist väetist ja vajaduse korral lubjata. Need abinõud soodustavad ühtlasi struktuurse mulla tekkimist.

Parimaks sügavkünni teostamise ajaks on varasügis. Künniviilud tuleb talveks jätta purustamata ning talve jooksul välja vedada väetis ja lubi. Väljaküntud künnialuse kihi talvine läbikülmumine soodustab mulla füüsikalis-keemiliste omaduste paranemist.

Künnialune kiht kobestatakse adraga, mille külge on monteeritud põhjakobestaja. Kobestatud kihi filtratsioonikoefitsient ühe aasta kestel pärast kobestamist on ca 0,002 cm/sek.

3. MUTTIMINE

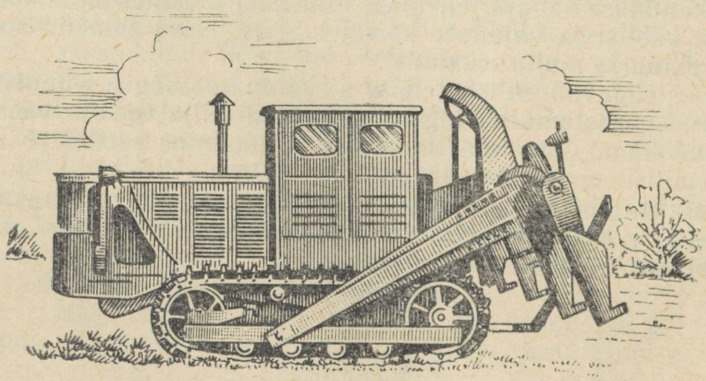
Muttimiseks nimetatakse madala ja tiheda (sügavus 35 . . . 45 cm ja vahekaugus 0,8 . . . 1,5 m) muttdrenaaži rajamist. Mutiõõned tuuakse välja lahtisesse kuivendusvõrku või jäetakse umbseks. Muttimine soodustab peale üleliigse vee ärajuhtimise künnikihist ka mulla õhustumist. Muttimine on teostatav liivsavi- ja savimuldades, kus ei esine suuri kive. Kergemates muldades ei pea mutiõõned kuigi kaua vastu. Püsivamaks on mutiõõned osutunud siis, kui nad on sisse küntud ajal, millal muld on parasniiske, ning siis, kui vesi saab neist välja valguda. Umbsete mutiõõnete iga ei ületa tavaliselt ühte vegetatsiooniperioodi.



Joonis 6-42. Muttseadmed: *1* — nuga; *2* — plaat; *3* — dreener; *4* — kaitsepolt; *5* — ketilüli.

Muttimist teostatakse koos künniga või iseseisva tööoperatsioonina. Mitmekorpuselise adra külge monteeritakse muttseade üle ühe kuni üle kolme korpuse nii, et vahekauguseks muttseadmete vahel kujuneks ca 0,8 . . . 1,5 m. Joonisel 6-42 on esitatud kaht tüüpi muttseadmeid. Esimesel on dreener kinnitatud muttseadme noa külge jäigalt ja teisel ketilüli abil. Dreeneri läbimõõt on ca 6 cm. Kui muttseade kohtab suuremat kivi, murdub kaitsepolt ning nuga koos dreeneriga pöördub kinnituspoldi ümber, tõustes adra talla kõrguselle, ning libiseb ilma viga saamata üle kivi. Põllumaad mutitakse kevadise korduskünni või, selle ärajäämisel, sügiskünni ajal.

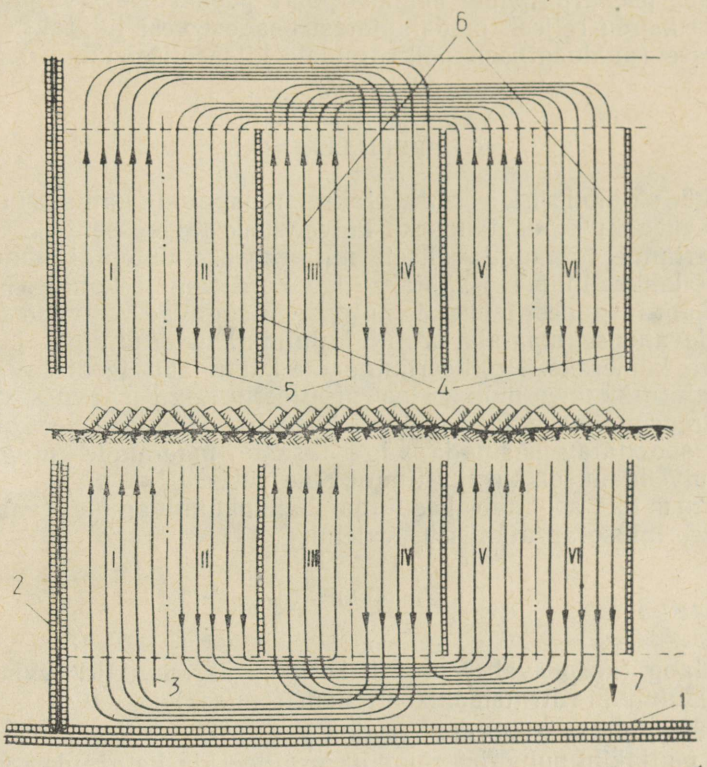
Eraldi tööoperatsioonina toimub muttimine muttijatega. Muttijal P-5 (vt. joon. 6-43) on 5 dreenerit vahekaugusega 0,8 . . . 1,5 m. See muttija võimaldab muttimist alata otse kraavi juurest ning sellega on võimalik muttida ka rohumaid (tehakse kevadel sel ajal, kui muld on paraja niiskusega).



Joonis 6-43. Muttija *P-5*.

4. KITSAEELINE KÜND

Kitsaeelist kündi tuleb kasutada maapinna vähese kalde ning raske mulla puhul, kus esineb rohkesti pinnavett. Kuid kasutada ainult kitsaeelist kündi ilma teiste (akumuleerivate) agromelioratiivsete abinõudeta ei ole õige, sest muidu juhitakse mööda maapinda minema ka taimedele vajalik vesi.



Joonis 6-44. Kitsaeelise künni skeem:
1 — kogujakraav; *2* — kuivenduskraav; *3* — töö algus; *4* — lahkukünnivaod; *5* — kokkukünnihari; *6* — traktori liikumise teekond; *7* — töö lõpp.

Künd toimub 12...20 m laiuste eedena maapinna kalde suunas. Künnil tekkivad lahkukünnivaod tuleb käsitsi viimistleda, et nad paremini juhiksid vett. Lisaks lahkukünnivagudele, mis on künni suhtes pikivaod, tuleb vajaduse korral (liigestunud mikroreljeefi puhul) kasutada ka põikvagusid, millega juhitakse lohkudest ära seal seiskuv pinnavesi. Põikvagude vahekaugus kõigub tavaliselt 70...150 m piirides. Põikvagude ajamiseks kasutatakse uudismaa-atra ПКБ-56.

5. VAGUMINE

Vagumine jaguneb valikvagumiseks (vesivagude ajamiseks) ja peenardamiseks. Vesivagusid kasutatakse taliviljapõldudel lohkudest ja loimudest sinna koguneva pinnavee ärajuhtimiseks, et vältida oraste hävimist üleujutuste tagajärjel. Vesivaod küntakse kas muldamissahaga (mutiga) või, sügavamate loimude puhul, uudismaaadraga ПКБ-56, püüdes neid suunata otseteed lähemasse veejuhtmesse.

Peenardamine seisneb primitiivsete peenarde moodustamises liigniiskel põllul. Selleks kasutatakse muldamissahka (mutti) või vagujat KOH-2,8, mille hõlmadele kinnitatakse terasplekist pikendused vaost tuleva mulla laialilükkamiseks. Nendega küntakse paralleelsed vaod piki maapinna kallet, mistõttu peenardelt vakku valguv vesi voolab minema. Peenarde laius (resp. vagude vahekaugus) kõigub ca 0,7 ... 2,0 m piirides. Pikkade peenarde puhul aetakse põiki peenardele (vagudele) põikvaod, mille kaudu reljeefi madalamatest osadest vesi juhitakse lähemasse veejuhtmesse (analoogiliselt põikvagudele kitsaeelisel künnil).

6. PROFILEERIMINE

Profileerimiseks nimetatakse maapinna kalde suurendamist pinnavee äravoolu soodustamiseks kuivenduskraavidesse.

Profileerimine toimub tavaliselt mitmekordse ühtepidi kündmise teel selliselt, et lahkukünnivaod küntakse iga kord samale kohale. Nii kujunevad lahkukünnivagudest lamedate nõlvadega sügavad vesivaod (pikivaod), kuna nendevahelise maa-ala profiil kujundatakse künniga ja tasandamisvõtetega kumeraks. Profileerimine on künni abil teostatav vaid kuni ca 30 m laiuse künniee puhul. Hea profileerimisega saavutatakse täielikum ja kiirem pinnavee äravool kui kitsaeelise künniga. Seetõttu on profileerimist soovitatav kasutada väga tasaste maa-alade ning tolmjate muldade kuivendamisel, kus muttimine pole püsiv.

K. Hommik soovitab kasutada lahkukünnivagude vahekauguse, s. o. künniee laiuse arvutamiseks valemit

$$E = 6000H\sqrt{\frac{k}{q}}, \qquad (6\text{-}31)$$

kus H — lang (kõrgusvahe) profiili kesk- ja äärepunktide vahel (m);
k — künnikihi filtratsioonikoefitsient (cm/sek) ja
q — aasta äravoolunorm (l/sek.km^2).

Tüseda mullakihi puhul on võimalik profileerida ka greideri või buldooseri abil. Kraavilähedaselt ribalt mahalõigatud muld teisaldatakse nende masinatega kraavivahe keskmisele ribale ning seejärel tasandatakse maapind mullaharimisvõtetega. Selline profileerimise viis on aga väga kulukas.

§ 6-18. PIIRDEVÕRK

Piirdevõrgu ülesanne on ära lõigata kuivendatavale maa-alale väljastpoolt, kõrgematelt aladelt pealevalguv vesi. Kaugelt suuremal osal juhtumeist on pealevalguv vesi vaid üheks põhjuseks teiste hulgas, mis tekitavad antud territooriumil liigniiskust, ja sellepärast on ka võitlus selle veega vaid täiendavaks abinõuks muude kuivendusabinõude kõrval. Ainult siis, kui atmosfäärivesi ei saa tekitada liigniiskust, nagu näiteks liigestunud reljeefiga maastikul kergemate muldade puhul, vaid see on tingitud ainuüksi kõrvalt pealevalguvast veest, võib piirdevõrk üksi lahendada kuivenduse ülesande.

Piirdevõrk on kasulik eriti siis, kui kaitstav maa-ala piirdub reljeefilt kõrgemal asuvate ülesharimata maadega, neist omakorda eriti soo (raba) ja metsaga. Metsa äärde on soovitatav alati ette näha piirdekraav (ka siis, kui mets asub reljeefilt kuivendatavast alast madalamal), et sellega väl-

tida metsa laienemist kultuurkõlvikutele, kultuurpinna kurnamist puude poolt ja drenaaži ummistumist puujuurte sissetungi tõttu.

Pealevalguva pinnavee äralõikamiseks kasutatakse lahtist piirdevõrku (piirdekraave), kuna põhjavee puhul on ühesuguse efektiivsusega kasutatav nii lahtine kui ka kinnine piirdevõrk (piirdedreenid).

Jõeluhtades, kus pealevalguva pinnavee moodustab jõe tulvavesi, ei ole piirdevõrk efektiivne ega seetõttu kasutatav. Võitluseks tulvaveega kasutatakse vajaduse korral kaitsetamme.

1. LAHTINE PIIRDEVÕRK

Piirdekraavid rajatakse kaitstava maa-ala kõrgemale äärele või järsu nõlvaku või veeru jalamile, suunates neid teravnurgi horisontaalide suhtes, et saada kraavile kalle vähemalt 0,5‰. Piirdekraavi sügavus on tavaliselt ca 1,0...1,2 m, põhja laius 0,3...0,5 m; kraavi väline (kõrgema kalda poolne) nõlv on soovitatav teha lamedam või kindlustada (mätastada). Väljakaevatud pinnas asetatakse sisekaldale (madalamale kaldale).

Piirdekraavid kalduvad rohkem kui ükski muu kuivendusvõrgu veejuhe mudastumisele ja rohtumisele. Selle pahe vähendamiseks tuleb püüda projekteerida piirdekraavid seal, kus reljeef võimaldab, sellise kaldega, et voolu kiirus ei oleks alla 0,5 m/sek.

Kui piirdekraavi vesikond on suur (üle 3 km^2), tuleb kraav dimensioneerida hüdrauliliste arvutuste abil. Piirdekraav suunatakse sõltuvalt reljeefist kas peakraavi või otse veevastuvõtjasse (vt. joon. 6-1). Kui pealevalguvat pinnavett on vähe, täidab piirdekraavi ülesannet edukalt ka sobiva suunaga kuivendus- või kogujakraav.

Lahtine piirdevõrk on kahtlemata kasulik seal, kus pealevalguv vesi põhjustab kestvat liigniiskust ning kannab kuivendatavale maa-alale jämedaid deluviaaluhtmeid (liiva); seevastu seal, kus pealevalguv vesi tuleb põldudelt ja on seetõttu rikas taimetoitainete poolest, võib lahtine piirdevõrk osutuda ebasoovitavaks. Viimasel juhul tuleb sõltuvalt konkreetsest olukorrast kas üldse loobuda piirdevõrgust, kanda piirdekraav üle sügavamale kaitstava maa-ala piiridesse, kasutades nõlvaku või veeru jalamiriba loodusliku rohumaana, rajada lahtise piirdevõrgu asemel kinnine või kasutada pealevalguv vesi ära alamal asuvate maade kunstlikuks niisutamiseks (valgniisutus, vihmutus).

2. KINNINE PIIRDEVÕRK

Pealevalguva põhjavee puhul on soovitatavam kasutada kinnist piirdevõrku — piirdedreene. Ainult seal, kus piirdekraavid oma asendi poolest ei tekita raskusi maa kasutamisel, võib ka põhjavee puhul kasutada lahtist piirdevõrku. Metsa ääres ei või kasutada piirdedreene, vaid peab kasutama piirdekraave.

Piirdedreeni mõju ulatus suureneb tunduvalt, kui ta asetada nõlvaku või veeru jalamil piirkonda, kus põhjavee sügavus on kõige väiksem või kus vettpidav kiht on maapinnale kõige lähemal. Piirdedreenile sobiva asendi määramiseks tuleb nõlvaku ja veeru jalamil deluviaalsetete piirkonnas pinnast sondeerida detailsemalt, võrreldes seda maastiku muude osadega.

Piirdevõrgu mõju ulatust põhjavee puhul, s. t. depressioonikõvera kuju, on võimalik selgitada valemitega 6-15 ja 6-16. Kui piirdedreen või piirdekraav ei lõika pealevalguvat põhjaveevoolu läbi täielikult kuni vett-

pidava kihini, tuleb kuivendatavale maa-alale rajada detailvõrk, mille vahekaugusi sõltuvalt põhjavee survelisusest tuleb piirdevõrgu läheduses vähendada kuni 30% võrra (vt. § 6-13, p. 5 ja 6).

KIRJANDUST

1. Anweisung für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Dränanlagen. Berlin, 1941.
2. Eisen, I. Põhjavee sügavuse mõju soomulla viljakusele. «ENSV TA Toimetised», III kd. Tallinn, 1954.
3. Hallakorpi, J. A. Maatalouden vesirakennus. Helsinki, 1932.
4. Hommik, K. Kuivendusvõrgu valiku alustest Eesti NSV oludes. «Sotsialistlik Põllumajandus» nr. 11, 1956.
5. Juske, A. Drenaažitööde juhendid. ENSV Põllumajanduse Ministeeriumi Ehituse ja Elektrifitseerimise Peavalitsuse Tehnilise Abi Büroo väljaanne. Tallinn, 1960.
6. Keso, L. Salaojitustyöt. Helsinki, 1951.
7. Kuum, J. Soode kuivendamine ja kasutamine põllumajanduses. Tallinn, 1954.
8. Kuum, J. ja Tomingas, E. Põllumajanduslik drenaaž. Tallinn, 1959.
9. Maaparanduse käsiraamat III. Koostanud A. Remmel. Tallinn, 1960.
10. Odiņš, J. Lauksaimniecibas zemju nosusināšana. Rigā, 1957.
11. Parvet, A. Maakuivendus drenaažiga. Tallinn, 1955.
12. Põllumajanduse Ministeerium. Maaparandustööde tehnilised tingimused Eesti NSV-s. Tallinn, 1957.
13. Schroeder, G. Landwirtschaftlicher Wasserbau. Göttingen-Berlin, 1950.
14. Tomberg, U. Dreenide vahelaiuse määramine turbapinnaste kuivendamisel. «Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi Teaduslik-Tehnilise Informatsiooni Bülletään» 2. Tallinn, 1958.
15. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
16. Uiska, J. Drenaža. Rigā, 1958.
17. Брудастов А. Д. Осушение минеральных и болотных земель. Москва, 1955.
18. Гейтман Б. Г. и Писарьков Х. А. Осушение сельскохозяйственных земель. Москва—Ленинград, 1955.
19. Златкин М. А. и Касторская Е. А. Осушение минеральных избыточно-увлажненных земель. Москва—Ленинград, 1954.
20. Костяков А. Н. Основы мелиорации. Москва, 1960.
21. Кривоносов И. М. и Селиверстов М. Н. Сельскохозяйственные мелиорации в нечерноземной полосе. Ленинград, 1957.
22. Лавров А. В. Осушение болот и заболоченных земель в Германской Демократической Республике. Москва, 1956.
23. Розин В. А. Мелиорация с основами сельскохозяйственного водоснабжения. Ленинград, 1954.
24. Силин-Бекчурин А. И. Динамика подземных вод. Москва, 1958.
25. Станкевич В. С. Осушение сельскохозяйственных земель выборочной сетью каналов. Москва, 1953.
26. Томберг У. Х. Осадка торфа при осушении болот. «ENSV TA Toimetised», VI kd. Tallinn, 1957.
27. Томберг У. Х. Осушение торфяных почв дренажем в условиях ЭССР. Автореферат. Москва, 1959.
28. Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Москва, 1958.
29. Шилейка В. Ю. Гончарный дренаж в Литовской ССР. «Гидротехника и Мелиорация» № 12, 1956.
30. Шилейка В. Ю. Повреждения закрытого дренажа из кончарных и бетонных труб и мероприятия по их предупреждению и устранению. Автореферат. Каунас, 1959.

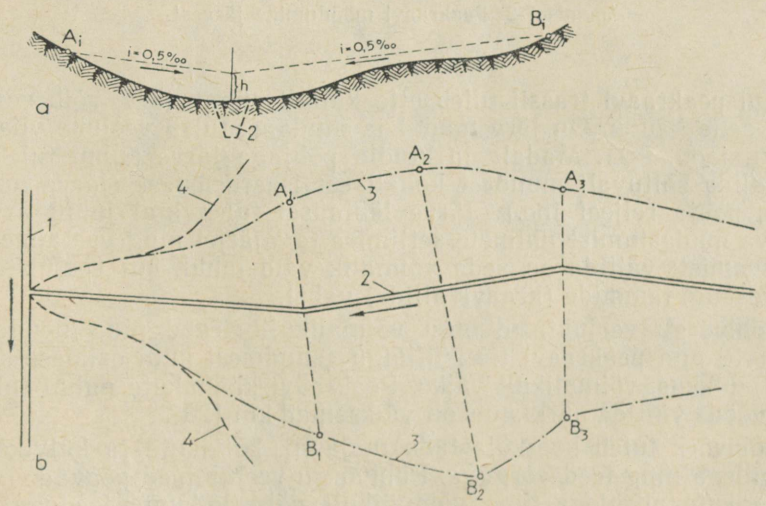
SEITSMES PEATÜKK

KÜIVENDUSSÜSTEEMI PÕHIVÕRK JA VEEVASTUVÕTJA

§ 7-1. PÕHIVÕRGU VEEJUHTMETE PAIGUTUS MAASTIKUL

Põhivõrgu ülesanne on detailvõrgust saabuva vee vastuvõtmine ja edasijuhtimine veevastuvõtjasse. Põhivõrgu koosseisu kuuluvad *peakraav* ja *kogujakraavid*; hargnemise korral liigitatakse viimased järkudesse: esimese (I) järgu kogujakraaviks (suubub peakraavi), teise (II) järgu kogujakraaviks (suubub I järgu kogujakraavi) jne.

Peakraavi kui kuivendussüsteemi keskse veejuhtme kaevamisega luuakse kuivendamise (detailvõrgu ehitamise) võimalused teatava suurusega territooriumil. Viimast nimetatakse *peakraavi tulupiirkonnaks*. Tulupiirkonna raja- ehk piirjoon määratakse järgmiselt (vt. joon. 7-1). Peakraavi trassil, vahekaugusega ca 100...500 m (sõltuvalt maa-ala reljeefist) valitud punktidesse püstitatakse vertikaalid. Igal vertikaalil märgitakse detailvõrgu sügavuse (ca 0,9...1,3 m) kõrgusel üle maapinna punkt, millest tõmmatakse risti peakraaviga kummalegi poole peakraavi 0,5‰-lise tõusuga kaldjooned, mis pikendatakse kuni lõikumiseni



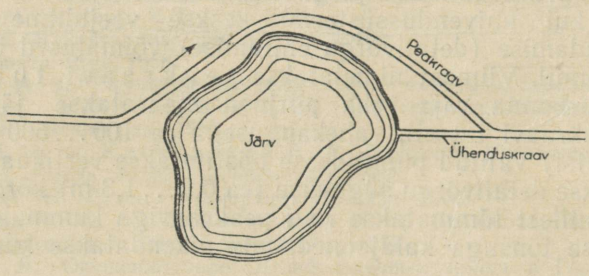
Joonis 7-1. Peakraavi tulupiirkond:

a — tulupiirkonna ristlõige; *b* — tulupiirkonna plaan; *1* — veevastuvõtja; *2* — peakraav; *3* — tulupiirkonna rajajoon; *4* — peakraavi vesikonna veelahe; *h* — detailvõrgu sügavus.

maapinnaga (soos pärast vajumist). Orienteerudes horisontaalide järgi, ühendatakse omavahel sujuva kõverjoonega punktid, kus kaldjooned lõikuvad maapinnaga. Saadud kõverjoon piirabki maastikul peakraavi tulupiirkonna ja on seega tulupiirkonna rajajooneks. Tulupiirkonna rajajoon võib äärmisel juhul ulatuda kuni peakraavi vesikonna veelahkmeni. Üleujutatavatel maadel (jõeluhtades) tuleb tulupiirkonda arvata vähemalt tulvarajani (rohumaadel suvise ning põldudel kevadise tulvarajani) ulatuv maa-ala. Tulupiirkonnast tuleb välja arvata need maa-alad (madalikud, suudmeala), mida ei ole võimalik kuivendada ka pärast peakraavi rajamist.

Põhivõrgu projekteerimisel tuleb lähtuda järgmistest nõuetest.

1. Peakraav ja esimese järgu kogujakraavid trasseeritakse võimalikult sirgelt mööda maastiku silmapaistvamaid nõgusid. Kaldtasandikul, millel puuduvad sellised nõod, tuleb peakraav paigutada sõltuvalt maa-ala kujust, reljeefist, kuivendusviisist, veega toitumise viisist ja muudest kohalikest iseärasustest kas maa-ala madalamale äärele või risti horisontaalidega maa-ala keskele või selle ühele äärele. Tüseda (1,5 m ja üle selle) turbalasundiga soos ei tule orienteeruda mitte ainult maapinna, vaid ka soo mineraalpõhja reljeefi järgi. Tuleb hoiduda veejuhtme trassi suunamisest sügavamast turbalasundist, kus kraavi põhi ei ulatu mineraalmaasse, õhemasse turbalasundisse.



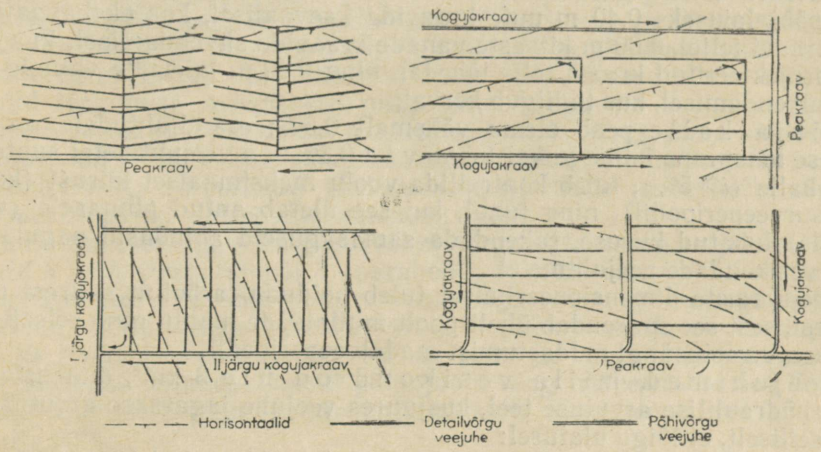
Joonis 7-2. Peakraavi möödumine järvest.

2. Kui peakraavi trassil tuleb ette küllalt sügav järv, võib veejuhtme suunata selle kaudu. On järv madal ja mudane, tuleb veejuhe viia ümber järve (vt. joon. 7-2). Madala ja kindla põhjaga järve puhul tuleb trassi suund valida sõltuvalt muudest kohalikest iseärasustest (järve mõõtmed, sügavus, põhja reljeef jne.). Järve läbimisel tuleb igal juhul arvestada voolunõva mudastumist uhtmete settimise tagajärjel ning veetaimestikuga kinnikasvamist; vältida on seda võimalik vaid juhul, kui veejuhe viiakse läbi järvesängi tammide (kraavivallide) vahel.

3. Põhivõrgu veejuhtmed olgu võimalikult sirged ning nende kogupikkus, eriti aga peakraavi transiitlõigu (suudmest kuni esimese suubuva kraavini) pikkus, võimalikult väike. Peakraavi käänakute puhul tuleb võimalust mööda vältida nurki, mis on väiksemad kui 120°.

4. Põhivõrk tuleb kooskõlastada majandi, kõlvikute ja külvikorraväljade piiridega ning teedevõrguga. Põhivõrgu veejuhtmed peavad langema ühte kõlvikute piiridega ning võimalikult vähe lõikuma teedega. Teedevõrgu tihendamist või vajaduse korral ka ümberkorraldamist on otstarbekohane lahendada üheaegselt põhivõrgu planeerimisega, kusjuures viimase variantide kaalumisel tuleb eelistada selliseid, mille puhul teedevõrk kujuneb lühemaks.

5. Põhivõrgu asend peab võimaldama detailvõrgu nõuetekohast paigutust reljeefi suhtes. Kraavituse puhul peavad kogujakraavid kulgema enamvähem risti horisontaalidega, et kuivenduskraave oleks võimalik paigutada horisontaalide suhtes terava nurga all. Drenaaži puhul, kus kollektori õige asend on enam-vähem risti horisontaalidega, peab kogujakraav asuma terava nurga all horisontaalide suhtes. Üksikdreenide puhul (täidis- ja õõsdreenid, sageli ka frees- ja laudtorudreenid) peab kogujakraav paiknema selliselt, et neid (dreene) oleks võimalik kogujakraavi suunata ligilähedaselt täisnurga all. Joonisel 7-3 on esitatud tüüpilisemad lahendused põhivõrgu projekteerimisel.



Joonis 7-3. Kuivendussüsteemi põhivõrgu lahenduse skeeme.

6. Et hõlbustada mehhanismide kasutamist kõigil mullaharimis- ja saagikoristustöödel ning külvikorraväljade planeerimist, peavad kogujakraavide vahelised väljakud olema võimalikult suured, ühesuurused ning korrapärase kujuga. Parimaks väljaku kujuks on ristkülik, mille pikkus on vähemalt 400 m ning laius vähemalt 200 meetrit. Heaks tuleb lugeda ka rööpkülikut, mille nurgad ei erine väga palju täisnurgast. Rahuldavaks tuleb lugeda trapetsit, mille alused (paralleelsed küljed) on pikemad kui ülejäänud küljed, ning rööpkülikut, mille nurgad erinevad palju täisnurgast. Hoiduda tuleb kolmnurksest ja polügonaalsest väljaku kujust.

Kuivendusprojekt loetakse seda paremaks, mida täielikumalt on täidetud ülalloetletud nõuded.

§ 7-2. PÕHIVÕRGU VEEJUHTMETE HÜDRAULILISED ARVUTUSED

Maaparanduse praktikas esinevate hüdrauliliste ülesannete liike ja nende lahendusviise on kirjeldatud § 5-6, p. 3. Kuivendussüsteemi põhivõrgu projekteerimisel võib esineda järgmisi ülesandeid:

1) uute või reguleerimisele tulevate looduslike veejuhtmete ristlõikemõõtmete määramine ehk dimensioneerimine;

2) voolu kiiruse (V) kontrollimine nii projekteeritavates kui ka olemasolevates veejuhtmetes;

3) optimaalse kalde (i_{opt}) määramine õgvendustrassile (vt. § 7-5) või neile veejuhtmetele, mille trassi loomulik kalle on kas nii suur, et voolu-

sängi ähvardab uhtumine (erosioon), või on nii väike, et seda ähvardab intensiivne mudastumine;

4) olemasolevate veejuhtmete läbilaskevõime (vooluhulga Q) määramine.

Väikestes vesikondades (suurus kuni 3 km^2) dimensioneeritakse veejuhtmed konstruktiivsetel kaalutlustel ja nimelt:

sügavus võetakse sõltuvalt suubuvate detailvõrgu veejuhtmete sügavusest, pidades silmas nõudeid nende omavahelise ühendamise kohta (vt. § 7-3, p. 2) ning arvestades ka turba vajumist (soos);

põhja laius võetakse sõltuvalt kaevamismehhanismi tööorgani gabariitmõõtmeist, kuid mitte väiksem kui 0,40 m peakraavidel ja 0,30 m kogujakraavidel; ühekopaliste ekskavaatorite kasutamisel kujuneb minimaalseks põhjalaiuseks 0,40 m uute kraavide kaevamisel, kus ekskavaator liigub kraavi teljel, 0,60 m kitsaste vanade kraavide süvendamisel, kus ta liigub projekteeritud kraavi telje lähedal, ning 0,80 m laiemate vanade kraavide süvendamisel, kus ta liigub kõrval;

põhja kalle peab olema vähemalt 0,5‰; erandjuhtudel on väga väikese maapinna kalde puhul lubatav ka 0,3‰; on veejuhtmetel suhteliselt suur kalle ($i \gg 5$‰), tuleb kontrollida voolu maksimaalset kiirust (kevadisel suurveeperioodil), ning juhul, kui see ületab antud pinnasele (voolusängile) lubatud kiiruse, rakendada samasuguseid abinõusid nagu suuremate vesikondade veejuhtmetel.

Veejuhtmete dimensioneerimisel tuleb hoiduda tarbetult suurest põhjalaiusest, sest see suurendab ühelt poolt mullatööde mahtu ning teiselt poolt soodustab voolusängi mudastumist madalveeperioodil.

Veejuhtmed, mille vesikond on üle 3 km^2, dimensioneeritakse hüdraulilise arvutuse teel, kusjuures veejuhe jagatakse arvutuslõikudeks selliselt, et lõigu ulatusel:

a) vooluhulk (resp. vesikond) ei muutuks rohkem kui 10...20% võrra (mida suurem veejuhe, seda vähem);

b) põhja kalle oleks ühtlane;

c) veejuhtme ristlõike kuju oleks ühesugune, s. o. põhja laius ja nõlvuskoefitsient m või parabooli parameeter p oleks konstantne.

Iga arvutuslõigu lõpp-profiili (alumise otsa) kohta määratakse vesikonnakaardi järgi vesikonna pindala F (km^2) ning hüdroloogilise arvutuse teel (vt. § 4-4) ka arvutuslikud vooluhulgad: $Q_{arv.} = F\, q_{arv.}$. Maaparanduslikul projekteerimisel kasutatakse järgmisi arvutuslikke äravoolumooduleid: kevadine maksimaalne ($q_{kev.max}$), vegetatsiooniperioodi maksimaalne ($q_{veg.max}$), kevadine külviaegne ($q_{külv.}$), suvine keskmine ($q_{suv.}$) ja sügisene keskmine ($q_{süg.}$).

Sõltuvalt pinnase iseloomust ning veejuhtme sügavusest valitakse veejuhtme ristlõige kas trapetsi- või paraboolikujuline ning seejärel ka nõlvuskoefitsient m või parabooli parameeter p (vt. lähemalt § 5-6, p. 2 ja tab. 5-13). Orienteeriv karedusarv n valitakse tabelist 5-5, kusjuures seda tuleb samas veejuhtmes varieerida sõltuvalt arvutuslikust vooluhulgast ning sesoonist. Veetaimestiku puhul (suvised vooluhulgad) on karedusarv suurem, selle puudumisel (kevadised ja sügisesed vooluhulgad) aga väiksem.

Põhivõrgu veejuhtmete dimensioneerimisel esitatakse tavaliselt kaks nõuet. **Esimese** (põhinõude) kohaselt ei tohi külviaegne ja sügisene keskmine veetase tekitada detailvõrgus paisutust, seega ei või veepind põhivõrgus olla detailvõrgu suudmeist kõrgem (põllul ja kultuurrohumaal), või vegetatsiooniperioodi maksimaalne veetase ei tohi ületada kaldaid (looduslikul rohumaal ja metsas). Sellist veetaset nimetatakse dimensioneerimise veetasemeks (pikiprofiilil — dimensioneerimise veepinnajooneks).

Teise nõude kohaselt kontrollitakse määratud dimensioonide sobivust mõnel teisel veerežiimi perioodil, kusjuures selleaegset veetaset nimetatakse kontrollveetasemeks (pikiprofiilil — kontrollveepinnajooneks). Üksikasjaline juhend selle kohta koos arvutuslike äravoolumoodulite iseloomustusega on esitatud tabelis 7-1.

Hüdraulilise arvutuse käigus kujundatakse veejuhtme põhjajoon, mis on kergesti ja ülevaatlikult lahendatav, kui üheaegselt arvutamisega joonestatakse ka veejuhtme pikiprofiil. Viimane on eriti vajalik sel juhul, kui veejuhtme trass kulgeb muutliku reljeefiga maastikul. Pikiprofiilile kantakse: maapinnajoon (turbapinnase puhul soovitatav ka oletatav maapinnajoon pärast turba vajumist), vana kraavi põhjajoon, sildade, truupide ja hüdrotehniliste ehitiste avade (või lävise) piirjooned, pinnasekihtide eraldusjooned (sealhulgas ka turbalasundi põhja joon) ja lõpuks kõigi suubuvate veejuhtmete ning veevastuvõtja põhjad ja (hüdrauliliste arvutuste teel dimensioneeritud veejuhtmetes) veeseisud. Arvesse võttes tabelis 7-1 esitatud tingimusi, märgitakse pikiprofiilil suubuvate veejuhtmete kohal dimensioneerimise veetase ja tõmmatakse selle järgi dimensioneerimise veepinnajoon välja. Viimane kujundatakse üldjoontes paralleelseks maapinnajoonega ning võimalikult ühtlase kaldega. Selle joone kalle võetakse lähtesuuruseks veejuhtme dimensioneerimisel.

Lähtesuuruste Q, i, n ning m (või p) järgi määratakse veejuhtme dimensioonid b ja h (trapets) või h (parabool). Kandes pikiprofiilil skitseeritud veepinnajoonest allapoole vastava voolu sügavuse h, saadaksegi veejuhtme põhjajoon. Pikiprofiilile kantakse seejärel põhjajoone ja voolu sügavuste järgi ka kontroll-veepinnajoon. Pärast pais- ja langjoonte pealekandmist korrigeeritakse vajaduse korral põhjajoont ning fikseeritakse see lõplikult. Veejuhtmele tuleb püüda anda ühtlane kalle ning see ei või peakraavil olla alla 0,2‰.

Peakraavi projekteerimisel peab jälgima, et selle põhi ei jääks suudmes veevastuvõtja põhjast allapoole. Sellise olukorra tekkimisel tuleb peakraavi projekti muuta. Selleks kas suurendatakse põhja laiust b, mille tagajärjel voolu sügavus väheneb ning põhjajoont võib samavõrra tõsta, või vähendatakse peakraavi alumise lõigu kallet sedavõrd, et peakraavi põhi suunduks välja veevastuvõtja põhjale. Viimase abinõu rakendamisel jääb tavaliselt peakraavi alumise lõigu tulupiirkonnas osa maid puudulikult kuivendatuks. Radikaalsemaks abinõuks mainitud olukorra likvideerimiseks on veevastuvõtja (jõe) reguleerimine (vt. § 7-4).

Voolu kiirust kontrollitakse kevadise maksimaalse ning suvise (VI...VII kuu) keskmise vooluhulga puhul. Esimesel juhul ei või kiirus ületada maksimaalset lubatavat kiirust ning teisel juhul ei või see jääda allapoole minimaalset lubatavat kiirust (vt. § 5-6, p. 5). Kui voolu kiirus kipub ületama lubatavat kiirust, tuleb kas vähendada kallet, lülitades vahele astanguid või kärendikke, kindlustada voolusängi või muuta voolusängi ristlõike kuju selliselt, et väheneks hüdrauliline raadius ja seoses sellega ka voolu kiirus. Astangute või kärendike üldine langus ($\Sigma h_{ast.}$) antud veejuhtmelõigul määratakse valemiga:

$$\Sigma h_{ast.} = \Delta h - i_{opt}\, l \text{ (m)}, \qquad (7\text{-}1)$$

kus Δh — veejuhtme lõigu lang (m);
l — „ „ pikkus (m);
i_{opt} — „ „ optimaalne kalle, mille puhul on välditud nii voolusängi uhtumine kui ka mudastumine ja rohtumine; i_{opt} määratakse valemiga 5-105 (vt. ka § 7-5).

Astangute ja kärendike mõõtmed ning asukohad tuleb valida selliselt, et veejuhtme kaevamise üldine maksumus kujuneks minimaalseks.

Arvutuslike äravoolumoodulite rakendamise tingimused veejuhtmete hüdraulilistes arvutustes Tabel 7-1

Jrk. nr.	Äravoolumoodul ja selle tõenäosus (kindlustatus) P%-des	Põllul		Kultuurkarjamaal		Kultuurheinamaal		Looduslikul (pealtparandataval) rohumaal		Metsamaal	
		Milleks kasutada	Tingimus	Milleks kasutada	Tingimus	Milleks kasutada	Tingimus	Milleks kasutada	Tingimus	Milleks kasutada	Tingimus
1.	Kevadine maksimaalne $q_{kev.max}$ $P=10$% (10 ... 25%)	Voolu maksimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu maksimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu maksimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu maksimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu maksimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —
2.	Vegetatsiooniperioodi (VI ... X kuu) maksimaalne $q_{veg.max}$ $P=10$% (5 ... 25%)	Dimensioonide kontrollimiseks	Veepind peab jääma vähemalt 40 cm allapoole kaldaid	Dimensioonide kontrollimiseks	Veepind peab jääma vähemalt 30 cm allapoole kaldaid	Dimensioonide kontrollimiseks	Veepind peab jääma vähemalt 20 cm allapoole kaldaid	Dimensioonide määramiseks	Veepind peab jääma allapoole kaldaid	Dimensioonide määramiseks ($P=25$%)	Veepind peab jääma allapoole kaldaid
3.	Kevadine külviaegne $q_{külv.}$ $P=30$% (25 ... 35%)	Dimensioonide määramiseks	Ei või tekitada paisutust detailvõrgus	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
4.	Sügisene (IX ... X kuu) keskmine $q_{süg.}$ $P=9$ või 13%	Dimensioonide määramiseks ($P=9$%)	Ei või tekitada paisutust detailvõrgus	Dimensioonide määramiseks ($P=9$%)	Ei või tekitada paisutust detailvõrgus	Dimensioonide määramiseks ($P=13$%)	Ei või tekitada paisutust detailvõrgus	Dimensioonide kontrollimiseks ($P=13$%)	Veepind peab jääma vähemalt 60 cm allapoole kaldaid	— — —	— — —
5.	Suvine (VI ... VII kuu) keskmine $q_{suv.}$ $P=50$%	Voolu minimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu minimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu minimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Voolu minimaalse kiiruse kontrollimiseks	— — —	Dimensioonide ning voolu minimaalse kiiruse kontrollimiseks ($P=25$ ... 50%)	Ei või tekitada paisutust suubuvais veejuhtmeis

Märkused tabeli 7-1 juurde

1. Sildade ja truupide avad dimensioneeritakse kevadise maksimaalse äravoolumooduli järgi, mille tõenäosus P on: raudteedel 1...2%, vabariikliku tähtsusega maanteedel 2...5%, kohalikel teedel 5...10% ja majandite siseteedel 10%.

2. Põldude piirkonnas dimensioneeritakse veejuhtmed kas 30%-lise tõenäosusega kevadise külviaegse või 9%-lise tõenäosusega sügisese keskmise äravoolumooduli järgi, olenevalt sellest, kumb neist on suurem.

3. Taliviljade puhul ning metsaparkides peab kevadine maksimaalne veetase jääma vähemalt 20 cm allapoole kaldaid.

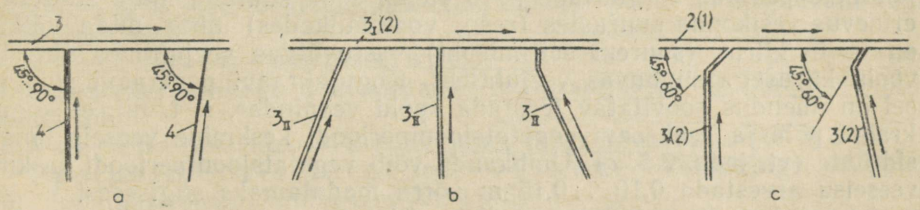
4. Turbapinnaste puhul peavad tabelis esitatud tingimused kehtima ka pärast soo vajumist.

5. Kui voolu maksimaalse kiiruse kontrollimisel ilmneb, et veetase ületab kalda kõrguse, tuleb voolu kiirus arvutada veejuhtme töötamisel täie ristlõikega.

§ 7-3. KUIVENDUSVÕRGU VEEJUHTMETE OMAVAHELINE ÜHENDAMINE

1. VEEJUHTMETE ÜHENDAMINE PLAANIS

Detailvõrgu lahtised veejuhtmed (kuivenduskraavid) ning üksikdreenid ja kollektorid peavad suubuma kogujakraavi (või peakraavi) kas täisnurgi (risti) või suunaga pärivoolu vähemalt 45°-lise nurga all (vt. joon. 7-4, *a*); üksikdreenide ja kollektorite suubumine vastuvoolu on lubatav



Joonis 7-4. Veejuhtmete ühendamine plaanis:
1 — veevastuvõtja; *2* — peakraav; *3* — kogujakraav; 3_I — I järgu kogujakraav; 3_{II} — II järgu kogujakraav; *4* — detailvõrgu veejuhtmed.

vaid vastuvõtva veejuhtme ülemjooksul. Kogujakraavid ühendatakse omavahel otsejoones (ilma käänakuta), välja arvatud juhud, kus suubuv kraav suundub vastuvõtvasse veejuhtmesse vastuvoolu; viimasel juhul tuleb suubuv veejuhe enne ühendust ära pöörata ja ühendus teostada täisnurgi. Analoogiliselt ühendatakse omavahel ka kogujakraav ja peakraav, kui viimases esineb vähe hõljuvaid uhtmeid (vt. joon. 7-4, *b*). Rohkete uhtmete puhul tuleb veejuhtmed ühendada 45...60°-lise nurga all pärivoolu (vt. joon. 7-4, *c*).

Peakraav ühendatakse veevastuvõtjaga 45...60°-lise nurga all pärivoolu (vt. joon. 7-4, *c*). Suuremate peakraavide käänakud ning ühendus veevastuvõtjaga kujundatakse kaarena, mille minimaalne kõverusraadius $r_{min} = 10\,B$, kus B on voolu laius maksimaalse vooluhulga puhul (m).

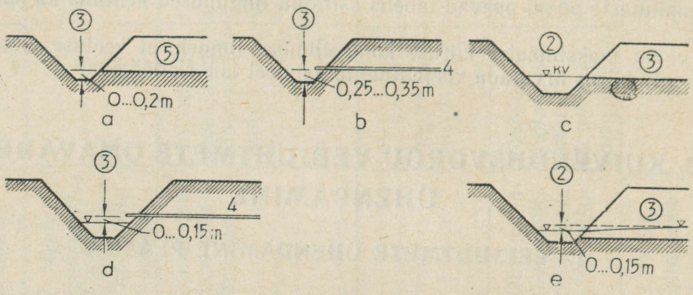
2. VEEJUHTMETE ÜHENDAMINE VERTIKAALPINNAS

Üldine nõue kõigi veejuhtmete ühendamise kohta vertikaalpinnas on: vastuvõttev veejuhe ei või suubuvas veejuhtmes põhjustada sellist paisutust, mis ei ole kooskõlas tabelis 7-1 esitatud nõuetega. Analoogiline nõue

on kehtiv ka sama veejuhtme alumise ja ülemise lõigu omavahelisel ühendamisel.

Mainitud tingimuste rahuldamiseks peab ühendus olema teostatud alljärgnevalt.

Kogujakraavi põhi peab olema suubuva kuivenduskraavi põhjast 0...0,2 m võrra ning suubuva kollektori põhjast 0,25...0,35 m võrra allpool (vt. joon. 7-5, *a* ja 7-5, *b*). Analoogiline kõrgusvahe (ca 0...0,2 m) peab olema ka eri järkudesse kuuluvate kogujakraavide ühinemisel. Vee-



Joonis 7-5. Veejuhtmete ühendamine vertikaalpinnas:
2 — peakraav; *3* — kogujakraav; *4* — kollektor (resp. üksikdreen); *5* — kuivenduskraav; *kv* — vegetatsiooniperioodi keskmine veetase.

juhtmete põhjade kõrgusvahe peab olema seda suurem, mida suurem on erinevus vesikonna suurustes (resp. vooluhulkades) ning mida väiksem on voolu kiirus (suurem settimisoht) vastuvõtvas veejuhtmes võrreldes voolu kiirusega suubuvas veejuhtmes. Kogujakraavi peakraavi suubumisel on ühendus soovitatav teostada «põhi veepinda», s. t. nii, et kogujakraavi põhi ja peakraavi vegetatsiooniperioodi keskmine veeseis langeksid ühte (vt. joon. 7-5, *c*). Umbkaudu võib vegetatsiooniperioodi keskmist veeseisu arvestada 0,10...0,15 m võrra madalamaks sügisesest keskmisest (resp. kevadisest külviaegsest) veeseisust.

Juhul kui kogujakraavi mõõtmed määratakse hüdraulilise arvutuse teel, peab:

a) sügisene keskmine (resp. kevadine külviaegne) veeseis olema suubuva kollektori (resp. üksikdreeni) põhjast 0...0,15 m võrra madalam (vt. joon. 7-5, *d*);

b) peakraavi veeseis olema veeseisust kogujakraavis 0...0,15 m võrra madalam (vt. joon 7-5, *e*).

§ 7-4. VEEVASTUVÕTJATE SEISUKORD JA REGULEERIMISE VAJADUS

Kuivendussüsteemi veevastuvõtjaks võib olla:

a) veejuhe — jõgi, oja, kanal, kraav;

b) veekogu — meri, järv, veehoidla;

c) nõgu — org, lõhe (kuristik);

d) maa-alune veemahuti — küllalt tüse veega küllastumata liiva- ja kruusakiht, karstitühemed.

Veevastuvõtjale esitatakse järgmised nõuded:

1) veevastuvõtjal peab olema küllaldane läbilaske- või vastuvõtuvõime, s. t. ta peab olema suuteline läbi laskma või mahutama juurdevoolavat vett, ilma et tekiks paisutust kuivendussüsteemis; talutav on lühiaegne paisutus vaid kevadisel suurveeperioodil;

2) veevastuvõtjal peab olema püsiv (stabiilne) voolusäng.

Sageli ei vasta looduslikus seisukorras veevastuvõtjad neile nõuetele: veetase neis on kõrge, voolusäng on ebapüsiv.

Kõrget veetaset veevastuvõtjana kasutatavas veejuhtmes põhjustavad:

a) veejuhtme ummistumine veetaimestikuga, settega, kividega, kändudega jm.;

b) veejuhtme looklevus, mille tõttu kalle ja sellest sõltuvalt ka voolu kiirus väheneb ning elavlõige suureneb (s. t. veepind kerkib); peale selle põhjustavad looked voolu kohalikku energiakadu (survekadu), mis omakorda tõstab veepinda;

c) veejuhtme ristlõike väikesed mõõtmed;

d) voolusängi ebakorrapärasus piki veejuhet (mitteprismaatiline voolusäng); sügavuste ja laiuste muutumine veejuhtmes põhjustab survekadusid, mille tagajärjeks on vee paisutus;

e) hüdrotehniliste ehitiste (paisud, lüüsid jt.), sildade, truupide, kalatõkete jm. tekitatud paisutus.

Kui veevastuvõtja ei vasta eespool loetletud nõuetele, kuulub ta reguleerimisele.

Veevastuvõtja reguleerimise all mõistetakse abinõude kompleksi, millega veevastuvõtjas luuakse ja hoitakse selline veetase, mis võimaldab kuivendussüsteemide normaalset funktsioneerimist. Veejuhtmete juures saavutatakse see tulemus voolusängi läbilaskevõime suurendamise teel. Sõltuvalt põhjustest, millest on tingitud veevastuvõtja ebarahuldav seisukord, rakendatakse veejuhtmete puhul alljärgnevaid reguleerimisabinõusid.

Veejuhe on ummistunud. Veejuhe kuulub puhastamisele (taastamisele), milleks rakendatakse mitmesuguseid ekspluatatsioonilisi abinõusid.

Veejuhe on looklev. Veejuhet tuleb õgvendada (vt. § 7-5).

Veejuhtme ristlõige on väikene. Voolusängi ristlõiget suurendatakse süvendamise teel (vt. § 7-5).

Veejuhtme voolusäng on korrapäratu. Voolusäng kuulub korrastamisele (vt. § 7-6).

Veejuhe on paisutatud. Tuleb kõrvaldada paisutuse põhjus. Kalatõkked ning muud võõrkehad, mis paisutavad vett, likvideeritakse ekspluatatsiooni korras. Truup tuleb ümber ehitada, suurendades selle ristlõiget (läbimõõtu) või asetades ta allapoole, et paisutus ära kaoks. Sillaalune tuleb süvendada ja vajaduse korral kindlustada, kusjuures silla püsivus ei tohi halveneda. Paisusid kasutatakse mitmeks otstarbeks, peamiselt vee-energia tootmiseks (veskid, hüdroelektrijaamad). Võitluseks kahjustava paisutusega kasutatakse järgmisi abinõusid: paisu likvideerimist, paisutuse alandamist (piiramist), peakraavi juhtimist allapoole paisu, kuivendussüsteemi vee pumpamist paistiiki (vt. § 8-4). Ühe või teise abinõu valik sõltub tehnilisest läbiviidavusest ja majanduslikust otstarbekusest. Paisu likvideerimisel või paisutuse alandamisel tuleb küsimust kaaluda üldrahvamajanduslikust seisukohast (paisu rahvamajanduslik tulu, põllumajandusele tekitatav kahju jne.).

Kõrge veeseis (veetase) veekogudes (järv, veehoidla) likvideeritakse veekogu veeseisu kunstliku alandamise teel (vt. § 7-7).

Kui veevastuvõtjatena kasutatavates veejuhtmetes, orgudes, lõhedes (kuristikes) on voolusäng ebapüsiv, tuleb see kindlustada.

Veevastuvõtjate reguleerimine on sageli väga kulukas. Kui reguleerimine on teostatav mitme erineva võttega, tuleb variantide kaalumise teel leida tehniliselt ja majanduslikult kõige otstarbekam ja põhjendatum lahendus. Veevastuvõtjate reguleerimise asemel on kuivendussüsteemi

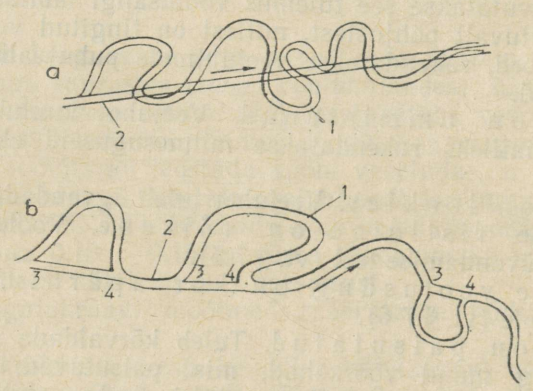
normaalne funktsioneerimine saavutatav ka muude abinõudega, nagu äravoolu reguleerimine vesikonnas (veehoidlad, metsaribad jm.), peakraavi suunamine teise vesikonda, vee pumpamine veevastuvõtjasse (polderkuivendus), peakraavi suunamine rööbiti jõega allapoole kärestikku, madalike kolmatsioon jne.

Veejuhtmete ja veekogude reguleerimisel tuleb silmas pidada ka muude rahvamajandusharude (laevandus, parvetus, vee-energia kasutamine, veevarustus, kalandus jne.) vajadusi.

§ 7-5. VEEJUHTMETE ÕGVENDAMINE JA SÜVENDAMINE

1. VEEJUHTMETE ÕGVENDAMINE

Õgvendamise (ja süvendamise) peamiseks eesmärgiks on alandada veetaset veejuhtmes. Selle eesmärgi taotlemisel tuleb õgvendamisel silmas pidada ka muid nõudeid: veejuhtmes peab kujunema võimalikult sobiva kiirusega ühtlane voolamine, voolusängi kuju peab olema stabiilne, mullatööde maht olgu minimaalne jne. Sobivaks (optimaalseks) tuleb lugeda sellist kiirust, mille puhul ei esine intensiivset settimist, rohtumist ega uhtumist. Enamail juhtudel kõigub selline kiirus piirides 0,5 . . . 0,8 m/sek, kindlamates pinnastes aga ka kuni 1,2 m/sek.



Joonis 7-6. Veejuhtmete õgvendamine:
a — põhjalik (radikaalne) õgvendus; *b* — osaline ehk valikõgvendus; *1* — senine voolusäng; *2* — projekteeritud voolusäng; *3—4* — õgvendis.

Taotletavate eesmärkide saavutamiseks tuleb rakendada vahel osalist ehk valikõgvendust, teinekord aga põhjalikku ehk radikaalset õgvendust (vt. joon. 7-6). Radikaalset õgvendust tuleb kasutada seal, kus senine voolusäng on liiga looklev, suhteliselt väikeste mõõtmetega ning kus sobiva kiiruse saavutamiseks on kallet vaja tunduvalt suurendada. Seevastu tuleb valikõgvendust kasutada seal, kus voolusäng vähe lookleb, mõõtmed on suured ja ka kalle on suurem.

Optimaalse kiiruse saavutamiseks projekteeritakse õgvendustrass kaldega, mille suurus määratakse valemiga (vt. valemit 5-105)

$$i_{opt} = \frac{V^2}{C^2 R} = \frac{(Vn)^2}{R^{1+2y}},$$

milles V — optimaalne kiirus vastavalt pinnasele (ca 0,5 . . . 0,8 (1,2) m/sek);

C — Chézy koefitsient ja
R — hüdrauliline raadius, mis määratakse valemiga (vt. valemit 5-103)

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\delta V}}.$$

Opereerides kahe arvutusliku vooluhulgaga (kevadise maksimaalse ja suvise — VI ... VII kuu keskmisega) ning optimaalse kiirusega, saadakse kalle i, mille puhul vooluhulga kogu kõikumise amplituudis jääb voolu kiirus lubatavatesse piiridesse. Kalle peab reguleeritud veejuhtmel kujunema igal juhul mitte väiksemaks kui 0,15‰ ning voolu kiirus mitte väiksemaks kui 0,20 m/sek.

Õgvendusprojekti koostamisel on otstarbekas kasutada järgmist lahenduskäiku:

a) koostada reguleerimisele kuuluva veejuhtme skemaatiline pikiprofiil piki senist voolusängi, näidates sellel maapinnajoone, üheaegse veepinnajoone ja põhjajoone;

b) kõrvutades pikiprofiili veejuhtme plaaniga ning pidades silmas uue trassi optimaalset kallet (i_{opt}), määrata õgvenduse aste (kas osaline või põhjalik); osalise õgvenduse puhul valida välja õgvenduslõigud (järsematel loogetel, voolusängi väiksema ristlõikega lõikudes jne.);

c) fikseerida plaanil lõplik veejuhtme trass ning koostada selle pikiprofiil.

Mullatööde mahu vähendamise huvides tuleb õgvendustrassi valikul püüda võimaluste piirides maksimaalselt ära kasutada vana voolusängi. Silmas tuleb pidada ka pinnase geoloogilist ehitust ning püüda vältida alluviaalmuldades esinevaid muda- ja nn. vesiliivakihte, samuti ka lõhkamist nõudvaid pinnasekihte. Et vältida voolusängi mudastumist suurvee ajal, tuleb hoiduda liiga palju kõrvale kaldumast suurvee liikumise suunast luhal. Trassi suuna muutumisel kasutada kõverikke raadiusega $10B$ (B — voolu laius).

Uuele voolusängile tuleb valida sobiv ristlõike kuju. Eeskujuks tuleb kasutada senise voolusängi stabiilsemaid ristlõikeid sirgetel lõikudel. Sellisel teel saadud ristlõiget nimetatakse normaalprofiiliks (vt. ka § 5-6, p. 2).

Veejuhtmetes, kus kevadine maksimaalne kiirus on lähedane lubatava kiiruse ülempiirile (vt. tabeleist 5-21; 5-22; 5-24), tuleb uue trassi kõverike nõgus nõlv kindlustada, et vältida edaspidi loogete arenemist.

Uuest veejuhtme trassist väljalülitatud vanad jõelooked (soodid, koolud) tuleb ülemisest otsast sulgeda sulgetammiga. Veel paremaks lahenduseks tuleb lugeda nende üleni täitmist õgvendamisel ja süvendamisel saadava pinnasega.

Loogete õgvendamine mõjutab voolurežiimi ka ülalpool õgvenduslõiku, tekitades seal langjoone, mis võib põhjustada voolusängi uhtumist.

2. VEEJUHTMETE SÜVENDAMINE

Kui kõrge veetase veejuhtmes on tingitud voolusängi väikestest mõõtmetest, tuleb viimaseid suurendada, s. o. veejuhet süvendada. Veejuhtme süvendamise hüdraulilised alused on põhiliselt samad mis uute veejuhtmete projekteerimiselgi; erinevusi esineb vaid detailides. Ristlõike uue kuju valikul tuleb kinni pidada samadest põhimõtetest mis õgvendamiselgi, s. t. määrata igas arvutuslõigus kindlaks veejuhtme normaalpro-

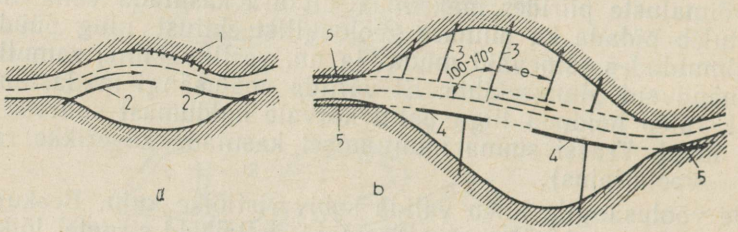
fiil. Uus ristlõige tuleb sobitada vanasse nii, et kamardunud ja hästi püsivad nõlvad või vähemalt üks neist jääks puutumatuks.

Suurte veejuhtmete reguleerimine on sageli väga kulukas mullatööde suure mahu ja raske pinnase tõttu. Esineb juhtumeid, kus tööde maksumust saab vähendada sel teel, et ülemjooksult juhitakse osa vett niisuguse teise jõe vesikonda, mille veejuhe ei vaja reguleerimist või mille reguleerimine on kergem.

§ 7-6. VOOLUSÄNGI KORRASTAMINE

Kui kõrge veetase on tingitud ebakorrapärasest voolusängist, kus sügavad kohad vahelduvad madalatega ja laiad kitsastega, on vaja voolusäng korrastada, s. t. kujundada see korrapäraseks ehk prismaatiliseks. Eelmises paragrahvis kirjeldatud meetodil määratakse veejuhtme normaalprofiil ning selle kohaselt süvendatakse kitsaid ja madalaid kohti ning kitsendatakse voolusängi laiendeid. Laiendite kitsendamisel suureneb voolu kiirus; seetõttu väheneb voolusängi rohtumine ning viimasest tingitud paisutus. Kitsendamine õigustab end vaid siis, kui senine voolusäng on normaalprofiilist üle kahe korra laiem. Stabiliseerunud süvikud ei kuulu korrastamisele ja seda ka siis mitte, kui neil on ülemäära suur laius.

Voolusängi kitsendatakse kas piki- või põiktammidega (vt. joon. 7-7).



Joonis 7-7. Voolusängi kitsendamine:
1 — kindlustatud nõlv; *2* — pikitamm; *3* — põiktammid (buunid); *4* — katkestatud pikitamm traaversitega; *5* — uus kaldajoon.

Põiktammid (buunid) kujutavad endast tammisid, mis paiknevad vooluga põigiti, moodustades viimasega ca 100 ... 110-kraadilise nurga (vt. joon. 7-7, *b*). Põiktammide vahekauguseks *e* võetakse 1,0 ... 1,5 põiktammide pikkusest. Põiktammide hari peab ületama suvist keskmist veetaset ca 0,2 ... 0,4 m võrra, kuid peab nõrgema konstruktsiooniga tammidel jääma allapoole jääminekutaset. Tugeva konstruktsiooniga (kivipuistest, fašiinidest) tammide hari võib ulatuda kuni kalda kõrguseni. Üle jõe vastakuti asuvate põiktammide otste vahe peab olema võrdne normaalprofiili laiusega.

Väiksematel veejuhtmetel ehitatakse põiktamm jõe põhja rammitud vaiade ümber vitstest punutud tarana. Keskmise suurusega veejuhtmetel tehakse põiktammid tavaliselt 1 ... 2 m kaugusel üksteisest asetsevatest punutud taradest, mis 2 ... 3 m tagant ühendatakse samasuguste risttaradega; sel teel moodustunud kärjed täidetakse kas kinnitambitava pinnasega või kividega. Põiktammide kand peab lõikuma kaldasse vähemalt 1 ... 2 m pikkuselt. Nende pea (jõe keskele suunduv ots) peab olema tugevamalt ehitatud (laiem ja kividega täidetud). Suurtel veejuhtmetel ehitatakse põiktammid kivipuistena või fašiinidest.

Aja jooksul täituvad põiktammide vahed settinud uhtmetega ning kujuneb uus kaldajoon.

Erinevalt põiktammidest kulgevad pikitammid rööbiti veejuhtme dünaamilise teljega (voolujoomega), jättes voolule vabaks normaalprofiili laiuse tee (vt. joon. 7-7, *a*). Pikitammid konstrueeritakse analoogiliselt põiktammidele punutud taradest või kivipuistest. Katsed on näidanud, et tammitagused sopid täituvad uhtmete settimise teel kiiremini kui tammidesse jätta avad, s. o. kui tammikeha teha katkestatuna eraldi asetsevate lõikudena, mis kaldaga on ühendatud traaversitega. Avade laius peab olema ca 1,5...2 korda ning tammi üksikute lõikude pikkus ca 2...3 korda suurem normaalprofiili laiusest (vt. joon. 7-7, *b*). Pikitammid rajatakse sama kõrgusega nagu põiktammidki.

See või teine tammiliik valitakse sõltuvalt kohapealsetest tingimustest, silmas pidades nende maksumust. (Põik- ja pikitammide konstruktiivsetest üksikasjadest vt. § 13-4.)

§ 7-7. VEEKOGUDE REGULEERIMINE

Veekogude reguleerimise all tuleb mõista nende veeseisu muutmist (tavaliselt alandamist) põllumajanduse või teiste rahvamajandusharude huvides. Veekogudest võivad reguleerimisele kuuluda järved, tiigid ja merelahed; viimased muidugi ainult pumpamise teel (vt. § 8-2). Järveluht on pahatihti madal ja soostunud, järve suubuvad peakraavid on seetõttu sageli paisutatud. Põllumajanduslike ja metsamaade kuivendamise huvides on vaja selliste järvede kui veevastuvõtjate veeseisu alandada. Järve veeseisu reguleerimise küsimus tuleb lahendada peale maade kuivendamise ka laevanduse, parvetuse, kalanduse, veevarustuse, tervishoiu, looduskaitse ja muid huvisid silmas pidades. Kõiki neid erinõudeid arvestades määratakse veekogu veeseisu reguleerimise kõrgusarv.

Madalad veekogud (alla 1,5 m) on enamasti otstarbekohasem täielikult kuivaks lasta ning vee alt vabanenud põhi võtta põllumajanduslikule kasutusele (peamiselt rohumaadena). Sügavamad veekogud alandatakse osaliselt. Tervishoiu seisukohast lähtudes on vaja silmas pidada, et veekogude veeseisu reguleerimisel ei kujuneks malaariahaigust levitava hallasääse arenemiseks soodsaid väikese sügavusega (kuni 0,5 m) rohke veetaimestikuga veekogusid. Sellised veekogud tuleb täielikult kuivaks lasta või kunstlikult süvendada ja puhastada (eriti kaldaribad).

Veekogude veeseisu alandamine võib toimuda kas isevoolu teel, milleks süvendatakse järvest väljuvat veejuhet või rajatakse uus veejuhe, või mehaanilisel teel (pumpamisega). Üksikutel juhtudel saab järve tühjaks lasta ka vertikaalkuivenduse viisil, nimelt suunates vee läbi järve põhjas lasuva vettpidava kihi alumistesse vett mahutavatesse kihtidesse.

Veekogu veeseisu alandamisel isevoolu teel määratakse väljavoolu-veejuhtmele sellised mõõtmed ja põhja kõrgusarv, mis tagavad veekogus projekteeritud veeseisu. Kuna veekogu avaldab küllalt suurt mõju äravoolurežiimile, siis tuleb väljavoolu-veejuhtme dimensioneerimisel määrata arvutuslikud vooluhulgad veekogu retentsioonivõimet silmas pidades.

Umbjärvede reguleerimisel kujuneb mõnikord lahtise väljavoolu-veejuhtme kaevamine läbi kõrge seljandiku liiga kulukaks. Sellistel juhtudel võib kinnine veejuhe (torustik) osutuda odavamaks. Torustiku sissevooluots tuleb varustada võrega ning torustikule tuleb anda minimaalselt 5‰ kallet. Tühjaks lastud veekogu põhi kuivendatakse kraavituse või drenaažiga ning küntakse sügavalt, andes vajaduse korral ka lubiväetist.

Üks suurejoonelisemaid näiteid veekogude reguleerimisest on Armeenia mägijärve Sevani alandamine ca 20 m võrra. Järve senine pindala oli 1416 km². Järvest jääb järele ca 1230 km². Järve pindala vähenemise tõttu väheneb ka auramine ning suureneb järvest väljuva Razdani jõe voolu-hulk. Selle jõe suurenenud energiat kasutavad ära 5 hüdroelektrijaama.

Eesti NSV-s on alandatud mitmeid järvi: Peipsi, Endla, Pupastvere jt.

Arvesse võttes, et veekogude veeseisu alandamine või nende kuivaks laskmine toob alati kaasa äravoolurežiimi halvenemise vesikonnas ja vähendab looduse ilu, tuleb üldiselt eitavalt suhtuda nendesse üritustesse, kui ei ole tõestatud, et loodetav rahvamajanduslik tulu tunduvalt ületab kõik võimalikud kahjud, mis veeseisu alandamisega kaasnevad.

§ 7-8. PARVETUSKRAAVID (-KANALID)

Kuivendussüsteemi põhivõrku ja veevastuvõtjat on sageli otstarbekohane ära kasutada kompleksselt, eriti laevanduseks, kalanduseks, metsarikastes vesikondades aga metsamaterjali parvetamiseks jne. Selliste veejuhtmete voolusängi kuju ja mõõtmete määramisel tuleb arvestada kõiki erikasutusviisidest tulenevaid nõudeid.

Parvetus toimub tavaliselt kevadise suurvee perioodil, millal veejuhtmete voolu sügavus ja ka laius on suurem ning paisud on avatud. Suurematel (sügavamatel) veejuhtmetel võib parvetus muidugi toimuda ka muul ajal.

Metsamaterjali parvetamine toimub:

a) vallasparvetusena — üksikute palkide, pakkude, halgude viisi;

b) paunparvetusena — palgid, pakud, halud ei ole omavahel seotud, kuid on ümbritsetud ujuvatest palkidest paunaga (elastsete sidemetega seotud palgid);

c) salvparvetusena — halud või lühikeseks järgatud ümarpuit on asetatud palkidest koostatud hõredatesse kastidesse (salvedesse);

d) parvedes.

Laevatatavatel veejuhtmetel (jõed, kanalid) ei ole vallasparvetus navigatsiooni ajal lubatud. Vallasparvetus saab toimuda veejuhtmetes, mille voolu sügavus on vähemalt 0,4 ... 0,5 m, laius vähemalt 2,0 m ning kõverusraadiused vähemalt $2l$, milles l on palgi pikkus. Seega: $r_{min} = 2l$.

Paunparvetuseks on voolu minimaalne sügavus 0,5 m, kusjuures paunparve laius (läbimõõt) ei või ületada $^1/_3$ voolu laiust. Salvparvetus on võimalik juhul, kui parve kõrgus ei ületa 80% voolu sügavusest ning laius $^1/_3$ voolu laiusest.

Seotud parvede korral peab voolu sügavus olema ühejärgulise parve puhul vähemalt 0,6 m ning kahejärgulise parve puhul 1,0 m. Parvede sidumiseks ja paun- ning salvparvede koostamiseks ning maandamiseks peavad parvetuskraavi algul ja lõpul olema parvetustõkendid, mis kujutavad endast veejuhtme laiendit.

Kui metsamaterjali vedu toimub laevadega (praamides), siis peab veejuhtme laius (B) olema vähemalt $2{,}6C$, milles C on praami või puksiiri laius, ning voolu sügavus vähemalt $h = s + \Delta h$, kus s on praami (puksiiri) süvis (vt. valem 5-16) ning Δh — varusügavus (laeva põhjast kuni veejuhtme põhjani), mis peab olema minimaalselt 0,3 m. Veejuhtme kõverusraadius (r) peab olema sel korral vähemalt $5l$, äärmisel juhul ka $3l$, kus l on laevakaravani (praami + puksiiri) pikkus.

KIRJANDUST

1. Брудастов А. Д., Осушение минеральных и болотных земель. Москва, 1955.
2. Гейтман Б. Г. и Писарьков Х. А. Осушение сельскохозяйственных земель. Ленинград, 1955.
3. Костяков А. Н. Основы мелиораций. Москва, 1960.
4. Кривоносов И. М., Селиверстов М. Н. Сельскохозяйственные мелиорации в нечерноземной полосе. Ленинград, 1957.
5. Розин В. А. Мелиорация с основами с/х водоснабжения. Ленинград, 1954.
6. Технические условия и нормы проектирования осушительных систем. Москва, 1957.
7. Черкасов А. А. Мелиорация и с/х водоснабжение. Москва 1958.

KAHEKSAS PEATÜKK

ERIKUIVENDUSVIISID

§ 8-1. ÜLEUJUTUSTE REGULEERIMINE JÕELUHTADES

Jõeluhtade üleujutus (tulv) on kasulik siis, kui see toimub väljaspool vegetatsiooniperioodi (kevadel, sügisel). Üleujutuse kasu on seda suurem, mida rikkam on vesi hapniku ja taimetoitainete (resp. peente uhtmete) poolest (vt. § 10-6).

Kahjulik on üleujutus vegetatsiooniperioodil ning siis, kui tulvavesi kannab luhale jämedateralisi uhtmeid (liiva). Juba lühiaegne üleujutus vegetatsiooniperioodil halvab kultuurtaimede kasvu ning uhtmete settimise tagajärjel rikub heinasaagi; pikem üleujutus hävitab aga põllumajanduskultuuride saagi ning sageli ka kultuurrohukamara täielikult. Järveluhtades on üleujutus alati vähem kasulik kui jõeluhtades, kuna seal on tulvaveeks seisev vesi, millega taimetoitainete juurdevool on tähtsusetu, tulv aga kestab kaua. Kõige selle tõttu kalduvad järveluhad pahatihti soostuma.

Jõeluhtade viljakus on teatud sõltuvuses üleujutusrežiimist: soodsates looduslikes tingimustes tekib luhas viljakas teraline lammimuld, ebasoodsates tingimustes aga halb, väheviljakas kihiline lammimuld. Teraline lammimuld kujuneb siis, kui hapniku ja taimetoitainete poolest rikas vesi ujutab luha üle tagasihoidlikult ja kestvamalt, kandes luhale vaid peeni uhtmeid (ibet, saue); kihiline lammimuld aga siis, kui tulv on ägedaloomuline (kiire vooluga, lühiaegne), mille puhul luhale kuhjub vaid jämedateralist materjali (liiva).

Seega on mõistetav, et üleujutusrežiimile mõjuvad positiivses suunas kõik sellised vesikonna ulatuses rakendatavad abinõud, mis muudavad äravoolu ühtlasemaks, aeglasemaks. Sellised abinõud võib jaotada: a) agrotehnilised ja agromelioratiivsed — mulla struktuuri loomine ning säilitamine, sügiskünd (eriti risti maapinna kaldega), sügavkünd, muttimine jne; b) metsanduslikud — metsastamine, metsaribade rajamine; c) hüdrotehnilised — veehoidlate rajamine.

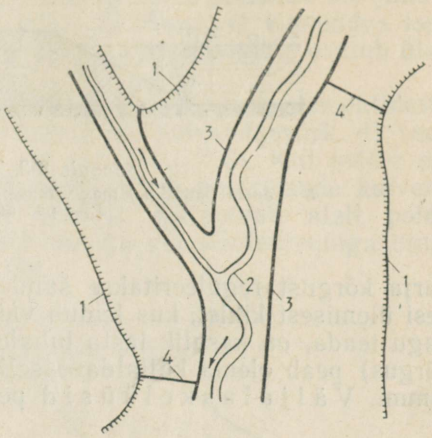
Jõeluhas võideldakse ebasoovitavate üleujutustega veejuhtme reguleerimise ning kaitsetammide rajamise (kaitsevallitamise) teel. Käesolevas peatükis käsitletakse lähemalt ainult viimast abinõu (esimest vt. § 7-5).

Jõeluhtades, kus puuduvad asulad, kasutatakse nn. suvetamme. Need on sellised tammid, mis kaitsevad luhta ainult suvel (vegetatsiooniperioodil), kevadisel suurveel aga võimaldavad pääseda luhale. Kaitsetammid paigutatakse kas ühele või kahele poole jõge rööbiti jõe üldise suunaga ning tammide vahele haaratakse ka suubuvad veejuhtmed vajalikus pikkuses (vt. joon. 8-1). Luha kitsamates kohtades rajatakse traa-

versid kuni oruveeruni, et tammi juhusliku läbimurde korral üleujutus lokaliseeruks väiksemale alale. Tammide vahekaugus (B) ja kõrgus (H) on pöördvõrdelised suurused ning nendele sobivad mõõtmed määratakse valemiga (vt. joon. 8-2):

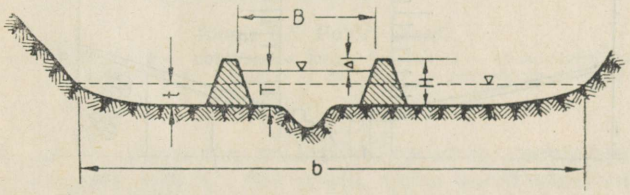
$$H = T + \Delta = t\left(\frac{bC}{BC_1}\right)^{2/3} + \Delta, \qquad (8\text{-}1)$$

milles t ja T — voolu sügavus luhal enne ja pärast tammide ehitamist (m);
C ja C_1 — Chézy koefitsient enne ja pärast tammide ehitamist;
b — luha üleujutuspiirkonna laius (m) ja
Δ — tammide varukõrgus, s. o. harja kõrgus üle maksimaalse veetaseme tammide vahel (m).



Joonis 8-1. Luha kaitsetammide asendi skeem:
1 — oruveer; *2* — jõgi; *3* — kaitsetamm; *4* — traavers.

Valemis esinevad t ja b määratakse hüdraulilise arvutuse teel, lähtudes vegetatsiooniperioodi maksimaalsest vooluhulgast tõenäosusega ca 5 . . . 10%.

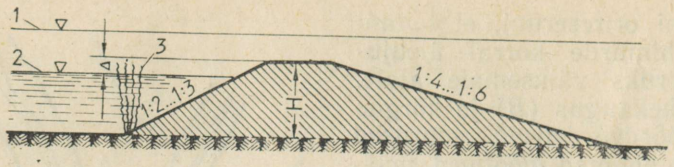


Joonis 8-2. Kaitsevallitatud luha ristlõige.

Sobiv ja majanduslikult põhjendatud tammide vahekaugus ja seega ka nende kõrgus määratakse erinevate vahekauguste järgi koostatud variantide võrdlemise teel; sealjuures nähakse osas variantides ette ainult kaitsetammid, teistes aga nii kaitsetammid kui ka jõe reguleerimine. Hoiduda tuleb liiga radikaalsest voolu kitsendamisest, mis võib voolu kiirust tammide vahel suurendada sedavõrd, et tekib ülemäära suur erosioon.

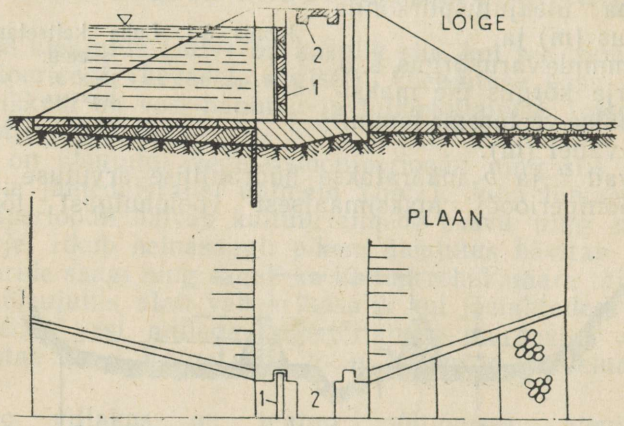
Tammid ehitatakse põhiliselt kohalikust pinnasest. Nende ristlõige on trapetsikujuline, jõepoolse nõlvusega 1:2 kuni 1:3 ning luhapoolse nõlvusega 1:4 kuni 1:6 (kui kevadine vesi neist üle tõuseb). Tammi harja laius on minimaalselt 1,5 m, kui aga harjale rajatakse tee, siis peab laius olema vähemalt 4,0 m. Tammi hari ja mõlemad nõlvad tuleb kamardada. Kaitseks uhtumise ja lainetuse lõhkuva toime vastu on otstarbekohane rajada tammi jalale jõe poole põõsaste rida (vt. joon. 8-3). Suvetammide varukõrguseks (Δ) võetakse ca 0,5 . . . 0,7 m. Tammi kaugus voolusängist peab olema vähemalt 10,0 m.

Luha üleujutuse reguleerimiseks tuleb kaitsetammidesse ette näha sisse- ja väljalaskelüüsid, mis peavad töötama võimalikult automaatselt. Sisselaskelüüs kujutab endast tavaliselt šandooridega (vesipalkidega) suletavat ava (vt. joon. 8-4). Selle asukoht tuleb valida ehituskulude vähendamise huvides kohtadesse, kus tamm kulgeb üle kõrgendiku. Lüüsi



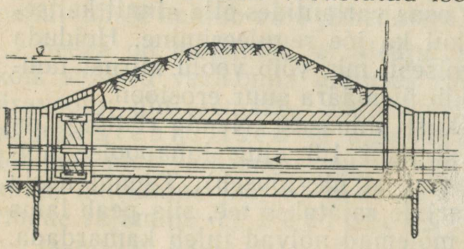
Joonis 8-3. Tammi ristlõige:
1 — aasta (kevadine) max veetase; *2* — vegetatsiooniperioodi max veetase; *3* — põõsastik tammi jalal.

harja kõrgust reguleeritakse šandooridega selliselt, et luhale satub jõevesi ülemisest kihist, kus leidub vaid peenemaid hõljuvaid uhtmeid, mida, nagu teada, on kasulik lasta luhale. Lüüsi läbilaskevõime (laius ja harja kõrgus) peab olema küllaldane selleks, et ära hoida jõevee voolamist üle tammi. V ä l j a l a s k e l ü ü s i d peavad automaatselt tööle asuma (ava-



Joonis 8-4. Sisselaskelüüs:
1 — šandoorid; *2* — sild.

nema) niipea, kui jõevesi jääb madalamaks veetasemest luhal. Lüüsi jõepoolne ots on selleks varustatud iseavaneva klapiga või väravaga (vt. joon. 8-5).



Joonis 8-5. Väljalaskelüüs.

Kui luhas esineb asulaid, tuleb neid kaitsta k e v a d t a m m i d e g a, mille kõrgus on määratud aasta maksimaalse vooluhulga alusel.

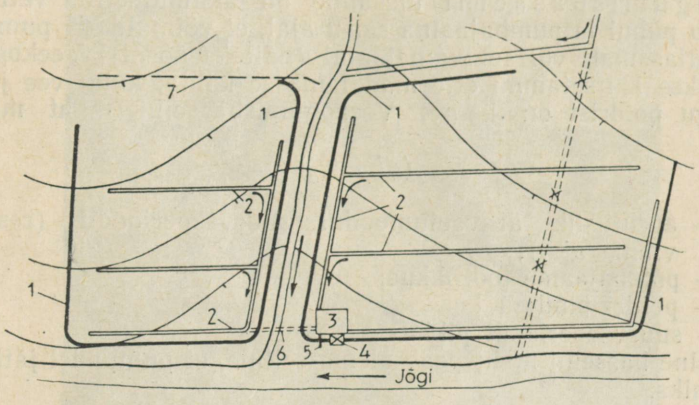
Et kaitsetammidega kitsendatakse suurveevoolu ning kaotatakse ära luha senine retentsioonimõju, suurenevad mõningal määral üleujutused nii ülal- kui ka allpool tammidega kaitstud jõelõiku.

§ 8-2. POLDERKUIVENDUS

P o l d e r k u i v e n d u s e k s nimetatakse sellist kuivendusviisi, kus liigvesi kuivendatavalt maa-alalt kõrvaldatakse pumpamise teel; kuivendatavat maa-ala ennast nimetatakse sel puhul p o l d r i k s. Polderkuiven-

dus osutub paratamatuks mere- ja järverannikul ning jõeluhas sel juhul, kui veetase veevastuvõtjas on pikemat aega nii kõrge, et kuivendus isevoolu teel ei ole võimalik ning kui järve või jõe reguleerimine osutub ülemäära kulukaks.

Polderkuivendussüsteem koosneb järgmistest elementidest: a) välispiirdevõrk, b) kaitsetamm, c) poldrisisene kuivendusvõrk, d) veekogumisbassein, e) pumbajaam ja g) lüüs (vt. joon. 8-6). Kui polder on välisveejuhtmetega lõhestatud osadesse, kasutatakse poldriosade kuivendusvõrgu omavaheliseks ühendamiseks düükrit. Kõrgemalt alalt poldrissé pealevalguv vesi haaratakse piirdekraaviga või piirdedreeniga ning juhitakse poldrist mööda veevastuvõtjasse.



Joonis 8-6. Poldri skeem:
1 — kaitsetamm; *2* — poldrisisene kuivendusvõrk; *3* — veekogumisbassein; *4* — pumbajaam; *5* — lüüs; *6* — düüker; *7* — piirdedreen (-kraav).

Kaitsetammi ülesanne on kaitsta poldrit veevastuvõtjast (jõest, merest, järvest) pealevalguva vee vastu. Oma konstruktsioonilt on kaitsetamm sarnane eespool (vt. § 8-1) kirjeldatud jõeluhtade kaitsetammiga. Kui veevastuvõtjaks on suurem veekogu (järv, meri), tuleb tammi välisnõlv kaitseks jää ja lainetuse lõhkuva toime vastu kindlustada. Tammi kõrgus sõltub välisvee maksimaalsest tasemest ning lainekõrgusest. Muldpaisude projekteerimise instruktsiooni (1944. a.) kohaselt arvutatakse muldpaisude (tammide) varukõrgus (Δ), s. o. kõrgus, mille võrra hari ületab arvutusliku maksimaalse veeseisu, valemiga:

$$\Delta = h_v + a, \tag{8-2}$$

kus a — lisavaru; II—III kl. ehitistel $a=0{,}5$ m; IV kl. ehitistel $a=0$;
h_v — laine pealeveeremise kõrgus; N. N. Džunkovski järgi

$$h_v = 3{,}2\, k\, C \operatorname{tg} \alpha, \tag{8-3}$$

milles k — tammi nõlva karedust hindav koefitsient; $k \approx 1{,}0$;
α — nõlva tõusunurk ja
C — laine kõrgus (m), mis määratakse V. G. Andrejanovi valemiga:

$$C = 0{,}0208 v^{5/4} L^{1/3}, \tag{8-4}$$

milles v — tuule arvutuslik kiirus ($v \approx 10 \ldots 20$ m/sek) ja
L — akvatooriumi (veevälja) laius tammi ees (km).

Lahtiste ja madalate veekogude puhul võib C-d määrata D. Solovjovi valemiga:

$$C=0{,}073v. \tag{8-5}$$

Orienteerivalt võetakse Δ suuruseks madalate paisude ja tammide puhul ca 1,0...1,5 m.

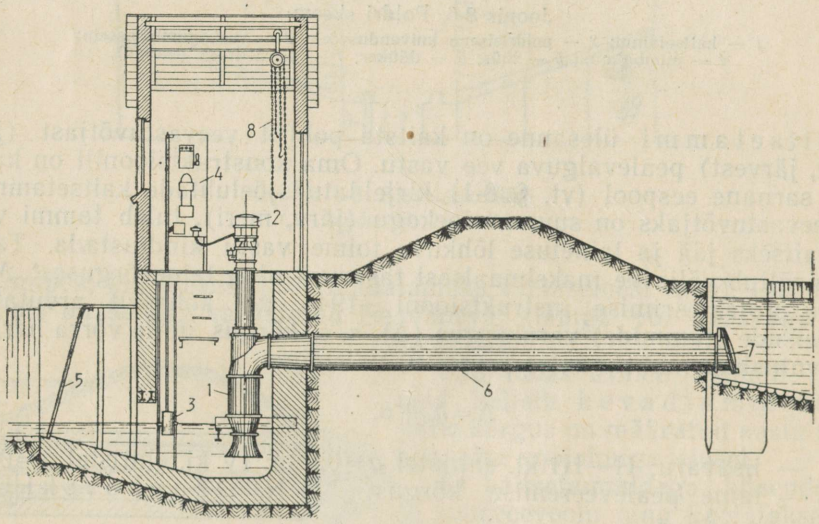
Poldrisisene kuivendusvõrk projekteeritakse tavalisel viisil; mõningaks erinevuseks on vaid see, et siin on soovitatav näha peakraav ja esimese järgu kogujakraavid ette laiematena ning väiksema kaldega, mille tõttu nad täidavad osaliselt ka veekogumisbasseini ülesannet ja mille tõttu ühtlasi väheneb mõningal määral pumpamiskõrgus.

Veekogumisbasseini ülesanne on akumuleerida vett suurema juurdevoolu puhul ja pumbajaama seisu ajal, et võimaldada pumbajaamal töötada ühtlasemalt või sobivamal ajal (näiteks öösel). Veekogumisbassein rajatakse kaitsetammi ette madalamasse kohta, kuhu vee juurdejuhtimine kogu poldrist on kerge. Veekogumisbasseini maht määratakse valemiga

$$W=(qF-Q_p)\,t, \tag{8-6}$$

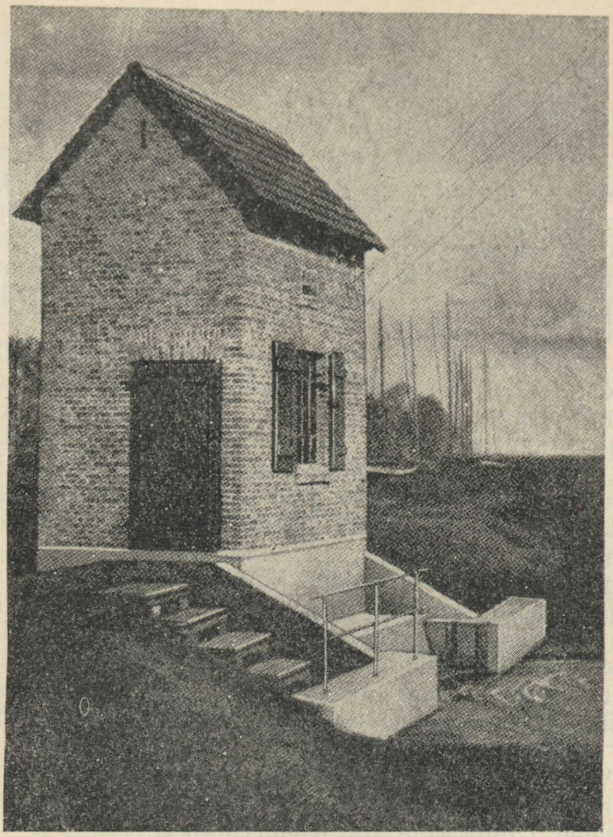
milles q — arvutuslik äravoolumoodul suurveeperioodil (resp. paduvihma ajal);
Q_p — pumbajaama tootlikkus;
F — poldri pindala ja
t — suurveeperioodi pikkus.

Minimaalne basseini maht peab olema selline, et pumpadel jätkuks tööd 3...5 tunniks.



Joonis 8-7. Poldri pumbajaama lõige:
1 — propellerpump; *2* — elektrimootor; *3* — ujuk; *4* — lülituskilp; *5* — võre; *6* — survetoru; *7* — klapp; *8* — montaažitali.

Pumbajaam asub veekogumisbasseini juures ning selle tähtsaimaks ja sageli ka ainsaks sisustuseks on pump ja mootor. Väiksemas poldris kasutatakse madalrõhu-tsentrifugaalpumpasid, suuremates — propellerpumpasid. Mootoriks sobib kõige paremini elektrimootor, sest selle tööd on kerge automatiseerida, teises järjekorras tuleb sisepõlemis-, eriti diiselmootor. Joonisel 8-7 esitatud pumbajaamas on kasutatud verti-



Joonis 8-8. Poldri pumbajaam.

kaalvõlliga propellerpumpa ja elektrimootorit, mis omavahel on otseühenduses (ühisel võllil). Elektrimootori käivitab ujuk-relee vastava kangi abil, kui veeseis veekogumisbasseinis tõuseb ettenähtud ülempiirile, ning lülitab selle tööst jälle välja, kui veeseis on langenud ettenähtud alampiirile. Pumba juurest suundub survetoru läbi tammi veevastuvõtjasse ning lõpeb seal automaatselt sulguva klapiga. Pumbajaama vaade on esitatud joonisel 8-8.

Pumbamootori võimsus määratakse valemiga (vt. val. 5-85 ja 5-86)

$$N = \frac{QHn}{102\eta_p\eta_{ü}} \text{ (kW)},$$

milles $H = H_g + h_t$,

kus H_g — geodeetiline tõstekõrgus, s. o. sise- ja välisveeseisu maksimaalne vahe (m), ja

h_t — survekadu (m).

Vooluhulk Q tuleb määrata valemiga

$$Q = Q_s + Q_f, \qquad (8\text{-}7)$$

milles Q_s — sademetest tingitud vooluhulk, mis arvutatakse tavalisel viisil (vt. § 4-4), ja

Q_f — läbi tammikeha ja selle alt poldrisse tungiv filtratsioonivool, mille suurus arvutatakse valemiga

$$Q_f = q_f H_t L \text{ (l/sek)}, \qquad (8\text{-}8)$$

kus H_t — sise- ja välisveeseisu vahe tammi kohal (m);
L — tammi üldine pikkus (km) ja
q_f — filtratsioonimoodul (l/sek) tammi 1,0 km pikkuse lõigu ning sise- ja välisveeseisu vahe (H_t) 1,0 m kohta.

Ülejäänud tegurite tähendus on selgitatud valemite 5-85 ja 5-86 juures. Sõltuvalt tammialuse pinnase veejuhtivusest kõigub filtratsioonimoodul (q_f) umbkaudselt piirides 8 ... 40 l/sek.

Summaarne arvutuslik äravoolumoodul, millega orienteerivalt võib määrata pumbata tulevat vooluhulka Q, on ca 1,0 ... 1,75 l/sek · ha (kuni 1000 ha suuruse poldri puhul).

Et pumbajaama töökoormus kõigub sõltuvalt Q ja H kõikumisest aasta jooksul laiades piirides, siis masinate parimaks (optimaalseks) koormamiseks tuleb pumbajaama koguvõimsus jaotada mitme väiksema võimsusega pumbaagregaadi vahel. Ülesseatavate pumbaagregaatide arv sõltub pumbajaama töökoormuse kõikumise iseloomust, veekogumisbasseini suurusest jne.; minimaalselt seatakse üles kaks pumbaagregaati, millest üks on teisest 2 korda võimsam; kolme agregaadi puhul võivad olla kõik ühesuuruse võimsusega.

L ü ü s on poldris vajalik selleks juhuks, kui veetase veevastuvõtjas langeb nii madalale, et poldrist on vett võimalik välja juhtida isevoolu teel. Lüüsiks on tavaliselt toruveejuhe veekogumisbasseini ja veevastuvõtja vahel. See toruveejuhe on suletav varjaga või selle välisots on varustatud automaatselt avaneva ja sulguva klapiga. Lüüsi lävis peab asetsema sellisel sügavusel, et vesi võiks välja voolata ka kõige madalama veeseisu ajal veekogumisbasseinis.

Eesti NSV-s tuleb polderkuivendust kasutada laialdastel Peipsi- ja Võrtsjärve ning Läänemere madalatel rannikualadel, aga samuti ka mitmetes jõeluhtades (Suur Emajõgi, Kasari jõgi jt.).

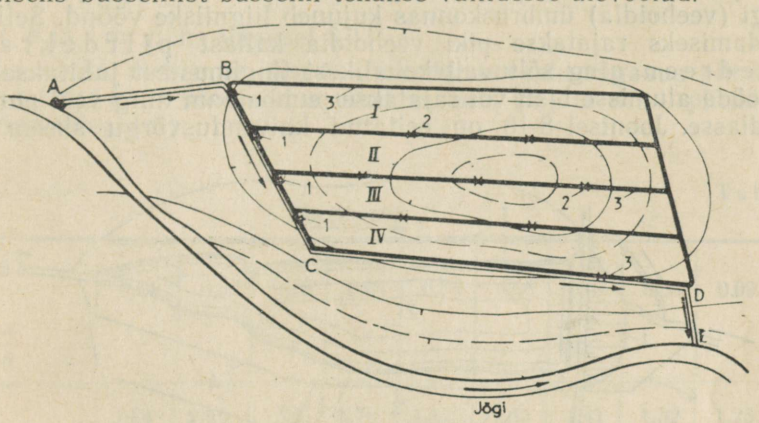
Näide. Määrata pumbajaama võimsus poldris Suure Emajõe suudmealal, kui poldri suurus $F = 1500$ ha, maapinna kõrgusarv veekogumisbasseini kohal on 30,5 m, tammide pikkus $L = 10{,}0$ km, pinnas — kerge liivsavi ja poldrit kasutatakse kultuurrohumaana.

L a h e n d u s. Peipsi järve veeseisu andmete analüüsimisel selgub, et järve kevadine veetõus hilineb ca 1,5 nädala võrra, võrreldes suurveeperioodiga väikestes vesikondades. See võimaldab osa kevadisest suurveest poldrist välja juhtida isevoolu teel; hüdroloogilistes arvutustes võib seetõttu loobuda kevadise suurvee arvestamisest, opereerides selle asemel vegetatsiooniperioodi maksimaalse äravooluga. Et järve veeseis on kevadel kõrge kogu mai- ja osalt ka juunikuu, tuleb arvutuslikuks välisveeseisuks võtta aasta maksimaalne veeseis järves. 10%-lise tõenäosusega kevadine suurveeseis on Peipsi järves ca 31,30 m [2]. Veekogumisbasseini keskmine veeseis olgu 29,30 m ning minimaalne 29,00 m. Survekadu pumbatorustikus on ca 1,0 m. MK III nomogrammilt XXXII saame $q_{\text{veg.max}} \approx$ 95 l/sek · km^2. Antud pinnase puhul võib q_f-i suuruseks võtta ligikaudu 25 l/sek. Välis- ja siseveeseisu vahe tammide kohal $H_t = 31{,}30 - 29{,}30 = 2{,}00$ m. Valemitega 8-7 ja 8-8 saame: $Q = Q_s + Q_f = q_{\text{veg. max}} \cdot F + q_f H_t L = 95 \cdot 15 + 25 \cdot 2{,}0 \cdot 10{,}0 = 1925$ l/sek. $H = H_g + h_t = 31{,}30 - 29{,}00 + 1{,}0 = 3{,}30$ m. Nõutav pumbamootori võimsus $N = \frac{QHn}{102\eta_p\eta_{ü}} = \frac{1925 \cdot 3{,}30 \cdot 1{,}1}{102 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}00} = 105$ kW. Valime kolm pumbaagregaati à $(105 : 3) = 35$ kW.

§ 8-3. MADALIKE KOLMATSIOON

Kolmatsiooniks nimetatakse maapinna tõstmist uhtmeterikka veega üleujutamise teel. Kolmatsiooni kasutatakse jõeluhtades esinevate väiksemate liigniiskete madalike likvideerimiseks juhul, kui jõevesi on küllaldaselt uhtmeterikas ning kui jõe süvendamine osutub sedavõrd kulukaks, et see end majanduslikult ei õigusta.

Kolmatsiooniks on vaja madalik ümbritseda valliga, juhtida uhtmeterikas jõevesi erilise, nn. kolmatsioonikraaviga sisse, peetada vesi või lasta tal aeglaselt voolata läbi madaliku ning selginud vesi juhtida jõkke tagasi (vt. joon. 8-9). Suuremad madalikud jagatakse vallidega osadeks, nn. kolmatsioonibasseinideks, ning vee liikumise võimaldamiseks basseinist basseini tehakse vallidesse ülevoolud.



Joonis 8-9. Kolmatsiooni skeem:
A — veehaardeehitis; *A—B—C* — kolmatsioonikraav; *C—D—E* — äravoolukraav; *1* — sisselaskeavad; *2* — ülevoolud; *3* — vallid; *I—IV* — kolmatsioonibasseinid.

Perioodilise kolmatsiooni puhul lastakse veel basseinidesseista 0,5...1,5 päeva, mille järel uhtmetest vabanenud vesi juhitakse jõkke ning basseinidesse lastakse uus vesi, millist operatsiooni korratakse kuni suurveeperioodi lõpuni. Kolmatsiooni algul peetakse vett basseinides kinni lühemat aega, seejuures setivad ainult jämedamad uhtmed, settekiht kasvab jõudsamalt; hiljem peetakse vett juba kauemini kinni, mille tõttu setib rohkesti ka peenemaid uhtmeid ning kujuneb parem mullakiht. Kolmatsioon kestab nii kaua, kuni madalik täitub ja põhjavesi jääb küllaldasele sügavusele (0,75...1,0 m).

Pideva kolmatsiooni puhul vesi ei seisa, vaid liigub aeglaselt basseinist basseini; seejärel valgub selginud vesi äravoolukraavi kaudu jõkke tagasi. Vee kiirust reguleeritakse sisselaskeavade abil.

Kolmatsiooni edukus sõltub oluliselt jõevee uhtmeterikkusest; umbkaudu võib aastast juurdekasvu hinnata ca 0,5...10 cm-le. Valemiga

$$T = \frac{Fh\gamma}{8{,}64Qtpa} \qquad (8\text{-}9)$$

on võimalik umbkaudu määrata aastate arvu, mis kulub antud madaliku täielikuks täitmiseks. Valemis on

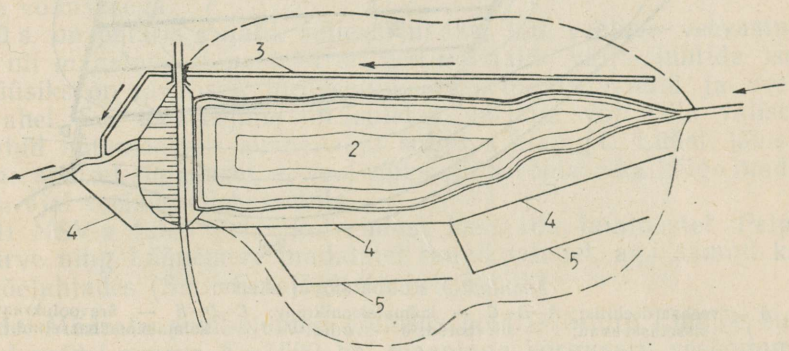
F — madaliku pindala (ha);
h — kolmatsioonikihi keskmine paksus (m);
γ — sette mahukaal (kg/m^3);

Q — kolmatsiooni keskmine vooluhulk (m^3/sek);
t — kolmatsiooni keskmine kestus aasta jooksul (päevades);
p — kolmatsioonivee keskmine uhtmete kontsentratsioon (kg/m^3) ja
$\alpha \approx 0{,}8 \ldots 0{,}9$.

On tehtud edukaid katseid täita madalikke kolmatsiooni teel ka pinnasepumpade abil jõgede süvendamisel. Vedeldunud pinnast (pulpi) on juhitud seejuures torustiku abil jõest kuni 1,0 km kaugusel asuvatesse madalikesse. Kolmatsiooni kasutatakse ka parema mullakihi pealeuhtumiseks väheviljakatele muldadele (liivale, kruusale).

§ 8-4. KUIVENDAMINE PAISUDE MÕJUPIIRKONNAS

Vee paisutamise tagajärjel veejuhtmes tõuseb ka põhjaveetase ning paistiigi (veehoidla) ümbruskonnas kujuneb liigniiske vöönd. Selle vööndi kuivendamiseks rajatakse piki veehoidla kallast p i i r d e k r a a v või p i i r d e d r e e n ning sõltuvalt kohalikest tingimustest juhitakse see paisust mööda alumisse biefi või rajatakse pumbajaam ning vesi pumbatakse veehoidlasse. Joonisel 8-10 on esitatud kuivendusvõrgu skeem esimese



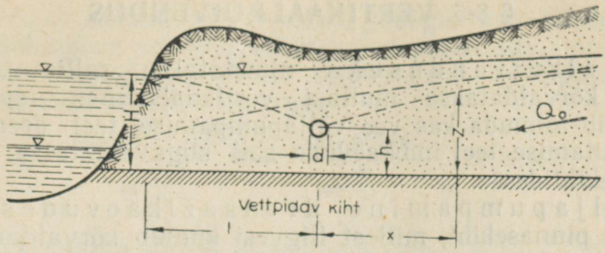
Joonis 8-10. Kuivendusvõrk paisu mõjupiirkonnas:
1 — pais; *2* — paistiik (veehoidla); *3* — piirdekraav; *4* — piirdedreen; *5* — kuivendusdreenid.

juhu jaoks. Piirdedreen (piirdekraav) lõikab läbi nii veehoidla kui ka lammi poolt liikuva põhjavee, alandades sel teel põhjaveetaset paisu mõjupiirkonnas. Kui seada endale eesmärgiks alandada põhjaveetaset esialgseni (enne paisutust olnuni), tuleb piirdedreeni (piirdekraavi) sügavus võtta mõningal määral (ca 0,5 m) suurem, kui oli esialgne põhjavee sügavus (vt. joon. 8-11). Kui seejuures dreen või kraav jääb liiga «rippuvaks», s. o. kui selle kõrgus üle vettpidava kihi (h) on liiga suur, paisutab veehoidla põhjavett ka piirdedreenist (-kraavist) kaugemal, kuhu sel puhul tuleb paigutada kuivendusdreene (vasak kallas joonisel 8-10). Kuivendusdreenide vajadust saab kontrollida valemiga 8-11.

Põhjavee juurdevoolu piirdedreeni (-kraavi) 1,0 m pikkusel lõigul võib arvutada S. A v e r j a n o v i valemiga:

$$Q = \frac{2\alpha}{1+\alpha}\left[Q_0 + \frac{k(H^2 - h^2)}{2l}\right] \text{ (m}^3\text{/ööpäevas)}, \qquad (8\text{-}10)$$

milles Q_0 — põhjavee juurdevool lammi poolt (m^3/ööpäevas) piirdedreeni 1,0 m pikkuse lõigu kohta;
k — pinnase filtratsioonikoefitsient (m/ööpäevas) ja



Joonis 8-11. Piirdedreen paisu mõjupiirkonnas.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{h}{l} A};$$

H, h ja l on näha joonisel 8-11;

A — määratakse tabelist 8-1, kus h_o — voolu sügavus piirdekraavis (m); b — voolu laius piirdekraavis (m) ja d — piirdedreeni diameeter (m).

Tabel 8-1

Koefitsient A

$\frac{h_o + 0{,}5\,b}{h}$ või $\frac{d}{h}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
A	2,64	2,20	1,95	1,76	1,62	1,51	1,41	1,32	1,25	1,18

0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,07	0,97	0,89	0,81	0,75	0,61	0,50	0,34	0,22	0,14	0,07	0,03	0,01	0,00

Depressioonikõvera konstrueerimiseks piirdedreeni (-kraavi) ja oruveeru vahelises piirkonnas (lammil) on kasutatav valem

$$z = h + \frac{(1-\alpha)(H-h)}{(1+\alpha)} + \frac{2(\alpha+\alpha_1)Q_0 x}{\alpha_1(1+\alpha)k(h+z)}, \qquad (8\text{-}11)$$

milles $\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{h}{x} A}$,

x ja z on depressioonikõvera abstsiss ja ordinaat (vt. joon. 8-11).

Kui veehoidla sügavus on väike (mitu korda väiksem kui H), tuleb eespool toodud valemeis l-i asemel võtta $l' = l + 0{,}44\,h$.

Näide. $l = 50$ m; $h = 3{,}0$ m; $H = 5{,}0$ m; $k = 5{,}0$ m/ööp; $d = 0{,}15$ m; $Q_o = 0$.

Lahendus. $\frac{d}{h} = \frac{0{,}15}{3{,}0} = 0{,}05$; tabelist 8-1 saame selle järgi: $A = 1{,}62$;

$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{3{,}0}{50} \cdot 1{,}62} = 0{,}91$; $Q = \frac{2 \cdot 0{,}91}{1 + 0{,}91}\left[0 + \frac{5{,}0(5{,}0^2 - 3{,}0^2)}{2 \cdot 50}\right] = 0{,}76$ m³/ööp. =

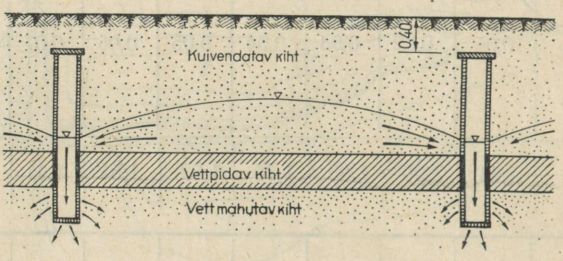
$= 0{,}0088$ l/sek (dreeni 1,0 m kohta). Kui dreeni pikkus on 500 m, siis vooluhulk selle suudmes $Q_s = 500 \cdot 0{,}0088 = 4{,}4$ l/sek.

§ 8-5. VERTIKAALKUIVENDUS

Vertikaalkuivenduseks nimetatakse sellist kuivendusviisi, kus liigvesi kõrvaldatakse mullast vertikaalsuunas (spetsiaalkaevude abil). See võib toimuda kas vee väljapumpamise teel drenaažikaevudest või vee immutamise teel imbkaevude abil sügavamatesse vettmahutavatesse pinnasekihtidesse.

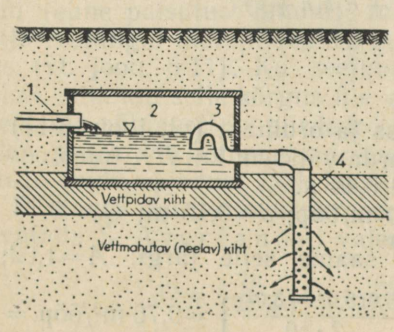
Vee väljapumpamine drenaažikaevudest on kasutatav seal, kus pinnasekiht, millest liigvesi kuulub kõrvaldamisele, võrdlemisi hästi vett juhib ning on suure tüsedusega. Kuivendataval maa-alal rajatakse puurkaevude võrk, kaevu läbimõõduga 25 ... 50 cm, sügavusega 5 ... 20 m ning, sõltuvalt pinnase veejuhtivusest, vahekaugustega 200 ... 1000 m. Vee väljapumpamise teel kaevudest alandatakse põhjaveetaset soovitava sügavuseni. Väljapumbatud vesi juhitakse lähimasse veevastuvõtjasse.

Vee immutamine sügavamal paiknevatesse pinnasekihtidesse on võimalik karstialal ning seal, kus kuivendataval maa-alal mitte sügavamal kui 2 ... 2,5 m lasub võrdlemisi õhukese vettpidava kihi all tüse, veega küllastumata liiva- või kruusakiht. Kui vettpidav kiht lasub küllalt sügaval ($\geqslant 1{,}5$ m), seega kus põhjaveekiht on küllalt tüse, võib kasutada joonisel 8-12 kujutatud imbkaevusid, paigutades need kuivendataval maa-



Joonis 8-12. Imbkaevud.

alal ridadena. Imbkaevude vahekaugused võib võtta umbkaudu niisama suured kui dreenide vahekaugused drenaažkuivenduse puhul, kus dreenide sügavus $h \approx 0{,}75\ H$, milles H on kuivendatava kihi tüsedus (kuni vettpidava kihini), ehk ca 10 ... 80 m (sõltuvalt pinnase filtratsioonivõimest). Imbkaevude läbimõõt on tavaliselt 20 ... 25 cm. Kaevu seinad ülal- ja allpool vettpidavat kihti tehakse poorsed (mulgustatud) ning tolmja pinnase puhul ümbritsetakse selles osas filtreeriva materjaliga (kruus, sammal). Pealt on kaev kaetud kaanega.



Joonis 8-13. Settekambriga imbkaev:
1 — kollektor; *2* — settekamber; *3* — sifoon; *4* — imbkaev.

Enamikul juhtudel osutub otstarbekohasemaks kasutada imbkaevusid drenaažisüsteemide veevastuvõtjana (vt. joon. 8-13). Et aga drenaaživesi sisaldab uhtmeid, mida ei või ummistamise ohu tõttu lasta imbkaevu, tuleb viimase ette paigutada settekamber. Imbkaevu sisenemisosa kujutab endast sifoonikujulise otsakuga horisontaalset torulõiku, mis vastava põlvikuga on ühendatud ravitorudest koostatud imbkaevuga. Sifooni tõttu toi-

mub vee väljavool settekambrist vaheaegadega, mis soodustab uhtmete settimist. Settekambrit on vaja vahetevahel puhastada.

Allpool asuva vettpidava kihini mitteulatuva («rippuva») imbkaevu vastuvõtuvõime määratakse valemiga:

$$Q = \frac{2\pi kh(h-H)}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2{,}73\,kh(h-H)}{\log \frac{R}{r}} \text{ (m}^3\text{/sek)}, \qquad (8\text{-}12)$$

milles h — veesamba kõrgus imbkaevus (m);
H — põhjavee kõrgus üle imbkaevu põhja taseme (m); kui kaev ei ulatu põhjavette, siis $H=0$;
k — neelava pinnasekihi filtratsioonikoefitsient (m/sek);
r — kaevu raadius (m) ja
R — filtratsioonivoolu laialivalgumise raadius (m), mis määratakse valemiga

$$R = C\sqrt{\frac{kT(h-H)}{\delta}} \text{ (m)}, \qquad (8\text{-}13)$$

milles C — koefitsient, mille väärtus on 120...150;
T — kaevu töötamise kestus (tundides) ja
δ — pinnase infiltratsiooni-(resp. veeloovutus-) koefitsient (vt. § 3-4, p. 5).

Imbkaevude toimimine on tagatud ainult sel juhul, kui neelavas kihis asuval põhjaveel on äravoolu võimalus ja seetõttu selle tase ei hakka tõusma.

Põhja- ja Lääne-Eestis on kohati võimalik vertikaalkuivenduse puhul veevastuvõtjatena ära kasutada karstitühemeid. Karstiks nimetatakse nähtust, kus vesi, tungides pinnase (kivimi) pooridesse ja lõhedesse ning seal edasi liikudes kannab ära vees lahustuvaid mineraale (Eesti NSV tingimustes lubjakivi), mille tõttu lõhed suurenevad ning kujunevad karstitühemed. Kui tüheme (koopa) lagi jääb õhukeseks, langeb karstikoobas sisse ning maapinnale tekivad karstilehtrid. Kohta, kust pinnavesi valgub karstitühemetesse, nimetatakse kurisuks. Et vältida kurisu ummistumist uhtmetega ja ujuvate esemetega, tuleb kurisu ette ehitada lahtine settekaev ja võre või viimase asemel katta kurisu kividega, pannes allapoole suuremaid, pealepoole väiksemaid (munakaid).

§ 8-6. AIAMAADE JA PARKIDE KUIVENDAMINE DRENAAŽIGA

Aiamaade, puukoolide, parkide, parkkarjamaade ja metsataimlate kuivendamisel drenaažiga on raskeks ülesandeks drenaažitorustiku kaitsmine puude, põõsaste ja teiste sügavalt juurduvate taimede juurte sissetungimise vastu.

Peamiseks juurte sissetungimise põhjuseks drenaažitorustikku pole mitte vee «otsimine», vaid juurte kalduvus areneda paremini sellises keskkonnas, kus taimetoitainete juurdevool on intensiivsem, seega liikuva vee piirkonnas, nagu näiteks kraavi, jõe ja oja kallastel ning seetõttu ka drenaažitorustiku vahetus läheduses. Samuti on tähtis ka vee hapnikusisaldus. Et kollektoris on dreeniga võrreldes vee liikumine suurem ja vesi hapnikurikkam, tungivadki juured peamiselt sinna. Eriti meelsasti tungivad juured sellistesse kollektoritesse, milles vesi on taimetoitainete poolest rikkam (tuleb paremini väetatud maa-alalt) kui kollektorit ümbritseva pinnase vesi.

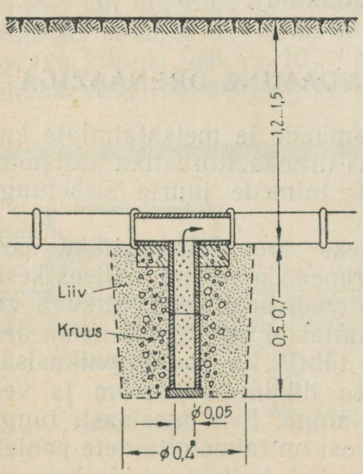
Nagu V. Šileika uurimised Leedu NSV-s näitavad, ähvardab juurte

sissetung peamiselt kollektoreid, kuna dreenid on palju vähem ohustatud. Kõik puud, põõsad ja teised sügavalt juurduvad taimed ei avalda aga ühesugust kalduvust drenaažitorustikku tungimiseks. V. Šileika andmeil tungivad eriti kiirelt torudesse järgmiste taimede juured: remmelgas, hobukastan, hõbehaab, raudpaju, sanglepp, koer-kibuvits, õunapuu, must ja punane sõstar, hobuoblikas, soo-osi, angervaks ja teised mitmeaastased rohundid. Hoopis «ükskõiksemad» on pärn, vaher, kuusk, sookask, saar, sarapuu, pirni-, ploomi- ning kirsipuu, teraviljad ja suurem enamus üheaastasi ning mitmeaastasi rohttaimi.

Kõige lihtsam ja mõjuvam abinõu võitluseks juurte sissetungi vastu drenaažitorustikku on viimase paigutamine puudest ja põõsastest eemale või vähemalt 1-meetrise sügavusega kaitsekraavi vahelekaevamine. Kus see võimalik on, tuleb asetada dreenid ja eriti kollektorid põõsastest vähemalt 10 m ning puudest 20 ... 30 m kaugusele (vt. joon. 6-31). Kui puude ja kollektorite vahele jäänud maaribad vajavad täiendavat kuivendamist, võib sinna suunata üksikuid lühikesi dreene.

Seal, kus drenaažitorustiku selline paigutus ei ole võimalik, tuleb kasutada juurte eemalepeletamise vahendeid ning juurte sissepääsuteede sulgemist. Juuri peletatakse eemale kemikaalidega, mida juured ei talu — karbolineumiga, tõrvaga, šlakiga või ka lihtsalt toitainetevaese materjaliga. Savitorud kastetakse kummagi otsaga kuuma karbolineumi või tõrvasse ning pärast kaevikusse paigaldamist kaetakse 15 ... 20 cm paksu koksiräbu-(šlaki-) kihiga (allapoole jämedam, peale peenem) ning lõpuks kaetakse veel rabasambla või kanarbikuga. Koksiräbu asemel võib häda korral kasutada ka paksemat kihti kruusa või vähe lagundunud rabaturvast. Selliselt luuakse dreenide ümber toitainetevaene, taimejuurtele ebasoodus keskkond, kuhu taimejuured ei tungi. Tõrvamise asemel võib kasutada ka liivatatud tõrvapappi, millega vähemalt 10 cm laiuste ribadena ümbritsetakse torude liidused.

Juurte sissetungi on võimalik tõkestada kahekordsete dreenide kasutamise teel; 50- või 40-mm-lised savitorud paigutatakse jämedamate (75-mm-liste) torude sisse nii, et sisemiste ja välimiste torude liidused ei jääks kohakuti. Kindlamaks abinõuks juurte sissetungi vastu on savitorude liiduste sulgemine (tihendamine) ning vee sissepääsu võimaldamine sellist teed kaudu, mida taimejuured ei saa kasutada. Liiduseid saab sulgeda kas toru otspindade lihvimise teel spetsiaalsel käial, liiduste tõrva-lubjakitiga kinnimäärimise või muhvidega ümbritsemise (muhvtorude kasutamise) teel. Vee dreenidesse pääs (kollektori puhul seda vaja ei ole) võimaldatakse kas dreeni alumisele küljele toru keskmise kolmandiku ulatuses tehtud 2 ... 3 mm laiuse pikipilu või Rérolle'i kaevu kaudu. Pilu on võimalik sisse saagida spetsiaalse ketassaega ehituskohal või juba savitorude tootmisel tehases. Tähelepanekud näitavad, et juured ei tungi toru alumisse külge tehtud pilusse, kuna see enamasti on põhjavee sees. Rérolle'i kaevu konstruktsioon on esitatud joonisel 8-14. Kaevud rajatakse dreenide alla sõltuvalt pinnase veejuhtivusest 10 ... 15 m tagant.



Joonis 8-14. Dreen Rérolle'i kaevuga.

Rérolle'i kaev koosneb tavaliselt kahest püsti üksteise otsa asetatud perforeeritud (mulgustatud seintega) savitorust. Ülemine savitoru ühendatakse dreenitoruga, milleks viimasele raiutakse auk sisse. Parem ühendus saadakse, kui kasutatakse selleks savitorukolmikut või kaevu ülemise otsa ümber valatakse betoonist ca 5...7 cm paksune plaat (vt. joonist). Ummistumise vältimiseks tuleb kaev ümbritseda kruusfiltriga. Kui vesi kaevus on tõusnud püsttoru ülemise otsa kõrguseni, pääseb vesi dreeni ja voolab seda mööda ära. Vee liikumise kergendamiseks kaevu suunas tuleb halvema veejuhtivusega pinnases katta dreenid ca 10 cm paksuselt kruusa või jämeda liivaga.

Maa-alal, kus kasvavad «ükskõiksemad» puud ja põõsad, on otstarbekohane kollektorid ehitada muhvtorudest, mille liidused kititakse kinni tõrvatud nööriga, ning dreene kaitsta eespool mainitud kemikaalidega, luua dreenide ümber ebasoodus (toitainetevaene) keskkond või kasutada kahekordseid dreene. «Agressiivsete» puu- ja põõsaliikide puhul tuleb dreenide liidused sulgeda ja vee sissepääsuks ette näha pilud või Rérolle'i kaevud, kollektoreid aga tuleb kaitsta samal viisil nagu esimesel juhul.

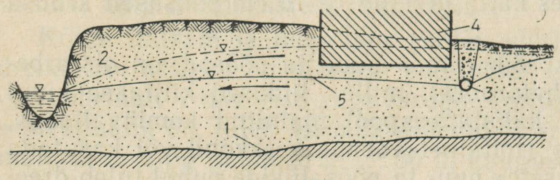
V. Šileika soovitab originaalset abinõu võitluseks juurte sissetungi vastu kollektoritesse. See seisneb selles, et kollektorite ülemisse otsa rajatakse kontrollkaevud, kuhu iga 2...3 a. tagant valatakse juuri hävitavaid kemikaale, milleks on kõige sobivamateks osutunud karbolineumi- ning tõrvalahused ja naftasaadused. Vedelikku kulub selleks ca 3...5 l kollektori iga 100 m kohta.

§ 8-7. ASULATE JA EHITUSPLATSIDE KUIVENDAMINE

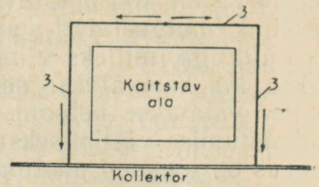
Asulates (linnades, alevites, kolhooside ja sovhooside keskustes jne.) ning ehitusplatsidel tekitab pinnavee seiskumine ning kõrge põhjavesi kahju hoonetele (uputab keldreid, laoruume, juurviljahoidlaid, nõrgendab ehitusalust jne.) ning halvendab sanitaarset olukorda. Maa-ala ebasoodus veerežiim neis paigus võib olla tingitud nii looduslikest tingimustest (geoloogiline ehitus, reljeef, hüdrograafiline võrk jne.) kui ka inimtegevusest asula väljaehitamisel ja ehitiste ekspluateerimisel. Põhjavee tõusu võib põhjustada pinnavee äravoolu halvenemine (looduslike veejuhtmete kinniajamine asula planeerimisel, mullete ning süvendite rajamine jne.), kanalisatsiooni- ja veevarustusvõrgu lekkimine ja muud asjaolud.

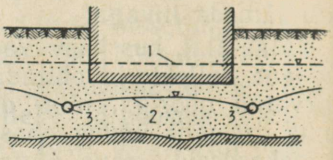
Kõige radikaalsemaks abinõuks võitluses kõrge põhjavee kahjustava toimega on maa-ala kuivendamine. Kuivendusviisina tuleb asulates kõne alla peaaegu eranditult vaid drenaažkuivendus. Sõltuvalt asula hüdrogeoloogilistest tingimustest kasutatakse kas lausdrenaaži, piirde- või ringdrenaaži.

Lausdrenaaž osutub vajalikuks sel juhul, kui põhjavesi kahjustab asula hooneid suuremal territooriumil. Drenaažikollektorid rajatakse mööda tänava äärt ning omavahel enam-vähem paralleelselt kulgevad dreenid suunatakse üle väljakute ning läbi kvartalite (hoonete vahelt). Üksiku hoone või hoonetegrupi kaitseks rajatakse piirdedreenid, mille suund peab olema üldjoontes risti põhjaveevooluga (vt. joon. 8-15). Ringdrenaaži kasutatakse põhjavee alandamiseks üksikute hoonete, hoonete grupi või väiksema kvartali ulatuses (vt. joon. 8-16). Dreenide paigutus sõltub siin kaitstava ala kontuurist. Kui drenaaži ehitamine toimub pärast kaitstava ala hoonestamist, tuleb drenaažikaevikud kaevata hoonetest küllaldasele kaugusele, et mitte põhjustada veega küllastatud pinnase väljavalgumist hoone alt, mille tagajärjel hoone hakkab vajuma ning selles võib tekkida pragusid. Eriti ettevaatlik peab olema juhul, kui hoonete all



Joonis 8-15. Piirdedreen hoonegrupi ees:
1 — vettpidav kiht; *2* — depressioonikõver; *3* — piirdedreen; *4* — hoonegrupp; *5* — põhjaveepind pärast drenaaži rajamist.





Joonis 8-16. Ringdrenaaž:
1 — esialgne põhjaveetase; *2* — alandatud põhjaveetase; *3* — dreenid.

lasub veega küllastunud nn. vesiliivakiht; kaeviku kaevamine on hoone läheduses lubatav sel korral vaid punnseina kaitse all, mis rammitakse hoone ja kaeviku vahele.

Spordiväljakute kuivendamisel on väga oluline, et oleks tagatud pinnavee kiire äravool. Selleks tuleb drenaaž ehitada suhteliselt madal ja tihe: dreenide sügavus peab olema ca 0,7...0,9 m ning vahekaugus 5...10 m (jooksuradadel, käsipalli- ja tenniseväljakutel ning hüppepaikadel tihedam, mujal harvem). Pinnavee kerge dreenidesse pääs saavutatakse sel teel, et dreenikaevikute täitmiseks kasutatakse hästi vettjuhtivat materjali (jämedateralist liiva, kruusa, šlakki või killustikku), kusjuures ülemine (ca 20 cm) kiht valmistatakse liiva või šlaki ja mulla segust. Kui kohapealne pinnas ei ole eriti raske, on lubatav väljaspool jooksuradasid, mänguväljakuid ja hüppepaiku täita dreenikaevikud läbisegatud kohapealse pinnasega, kuid iga 5...10 m tagant tuleb teha kruusast neelufiltrid ca 1,0 m pikkuselt. Elavamalt kasutatavatel spordiväljakutel on soovitatav teha jooksuradade põhi terves ulatuses filtreerivast materjalist.

Ühtset seisukohta kuivendusnormi suhtes sanitaartehnilisest seisukohast lähtudes ei ole asulate kohta praeguseni välja kujunenud. Üldjoontes peetakse sobivaks põhjavee sügavuseks 1...2 m (rasketel pinnastel rohkem, kergetel vähem). Haljasaladel soovitab Vene NFSV Kommunaalmajanduse Akadeemia võtta minimaalseks põhjavee sügavuseks puude puhul 1,5 m, põõsaste puhul 1,0 m ja muru puhul 0,8 m. Drenaažitorudena kasutatakse asulate kuivendamisel: savitorusid läbimõõduga vähemalt 10 cm; keraamilisi torusid läbimõõduga vähemalt 12,5 cm; asbesttsementtorusid; puittorusid — väiksemad laudadest, suuremad lõhikutest (poolpalkidest). Puitu tuleb kaitseks mädanemise vastu antiseptida.

Dreenide vahekaugus lausdrenaaži puhul, kui dreenid asuvad vettpidaval kihil, määratakse valemiga:

$$E = 2(h - z)\sqrt{\frac{k}{p}} \text{ (m)}, \qquad (8\text{-}14)$$

milles h — dreeni sügavus (m);
z — kuivendusnorm (m);
k — filtratsioonikoefitsient (m/ööp);

p — sademete maksimaalne intensiivsus (kuu maksimaalne sademete hulk jagatud sajupäevade arvuga; m/ööp.) ja
E — dreenide vahekaugus (m).

Kui dreenid asuvad vettpidavast kihist kõrgemal, määratakse nende vahekaugus A. Kostjakovi valemiga:

$$h-z=\frac{pE}{2{,}73\,k}\log\left(\frac{E}{d}\right)\ (\text{m}), \qquad (8\text{-}15)$$

milles d — dreeni diameeter (m); teiste tegurite tähendus on endine.

Dreeni arvutuslik (maksimaalne) vooluhulk (Q) määratakse valemiga

$$Q=p\,l\,E\ (\text{m}^3/\text{ööpäevas}) \qquad (8\text{-}16)$$

ehk

$$Q=0{,}0116\,p\,l\,E\ (\text{l/sek}), \qquad (8\text{-}17)$$

milles l — dreeni pikkus (m).

§ 8-8. SOODE KUIVENDAMINE TURBA TOOTMISEKS

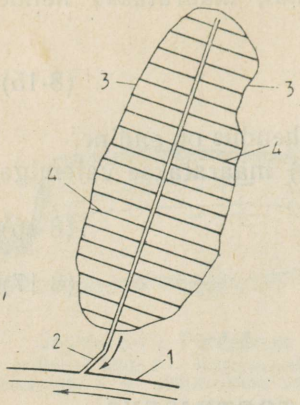
Soode kuivendamise eesmärgiks turba tootmisel on soodsate tingimuste loomine nii toorturba tootmiseks kui ka selle kuivatamiseks. Kuivendamata turvas sisaldab tavaliselt 85...98% vett, kuivainet seega 2...15% (kaalu järgi). Pärast soo kuivendamist sisaldab turvas kõrgsoos keskmiselt 86...88% ning madalsoos 80...85% vett. Õhukuivas turbas on aga vett vaid ca 25...30% ja seega kuivainet 70...75% (kaalu järgi). Ühe m^3 õhukuiva turba saamiseks läheb vaja tavaliselt 3...4 m^3 toorturvast. Kuivendamise tõttu suureneb turbalasundi kandevõime sel määral, et sool võivad liikuda ka rasked turbatootmise masinad. Mida kuivem on soo pind, seda kiiremini ja paremini kuivab turbamass kuivatusväljadel.

Kuivendusvõrk koosneb detailvõrgust (kuivenduskraavid ja mutt- või piludreenid), põhivõrgust (peakraav, kogujakraavid, karjäärkraavid) ning piirdevõrgust (piirdekraavid). Kuivendusvõrgu veejuhtmete paigutus maastikul reljeefi suhtes on analoogiline nende paigutusega põllumajanduslikkude maade kuivendamisel. Soode suhteliselt tasase reljeefi tõttu on veejuhtmete otstarbekohane paigutus kuivendusvõrgu loomisel kergemini lahendatav kui mineraalmaadel. Peakraav suunatakse soo aluspõhja madalamat kohta mööda võimalikult otsejoones veevastuvõtjasse. Koguja- ja karjäärkraavid paiknevad reeglipäraselt risti peakraaviga või viimase puudumisel suubuvad otse veevastuvõtjasse; detailvõrgu veejuhtmed suunatakse terava nurga all horisontaalide suhtes ning võimalikult risti koguja- või karjäärkraaviga. Peakraavi sügavus peab olema selline, et see võimaldaks soost toota kogu tootmiskõlbliku turbamassi ning kuivendaks ka soo põhja sel määral, et seda saab võtta põllumajanduslikule kasutusele.

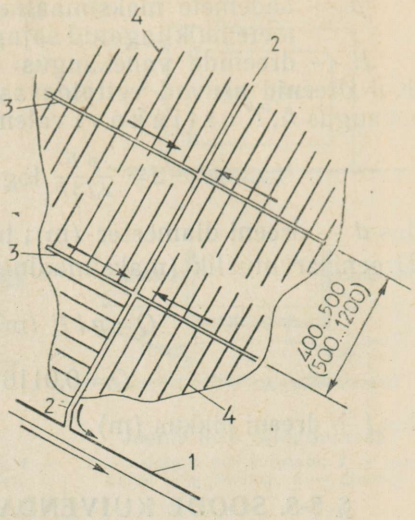
Sõltuvalt turbalasundi tüsedusest ning lagundumisastmest toimub põhivõrgu veejuhtmete kaevamine kas korraga kogu sügavuses või siis viiakse esmalt läbi nn. eelkuivendus ning hiljem vastavalt vajadusele süvendatakse veejuhtmeid. Eelkuivendus toimub 2...4 aastat enne turba tootmise algust. Detailvõrgu veejuhtmeid süvendatakse jooksvalt vastavalt vajadusele.

Joonisel 8-17 on esitatud väiksema pikerguse kujuga sooala kuivendusvõrk, mis koosneb ainult peakraavist ning kuivenduskraavidest (või dreenidest). Joonis 8-18 kujutab kuivendusvõrku suuremal soomassiivil.

Kuivendusvõrgu koosseis ning kraavide vahekaugused sõltuvad suurel määral turba tootmise viisist. Praegusel ajal toodetakse turvast peamiselt kolmel viisil: a) ekskavaatorturba, b) freesturba ja c) hüdroturba.

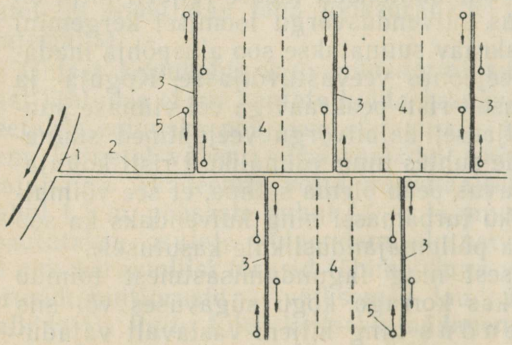


Joonis 8-17. Kuivendusvõrk väiksemal sool:
1 — veevastuvõtja; *2* — peakraav; *3* — soopiir; *4* — kuivenduskraavid (dreenid).



Joonis 8-18. Suurema soomassiivi kuivendusvõrk:
1 — veevastuvõtja; *2* — peakraav; *3* — kogujakraav; *4* — kuivenduskraavid (dreenid).

näol. Väiksemas ulatuses toodetakse ka käsitsi — lõiketurvast. Ekskavaatorturba tootmine toimub karjäärides, kust masin kaevab turvast ning vormib sellest pätsid, mis seejärel laotakse kuivatusväljale kuivamiseks. Ka hüdroturvast toodetakse karjääriviisil, kuid erinevalt eelmisest purustatakse turbalasund tugeva veejoaga ning tekkinud turbamuda pumbatakse vastavatele kuivatusväljadele. Freesturba tootmine toimub pinnakihiliselt: kuivendatud soopind freesitakse õhukese kihina, peen turbapuru kuivab samas kohapeal ning kogutakse seejärel vallidesse ja aunadesse.



Joonis 8-19. Ekskavaatorite paigutus turba tootmisel:
1 — veevastuvõtja; *2* — peakraav; *3* — kogujakraav (karjäärkraav); *4* — kuivatusväli; *5* — ekskavaator.

Turba tootmisel ekskavaatoritega paigutatakse masinad tööle kogujakraavi või karjäärkraavi mõlemale kaldale, vahekaugusega 500 ... 900 m (vt. joon. 8-19). Väiksemal soomassiivil, kus kogujakraavid puuduvad, asuvad masinad peakraavi (karjäärkraavi) kaldal. Vahekaugused karjäärkraavide vahel (E) määratakse sõltuvalt tootmise tehnoloogilistest tingimustest ja aastate arvust N, mille jooksul kuivatusväljad naaberkarjääride vahel liituvad. Masinate edasi-tagasi käigu puhul $E = 4aN + 2b + c$, kus a — karjääri laius masina ühekordse käigu puhul; b — kuivatusvälja laius ühe masina jaoks; c — tee laius kahe karjääri vahel. Tavaliselt $E = 500 \ldots 1200$ m. Kuivatusvälja laius $b = 7{,}5\ a\ h$, kus h — karjääri sügavus (m).

Freesturba tootmisel on kuivendusvõrgu skeem tavaline (vt. joon. 8-17 ja 8-18).

Hüdroturba tootmisel on kuivendusvõrk mõnes suhtes erinev. Kogujakraavide vahe (500 või 600 m) sõltub siin hüdroturbaagregaadi (kraana) tüübist. Nende kraavide vahel kulgevad nn. sesoonikraavid, mille kaldal liigub hüdroturbaagregaat. Kuivatusvälja kuivendusvõrk on samasugune kui freesturba puhul; detailvõrk peab olema siin kinnine (mutt- või piludrenaaž).

Kuivendusnorm pinnakihilisel turbatootmisel (freesturvas) ning kuivatusväljadel peab olema vähemalt 0,6 ... 0,7 m. Ekskavaatorturba tootmisel võib põhjavesi ulatuda kuni 0,6 m üle karjääri põhja. Peakraavi dimensioonid määratakse vesikonna suuruse puhul üle 3,0 km² hüdraulilise arvutuse teel; väiksema vesikonna puhul aga konstruktiivsetel kaalutlustel.

Tabel 8-2

Veejuhtmete konstruktiivsed mõõtmed ja vahekaugused soode kuivendamisel turba tootmiseks

Veejuhtmete nimetus	Kraavi põhja laius (m)	Kraavide ja dreenide sügavus *H* ning vahekaugus *E* (meetrites)							
		Freesturba tootmise väljad		Hüdroturba tootmise väljad		Hüdroturba kuivatusväljad		Ekskavaatorturba karjäärid ja kuivatusväljad	
		H	*E*	*H*	*E*	*H*	*E*	*H*	*E*
Dreenid kõrg- ja siirdesoos	—	1,3 ... 1,5	7 ... 8	—	—	0,9	7 ... 8	—	—
Dreenid madalsoos	—	1,3 ... 1,5	8 ... 10	—	—	0,9	8 ... 10	—	—
Kuivenduskraavid kõrg- ja siirdesoos	0,3	1,2 ... 1,4	20	—	—	1,0	30	1,0 ... 1,2	30 ... 40
Kuivenduskraavid madalsoos	0,3	1,2 ... 1,4	40	—	—	1,0	30	1,0 ... 1,2	50
Sesoonikraavid	0,5	—	—	1,4 ... 1,5	60 ja 65 (60 ja 80)**	—	—	—	—
Kogujakraavid	0,5	2,3 ... 2,5	400 ... 500 (200 .. 300)*	2,0 ... 3,0	500 ... 600	1,8 ... 2,0	500 (250)**	—	—
Karjäärkraavid	0,5	—	—	—	—	—	—	1,8 ... 2,0	Tehnoloogilise skeemi kohaselt
Piirdekraavid	⩾ 0,5	1,0 ... 1,5	—	1,0 ... 1,5	—	1,0 ... 1,5	—	1,0 ... 1,5	
Peakraavid	⩾ 0,5	sügavus sõltuvalt kuivenduse sügavusest 2 ... 5 m							

* Drenaaži puhul.
** Sõltuvalt hüdroturbaagregaadi tüübist.

KIRJANDUST

1. Odinš, J. Lauksaimniecibas zemju nosusinašana. Riga, 1957.
2. Sisevete Uurimise aastaraamat 1933—1935, A. Velneri toimetusel. Tallinn, 1937.
3. Абрамов С. К. Борьба с подтоплением промышленных площадок. Москва, 1949.
4. Абрамов С. К., Найфельд Л. Р., Скиргелло О. Б. Дренаж промышленных площадок и городских территорий. Москва, 1954.
5. Гейтман Б. Г. и Писарьков Х. А. Осушение с/х. земель. Ленинград, 1955.
6. Зиза А. А. Торф в сельском хозяйстве. Москва, 1953.
7. Костяков А. Н. Основы мелиораций. Москва, 1960.
8. Мелиорация и с/х. использование пойменных земель. Под ред. А. Н. Костякова и К. Т. Липатова. Москва, 1957.
9. Розин В. А. Мелиорация с основами с/х. водоснабжения. Ленинград, 1954.
10. Справочная книжка торфяника. Москва, 1955.
11. Справочник по торфу. Москва, 1954.
12. Черкасов А. А. Мелиорация и с/х. водоснабжение. Москва, 1958.
13. Шаблинский В. В. Осушение торфяных месторождений. Москва, 1953.
14. Шилейка В. Ю. Повреждения закрытого дренажа из гончарных и бетонных труб и мероприятия по их предупреждению и устранению. Автореферат, Каунас, 1959.

ÜHEKSAS PEATÜKK

METSAMAADE KUIVENDAMINE

§ 9-1. METSAMAADE KUIVENDAMISE ÜLESANNE

Eesti NSV riigimetsafondi üldpindalast (ca 1,2 milj. ha) moodustavad liigniisked metsamaad ja sood ligi 50%.

Liigniiskete metsamaade tootlikkus on väike ja puidu kvaliteet halb. Raieküpse puistu keskmine juurdekasv on 1 . . . 2 tm. Üle 320 000 ha riigimetsa liigniisketest maadest moodustavad sood, mis praktiliselt ei anna üldse puidutoodangut.

Kuivendamise peamiseks ülesandeks on liigniiskete metsade tootlikkuse suurendamine ja soode tootvaks muutmine. Peale selle kuivendamisega: a) soodustatakse metsade majandamist ja ekspluateerimist; b) parandatakse metsade sanitaarset seisundit ning nende sanitaarhügieenilisi omadusi ja c) kergendatakse tulekaitset.

§ 9-2. METSA-KASVUKOHATÜÜBID

Metsamaade melioratsioonifondiks loetakse kogu seda metsafondi kuuluvat maa-ala, mis liigniiskuse tõttu ei anna oma mullastiku toogivõimele vastavat puidutoodangut (kaasa arvatud metsastumisele kuuluvad sood).

Metsamaade melioratsioonifond koosneb väga erinevate kasvutingimustega maa-aladest. Nende paremaks iseloomustamiseks on metsamaad jaotatud looduslike põhiomaduste järgi kasvukohatüüpidesse, mille juures on arvestatud ka puistute välisilmet ja tootlikkust ning metsade majandamist.

Kasvukohatüübid on kujunenud põhimiseks lähtealuseks metsamaade kuivendusobjektide valikul, väliuurimistööde organiseerimisel, kuivendusvõrgu projekteerimisel ja metsade majandamisel.

Sellest lähtudes esitatakse allpool üksikasjalisi andmeid Eesti metsamaade melioratsioonifondis esinevate metsa-kasvukohatüüpide kohta ja antakse nende iseloomustus, mis võimaldab otsustada metsamaade kuivendamise vajaduse ja efektiivsuse üle.

Esitatud metsa-kasvukohatüübid on põhiliselt välja töötanud August Karu.

Tabel 9-1

Metsa-kasvukohatüüpide koondkokkuvõte

Kasvukohatüübi nimetus ja lühend (...)	Metsatüüp	Boniteedi-klass	Pogrebn-jaki järgi *	Kuivendamiskõlblik-kus ja eeldatav boniteedi tõus
1	2	3	4	5
1. *Liigniisketel mineraalmuldadel kasvavad metsad*				
a) Paramatel muldadel				
1. Angervaksa (an)	Angervaksa- -kuusik -kaasik -haavik -lepik	II—III	C_{3-4}	Keskm. kuni halb (tinglik) Kuni pool boniteedi-(bon.) klassi (kl.)
2. Soostuv sõnajala (ssj)	Soostuv sõnajala- -mustlepik -saarik -kuusik -kaasik	II	D_4	Kuivendamine tinglik Kuni pool bon. kl.
b) Halvematel muldadel				
3. Rabastuv kanarbiku (rkn)	Rabastuv kanarbiku- -männik	(IV) V—Va	A_{3-4}	Kuivendamine tinglik, halb Kuni pool bon. kl.
4. Karusambla (kr)	Karusambla- -männik -kuusik -kaasik	IV (III)	B_{3-4}	Keskmine Kuni pool bon. kl.
5. Osja-tarna (otr)	Osja-tarna- -männik -kuusik -kaasik	IV—V (Va)	B_{3-4}	Keskmine Kuni üks bon. kl.
6. Soostuv luite (slt)	Soostuv luite- -männik -kaasik -kuusik	IV—Va	A_{3-4}	Keskmine, halb Kuni üks bon. kl.
7. Lubikaloo (ll)	Lubikaloo- -männik -kuusik -kaasik -tammik	(IV) V, Va	B_{3-5}	Halb Kuni üks bon. kl.
2. *Kuivendamata soomuldadel kasvavad metsad* **				
a) Paramatel soomuldadel				
8. Lodu (ld)	Lodu- -mustlepik -kuusik -kaasik	(II) III—IV	D_5	Väga hea (suur), mustlepikute korral tinglik Poolteist kuni kaks bon. kl.
9. Madalsoo (mds)	Madalsoo- -kaasik (mustlepik)	IV—Va	C_5	Väga hea Kuni kaks bon. kl.
10. Siirdesoo (ss)	Siirdesoo- -männik -kaasik	V—Va (IV)	B_5	Väga hea Kuni kaks bon. kl.

(Tabeli 9-1 järg)

1	2	3	4	5
b) Halvematel soomuldadel				
11. Siirderaba (sr)	Siirderaba- -männik	V—Va	A_5	Keskmine, halb Üks kuni poolteist bon. kl.
12. Raba (rb)	Raba- -männik	V—Va	A_5	Halb Üks bon. kl.
3. *Kuivendatud soomuldadel kasvavad metsad* ***				
13. Kõduturbasoo (kts)	Kõduturbasoo- -männik -kuusik -kaasik	(I) II—IV	C_{2-3} B_{3-4}	Kuivendamine tinglik Üks bon. kl.
4. *Sood*				
a) Paramatel soomuldadel				
14. Madalsoo (ma)	Boniteeritav puistu puudub	Alaboni-teediline	×	Hea, väga hea Kuni kolm ja pool bon. kl.
15. Siirdesoo (si)	— „ —	— „ —	×	Hea Kuni kolm bon. kl.
b) Halvematel soomuldadel				
16. Siirderaba (srb)	Boniteeritav puistu puudub	Alaboni-teediline	×	Keskmine, halb Kuni kaks bon. kl.
17. Raba (ra)	— „ —	— „ —	×	Halb, väga halb Kuni üks bon. kl.

* Pogrebnjaki järgi näitavad A, B, C ja D pinnase viljakust ning 1, 2, 3, 4 ja 5 niiskusastet (A — väga madal, B — madal, C — keskmine, D — kõrge, 1 — kuiv, 2 — värske, 3 — niiske, 4 — märg ja 5 — vesine).

** Siia kuuluvad ka hiljuti kuivendatud alad, kus kuivenduse mõju ei ole veel märgatav.

*** Kuivenduse mõju on nii suur, et algtüüp on tundmatu või väga raskesti tuntav. Kui teatav tüüp on kuivendatud, aga lähtetüüp pole märgatavalt muutunud, jääb tüüp samaks. Kuivenduse tähistamiseks märgitakse tüübi lühendi ette täht «K».

Antud kuivendustüübis harvemini esinev boniteediklass on näidatud sulgudes.

Tinglikult osutub vajalikuks kuivendada ka teisi kasvukohatüüpe, eriti mustika-kasvukohatüüpi (ms): mustika-männik, -kuusik, -kaasik, -haavik; B_{2-3}; (I)II—III bon.

Antud kasvukohatüüpe võib diferentseerida veel vajaduse korral (mullastiku järgi).

Näiteid metsa-kasvukohatüüpidest



Foto 9-1. Angervaksa-kasvukohatüüp (an)



Foto 9-2. Soostuv luitekasvukohatüüp (slt)



Foto 9-3. Lodu-kasvukohatüüp (ld)



Foto 9-4. Siirdesoo-kasvukohatüüp (ss)



Foto 9-5. Madalsoo-kasvukohatüüp (ma)



Foto 9-6. Raba-kasvukohatüüp (ra)

Fotod A. Katus

§ 9-3. LIIGNIISKETEL MINERAALMULDADEL KASVAVAD METSAD

1. Angervaksa-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Angervaksakuusik, -kaasik, -haavik ja -lepik. Boniteet II ja III.

Puistud. Peamiselt segapuistud, koosseisus kuusk, kask, haab ja vähesel määral valge lepp, sanglepp, pärn, saar.

Reljeef. Madala asendiga, tasane või väikese kallakuga. Mikroreljeef mätlik.

Muld. Niisked ja märjad leetunud liivsavi- ja saviliivmullad. Pealmine horisont sageli toorhuumuslik (A_1A_0 10...25 cm). Põhjavesi kõrgel, kuid hea liikuvusega. Niiske, märg kuni vesine.

Alustaimestik. Rohurinne liigirikas, keskmise lopsakusega, domineerib angervaks. Hajusalt esinevad laiuv sõnajalg, sookastik jt. Samblarinne hõre, kohati puudub. Esinevad tüviksammal (*Climacium dendroides*), metsakäharik (*Rhytidiadelphus triquetrus*) ja kohati patjadena ka rabasammal.

Alusmets. Hõre. Esinevad paju, pihlakas, vähem mage sõstar.

Majandamine. Põhiliselt kuusepuistute arendamine. Metsa uuendumine toimub peamiselt looduslikult, ent sageli lehtpuudega (kasega). Kunstlikul uuendamisel kultiveeritakse kuusega. Kuivendamistulemused väikesed. Kuivendatakse peamiselt raiestike metsastamise kiirendamiseks ja soostumise pidurdamiseks. Teedevõrgu rajamine. Kasvukohatüüpi jagatakse muldade järgi: 1) an_1 — liivsavimullad; 2) an_2 — saviliivmullad.

2. Soostuv sõnajala-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Soostuv sõnajala-sanglepik, -saarik, -kuusik, -kaasik. Boniteet II.

Puistud. Domineerivad sanglepikud ja saarikud. Vähesel määral ka kaasikud.

Reljeef. Tasane. Madala asendiga, sageli moldorud.

Muld. Kamar-glei- või turvastunud (kõdu-) kamar-gleimullad karbonaatsel või karbonaadivaesel liivsavil, savil (turvastunud kamarmullad). A_0=horisont 20...30 cm. Põhjavesi on pinna lähedal. Perioodilised üleujutused. Märg.

Alustaimestik. Lopsakas ja liigirikas. Esinevad sõnajalad, angervaks, osjad, salu-tähthein, lepiklill, koldnõges, naat, vaarikas jt. Sammalkate hõre või puudub.

Alusmets. Keskmise tihedusega. Esinevad pihlakas, toomingas, sõstrad.

Majandamine. Põhiliselt sanglepikute ja saarikute arendamine. Uuendumine toimub looduslikult, puuliikide vahelduse ülesandel ka kunstlikult (kuusk). Kuivendamine tinglik. Kuuse enamusega puistute saamiseks on kuivendus tarvilik. Lehtpuu enamusega puistute kuivendamine ei ole vajalik, vanemate ja keskealiste sanglepikute kuivendamine annab isegi negatiivseid tagajärgi. Kuivendamisel piirdutakse peamiselt piirdekraavidega. Suurema tähtsusega on teedevõrgu rajamine.

3. Rabastuv kanarbiku-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Esineb rabastuv kanarbikumännik. Boniteet (IV), V ja V_a.

Puistud. Vähese tootlikkusega hõredad männikud. Koosseisus võib

esineda ka kaske, harvem kuuske. Puud on halvasti laasunud, tihti kõveratüvelised.

Reljeef. Tasane.

Muld. Turvastunud leet-gleimullad (turvastunud leedemullad). A_0 on 10...20 (30) cm tüsedune rabaturbakiht, millele järgneb vahetult tüse valge leethorisont (A_2). Sisseuhtehorisondis esineb nõrgliiv või nõrgkivi. Põhjavesi seisev. Niiske kuni märg.

Alustaimestik. Domineerib kanarbik, millega kaasnevad sinikas ja sookail. Samblakate tüse, peamiselt esinevad rabasamblad.

Alusmets. Hõre või puudub. Paakspuu, kadakas, paju.

Majandamine. Männipuistu kasvatamine. Uuendub peamiselt looduslikult. Kuivendamine tinglik. Nõrgliiva või nõrgkivi tõttu on kuivendamise efektiivsus väga väike ja ekspluateeritavates metsades kuivendatakse see kasvukohatüüp II järjekorras. Rohelise vööndi ja kuurordimetsades rajatakse tihe kraavivõrk ja raiestike metsastamiseks tuleb lisaks nõrgliiva või nõrgkivvi ulatuv sügav künd.

4. Karusambla-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Karusamblamännik, -kuusik, -kaasik. Boniteet (III), IV.

Puistud. Peamiselt männi ja kuuse ülekaaluga puistud. Koosseisus kask. Männid sirgetüvelised ja võrdlemisi hästi laasunud. Kuused sageli halvasti laasunud. Sookask kõveratüveline.

Reljeef. Tasane. Madala asendiga. Mikroreljeef mätlik.

Muld. Märjad leetunud liivsavi- ja savimullad, harva saviliivad ja mitmesuguse lõimisega turvastunud leedemullad. A_0 — halvasti lagundunud kuni 30 cm tüsedune turvas. Põhjavesi nõrgalt liikuv ja pinnalähedane. Niiske kuni märg.

Alustaimestik. Liigivaene. Hõredalt mustikat, pohla, vähem sinikat, sookailu, kanarbikku. Samblarinne tüse ja kattev. Tüüpiline on karusammal ja patjadena (laikudena) rabasammal. Hea liitusega puistus karusammal puudub.

Alusmets. Hõre või puudub. Paju, paakspuu.

Majandamine. Uuendumine looduslik ja kunstlik. Kuivenduse efektiivsus väike. Tähtsust omab kuivendamine raiestike metsastumisel.

5. Osja-tarna-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Osja-tarnamännik, -kuusik ja -kaasik. Boniteet IV ja V (Va).

Puistud. Hõredad, puud halvasti laasunud. Domineerivad segapuistud. Parema kasvuga mänd, halvemaga kuusk, kask kõveratüveline, peamiselt sookask.

Reljeef. Tasane, madala asendiga, kohati küllaldase kaldega. Mikroreljeef enamasti mätlik.

Muld. Peamiselt kamar-glei- ja turvastunud (kõdu-) kamar-gleimullad settelisel savil või moreenil (märjad turvastunud kamarmullad). Pealmise horisondi moodustab kuni 30 cm tüsedune turbakiht. Põhjavesi on enamasti kõrgel, nõrga liikuvusega. Soostumist põhjustab peamiselt pinnavesi. Põuastel suvedel kuivavad turbata alad pragunemiseni. Kevadel, sügisel ja vihmaperioodidel esineb üleujutisi. Niiske kuni märg.

Alustaimestik. Liigivaene, domineerivad tarnad, osjad, sookastik jt. Sammaldest esinevad rabasamblad ja laanik (*Hylocomium proliferum*).

Alusmets. Hõre. Paakspuu, tuhkurpaju.

Majandamine. Männi- ja kuusepuistute kasvatamine. Uuendamine looduslikult ja kunstlikult. Kuivendus vajalik peamiselt raiestike metsastamisel. Keskealistes puistutes on kuivendamise efektiivsus väike.

6. Soostuv luite-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Soostuv luitemännik ja -kaasik, väga harva -kuusik. Boniteet IV...Va.

Puistud. Hõredad, puud halvasti laasunud. Kask on kõveratüveline. Antud kasvukohatüüpi kuuluvad metsad levivad peamiselt saartel ja Eesti NSV lääne- ja põhjaosas.

Reljeef. Madala asendiga, tasane.

Muld. Turvastunud leetunud liivmullad. Peamiselt luidete madalamad osad, endised merepõhjad ja mererannikuliivad. Põhjavesi ulatub maapinnani. Niiske kuni märg.

Alustaimestik. Tarnad ja kõrrelised.

Alusmets. Hõre või puudub. Paakspuu, kadakas.

Majandamine. Männipuistute kasvatamine. Uuendamine looduslikult ja kunstlikult. Kuivendamine tinglik. Märjas peenes liivas varisevad kraavid kokku — toime väike. Jämedamas liivas on kraavid püsivamad ja hõre kraavivõrk annab keskmisi tulemusi.

7. Lubikaloo-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Lubikaloomännikud, harva ka -kaasikud, -kuusikud, väga harva -tammikud ja -saarikud. Boniteet (IV) V...Va.

Puistud. Hõredad, puud halvasti laasunud. Kask on kõveratüveline. Madalamates sulglohkudes esineb koosseisus ka tamme ja saart.

Reljeef. Tasane, madalamad osad loopealsetel. Sulglohud, mistõttu esineb üleujutusi. Mikroreljeef mätlik.

Muld. Märjad paepealsed mullad. Keemine 3...10 cm sügavusel. Kevadel, sügisel ja vihmaperioodidel märg või vesine, esinevad üleujutused. Suvel võib muutuda kuivaks.

Alustaimestik. Liigivaene, ebaühtlane. Domineerib lubikas, vähem vesihaljast tarna, kohati ka punanuppu. Samblakate ebaühtlane, katkendlik.

Alusmets. Hõre. Kadakas.

Majandamine. Männipuistute kasvatamine. Looduslik uuendumine puudulik, paremaid tulemusi annab kultiveerimine. Kuivenduse toime väike. Piirduda piirde- ja üksikute kuivenduskraavide kaevamisega. Kuivendus tähtis peamiselt raiestike ja lagendike metsastamisel.

§ 9-4. KUIVENDAMATA SOOMULDADEL KASVAVAD METSAD

Siia kuuluvad ka hiljuti kuivendatud metsamaad, kus aga kuivendamise mõju ei ole veel eriti märgata. Antud rühma kuuluvad boniteeritavad puistud ja metsamaad, kus turbakihi tüsedus on üle 30 cm. Paremate kasvukohatüüpidel esinevad peamiselt lehtpuud. III...V boniteedi ja halvemate kasvukohatüüpidel peamiselt männi ülekaaluga V...Va boniteedi puistud. Kuivendamine annab efektiivseid tulemusi. Tõuseb puistute boniteet ja suureneb tunduvalt metsa took. Pidurdub soostumine, paraneb metsade majandamine ja ekspluateerimine.

1 (8). Lodu-kasvukohatüüp

Metsatüübid. II ja III boniteedi lodu-sanglepik, III ja IV boniteedi lodukaasik ja lodukuusik.

Puistud. Hästi lagundunud turbal domineerib II boniteedi sanglepik. Kui koosseisus esinevad sookask ja kuusk, siis puistu boniteet on tavaliselt III. Esineb ka III boniteedi lodukuusikuid ja -kaasikuid. Rannikualadel moodustab sanglepp segus männiga IV boniteedi puistuid. Lodumetsad esinevad tavaliselt kitsaste ribadena soomassiivide ja mineraalmaa vahel. Samuti esineb lodumetsi allikalise toitumusega muldadel.

Reljeef. Tasane või väikse kaldega. Moldorud.

Muld. Tavaliselt kõdu-glei-madalsoomuld (õhuke hästi lagundunud madalsooturvas). Turbakihi tüsedus 30...60 cm, harva suurem. Esinevad perioodilised üleujutused, põhjavesi on hästi liikuv. Märg, vesine.

Alustaimestik. Liigirikas ja lopsakas. Seakapsas, angervaks, sõnajalad, nõges. Samblakate hõre, kohati puudub. Vähem lagundunud turbal on alustaimestik liigivaesem. Esinevad tarnad, sõnajalad, mustikas, lillakas. Samblakate tihe; esinevad laanik (*Hylocomium proliferum*), palusammal (*Pleurozium Schreberi*) jt. metsasamblad.

Alusmets. Hõre kuni keskmise tihedusega. Hästi lagundunud turbal domineerib toomingas, vähem lagundunud turbal ka paakspuu.

Majandamine. Uuendumine looduslikult ja kunstlikult. Kuivendamine on efektiivsem lodukuusikutes ja -kaasikutes. Viimastes tuleb sookask asendada arukasega. Lodu-sanglepikute kuivendamine on tinglik. Puuliikide vahelduse soovil kuuse kasuks, samuti raiestike ja noorendike korral annab kuivendamine häid tulemusi. Keskealiste ja vanemate lodusanglepikute kuivendamine võib anda negatiivseid tagajärgi. Kuivendamisel tuleb suurendada saare osatähtsust.

2 (9). Madalsoo-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Domineerib madalsookaasik, bonitеet IV (V ja V_a). Kohati ka IV ja V boniteedi madalsoo-sanglepik.

Puistud. Hõredad, domineerib sookask. Puud kõveratüvelised. Koosseisus vähesel määral ka kuusk, sanglepp ja mänd.

Reljeef. Tasane. Mikroreljeef mätlik. Esinevad üleujutused. Pinnavesi liikuv, põhjavee liikuvus nõrk.

Muld. Turvas- ja turvas-kõdu-madalsoomuld (sügav halvasti kuni keskmiselt lagundunud madalsooturvas), vähem esineb õhukest keskmiselt lagundunud madalsooturvast. Turba tüsedus 1...1,5 m (kõikumine 0,3...3,0 m). Vesine kuni märg.

Alustaimestik. Liigivaene. Esinevad peamiselt tarnad, sookastik, soo-sõnajalg, kohati ubaleht, osjad. Samblakate hõre.

Alusmets. Hõre kuni keskmise tihedusega. Pajud, paakspuu.

Majandamine. Uuendumine looduslik. Kuivendus vajalik, annab efektiivseid tulemusi. Pärast kuivendamist asendada sookask ja kohati esinev sanglepp arukase ja kuusega.

3 (10). Siirdesoo-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Domineerivad siirdesoomännikud, harvem siirdesookaasikud. Boniteet V ja V_a (IV).

Puistud. Domineerivad männikud segus sookase ja harva kuusega. Esineb ka sookasepuistuid segus männi ja kuusega.

Reljeef. Madala asendiga, tasane, mikroreljeef sageli mätlik.

M u l d. Esinevad siirdesoomullad. Keskmiselt lagundunud (20 . . . 40%) madalsooturbal lasub 30 . . . 40 cm paksune halvasti lagundunud rabaturvas. Üleujutused puuduvad või esinevad harva. Vee liikuvus nõrk.

A l u s t a i m e s t i k. Liigivaene. Esinevad madalsoo- ja rabataimed. Tarnad, soopihl, pilliroog, villpea, jõhvikas, sookail, sinikas. Samblakate tihe. Rabasambla kõrval esineb karusammalt ja teisi metsasamblaid (palusammal, laanik).

A l u s m e t s. Hõre kuni keskmise tihedusega. Sagedamini esineb madal kask, paju, harvem paakspuu ja vaevakask.

M a j a n d a m i n e. Männipuistute kasvatamine. Uuendumine toimub looduslikult. Kuivendamine on vajalik, annab häid tulemusi. Efektiivsus väheneb madalsoomullal rabaturbakihi paksenemisega. Kuivendamise efektiivsus on suurem männikutes, sookaasikutes väike. Kuivendatud aladel tuleb sookask asendada okaspuudega (kuusk, mänd).

4 (11). Siirderaba-kasvukohatüüp

Vastab välisilmelt raba-kasvukohatüübile. Erineb viimasest peamiselt selle poolest, et mulla pealmise kihi moodustab 30 . . . 60 cm tüsedune rabasamblaturvas, mille all on madalsooturvas. Kuivendamistoime keskmine.

5 (12). Raba-kasvukohatüüp

M e t s a t ü ü b i d. Rabamännik. Boniteet V ja V_a.

P u i s t u d. Männikud, vähesel määral võib esineda koosseisus sookask. Puistud on hõredad, puud jändrikud ja halva laasuvusega.

R e l j e e f. Madala asendiga, tasane.

M u l d. Rabamullad (rabasamblaturvas). Turbakiht on tüse, pealmises osas halvasti lagundunud. Põhjavesi seisev, üleujutused puuduvad.

A l u s t a i m e s t i k. Esinevad tüüpilised rabataimed: sookail, sinikas, jõhvikas, hanevits, küüvits, huulhein jt. Samblakate on tüse, esinevad peamiselt rabasamblad.

A l u s m e t s. Puudub või esineb üksikult paju.

M a j a n d a m i n e. Männipuistute kasvatamine. Uuendumine toimub looduslikult. Kuivendamise tulemused on väikesed ja neid tavaliselt ei kuivendata või kuivendatakse teises järjekorras.

M ä r k u s e d.

a) Siirderabametsi esineb looduses suhteliselt vähe ja nende majandamine sarnaneb rabametsade majandamisega, seepärast tegelikus töös neid ei eraldata ja nad tüpiseeritakse rabametsade hulka.

b) Kirjeldustes ei esitata kanarbiku-sinika-rabamännikuid. Need on nn. nõmmrabamännikud, mis on tekkinud nõmmemetsade soostumisel. Kuivenduse efektiivsus on neil veelgi väiksem kui raba-kasvukohatüübil ja vajab erimelioratsiooni. Et nõmmrabamännikuid tavaliselt ei kuivendata, siis puudub vajadus ka nende eraldamiseks. Rohelise vööndi ja kuurordimetsade kuivendamisel tuleb suuremad kanarbiku-sinika-rabamännikud eraldada. Kui rabamulla tüsedus on alla 50 cm, siis võib nimetatud metsi arvata ka rabastuvasse kanarbiku-kasvukohatüüpi, kus kuivendamisviis on analoogiline.

§ 9-5. KUIVENDATUD SOOMULDADEL KASVAVAD METSAD

Kuivendamine soodustab turba lagundumist ja turbalasundil moodustub kõduturbakiht, suureneb puistu tootlikkus ja muutub metsatüüp. Algtüüp on tundmatu või väga raskesti tuntav juba mõne aastakümne pärast. Taimestik, pinnas on muutunud ja metsade majandamisel tuleb rakendada teisi metsamajanduslikke võtteid kui algkasvukohatüübi metsade majandamisel. Taolised soode ja soometsade alad, kus kuivendamise mõju on oluliselt märgatav, on ühendatud ühte kasvukohatüüpi.

1 (13). Kõduturbasoo-kasvukohatüüp

Metsatüübid. Kõduturbasoomännik ja -kuusik, harvem -kaasik. Boniteet II ... IV (I).

Puistud. Domineerib mänd. Männi ja kuuse kasv on parem kui kasel. Intensiivselt kuivendatud aladel moodustab ka arukask häid puistuid.

Reljeef. Tasane. Madala asendiga. Mikroreljeef sageli väga mätlik.

Muld. Hästi lagundunud madalsoo- ja siirdesooturbad. Niiske kuni värske, harva märg.

Alustaimestik. Varieeruv, sõltuv kuivenduse kestusest ja turba iseloomust. Enamasti on alustaimestik liigirikas ja lopsakas. Esinevad mustikas, sõnajalad, jänesekapsas, vaarikas, nõges jt.

Alusmets. Varieeruv. Esinevad paakspuu, pihlakas, paju, lodjapuu, toomingas jt.

Majandamine. Kuusikute ja männikute kasvatamine. Uuendumine peamiselt kultiveerimisega.

Kuivendamisel tuleb olemasolev kraavivõrk korrastada ja rajada vajaduse korral täiendavaid kraave. Mainitud alad on headeks kuivenduse mõju uurimise objektideks.

§ 9-6. SOOD

Antud rühma kuuluvad üle 30 cm tüseduse turbakihiga mullad, kus puudub boniteeritav puistu või eeldus selle tekkimiseks kuivendamiseta.

Kuivendamise tulemus oleneb mullast, turba liigist, sügavusest, botaanilisest koostisest ja lagundumisastmest. Olenevalt eeltoodust võib efektiivsus olla väga hea kuni halb.

1 (14). Madalsoo-kasvukohatüüp

Boniteeritav puurinne puudub. Madalsoo on lage või esinevad varieeruva tihedusega pajud, paakspuud ja kidurad sookased.

Reljeef. Tasane, madala asendiga.

Muld. Domineerivalt esineb turvas-kõdu-glei-madalsoomuld (õhuke keskmiselt lagundunud madalsooturvas, harvem esineb hästi lagundunud madalsooturvast). Põhjavesi tõuseb maapinnani, kuni keskmise liikuvusega. Esineb pinnaveega üleujutusi. Põhja- kui ka pinnavesi on rikas mineraalsete taimetoitainete poolest.

Alustaimestik. Liigivaene. Esinevad tarnad, ubaleht, pilliroog, osjad, soopihl jt. Sammaldest lehtsamblad, rabasamblad peaaegu puuduvad.

Majandamine. Kuivendamine annab häid tulemusi. Kuivendatud rohusood tuleb tavaliselt kultiveerida okaspuuga, hõredalt esinenud sookased likvideeritakse. Kuivendatud madalsood uuenevad looduslikult peamiselt sookasega.

2 (15). Siirdesoo-kasvukohatüüp

Rabaturba tüsedus alla 30 cm. Boniteeritav puurinne puudub. Varieeruva tihedusega kidurad männid, kased, paakspuud, pajud.

Reljeef. Tasane. Mikroreljeef kohati tugevalt lamemätlik.

Muld. Siirdesoo- või madalsoomullad. Turvas enamasti halvasti lagundunud. Siirdesoo algstaadiumis esineb rabasammal mätastena, mis laienedes ühinevad ja moodustavad kuni 30 cm tüseduse rabasamblakihi. Põhjavesi on kõrgel, vähe liikuv. Üleujutused esinevad harva, peamiselt rabasamblamätaste vahel.

Alustaimestik. Liigivaene. Esinevad madalsoo- ja ka rabataimed: tarnad, pilliroog, soopihl, tuppvillpea. Sammaldest esinevad peamiselt rabasamblad.

Majandamine. Kuivendatud siirdesood metsastuvad rahuldavalt männi ja kasega. Teataval määral looduslikku uuendumist kultiveerimisega kaasa aidata. Kuivendamine annab häid tulemusi. Kuivendamise efektiivsus väheneb rabaturbalasundi paksenemisega.

3 (16). Siirderaba-kasvukohatüüp

Rabaturbakiht 30 . . . 60 cm. Boniteeritav puurinne puudub. Esineb kidur mänd, millele kaasneb piirdealadel kask.

Reljeef. Tasane. Mikroreljeef kohati mätlik.

Muld. Esinevad siirdesoomullad. 30—60 cm paksuse rabasamblaturba kattekihiga, mis on halvasti lagundunud. Selle all paiknev madalsooturvas on keskmiselt lagundunud.

Põhjavesi on seisev, üleujutused puuduvad. Üleminek atmosfääriveega toitumisele.

Alustaimestik. Liigivaene. Esinevad rabataimed, reliktina ka madalsootaimi: sookail, sinikas, murakas, soopihl, kanarbik, huulhein, jõhvikas. Ulatuvad välja pillirooladvad. Rabasamblad pideva kattena.

Majandamine. Kuivendamise efektiivsus on väike; kuivendatakse II järjekorras. Rohelise vööndi ja kuurordimetsades paiknevad siirderabad kuivendatakse I järjekorras.

3 (17). Raba-kasvukohatüüp

Boniteeritav puurinne puudub. Hõredalt esineb kidurat mändi.

Reljeef. Raba on kasvanud ümbruskonnast kõrgemaks, keskosa kuppeljas.

Muld. Rabamullad. Põhjavesi on seisev, üleujutused puuduvad. Atmosfääriveega toitumine.

Alustaimestik. Tüüpiline rabataimestik, rohkesti puhmalisi. Sookail, soopihl, murakas, kanarbik, jõhvikas, huulhein, kukemari.

Majandamine. Kuivendamise efektiivsus on väga väike ja neid ei kuivendata. Kui rabad asuvad väiksemate aladena (alla 50 . . . 100 ha) teiste kuivendatavate alade keskel, siis rabade kraavidega piiramise asemel kuivendatakse need koos massiiviga. Kuurordi ja rohelise vööndi metsades kuivendatakse ka suuremad rabad.

§ 9-7. KUIVENDUSE METSAMAJANDUSLIK EFEKTIIVSUS

1. KUIVENDUSE TOIME

Metsakuivendus erineb põllumajanduslike maade kuivendusest. Põllumajanduslikel maadel moodustab kuivendus tavaliselt ainult osa maaparandustööde komplektist, mis viiakse läbi parandatava maa toogivõime tõstmiseks; metsamaadel aga on kuivendamine peamiseks maaparanduslikuks abinõuks. Kuigi ka metsamaadel tuleb rakendada lisaks kuivendusele veel mõnesuguseid mullaharimise ja väetamise võtteid (mida mõnedes maades ka juba on heade tulemustega katsetatud), on selliseid abinõusid meil esialgu veel vähe kasutatud. (Järvamaa metsamajandi Väätsa metskonnas on katsekultuuride rajamisel kuivendatud siirdesoo suuremale pindalale pinnast ette valmistatud kündmise teel.) Tuleb panna suurt rõhku kuivendatud metsamaade metsastamisele ja puistute intensiivsemale majandamisele.

Kuivendamisega reguleeritakse veerežiimi, pidurdub soostumine, mille tõttu paranevad metsa kasvutingimused; olemasolevate puistute tootlikkus suureneb ja luuakse peamine alus soode muutmiseks tootvaks metsamaaks.

Uurimised näitavad, et väikese tootlikkusega soometsades suureneb intensiivse ja kestva kuivendamisega metsatook 2...3 korda. Parematel soo-kasvukohatüüpidel võib raieküpse puistu lõpptagavaraks kujuneda 200...300 tm puitu ha kohta, millele lisandub veel vahekasutusest saadav puiduhulk.

Kuivendamisega kiirendatakse tunduvalt puude kasvu, soodustatakse metsa looduslikku uuendumist ning kultiveerimist, mille tõttu lüheneb teatavate liikide kasvuaeg, tõuseb puistute täius, suureneb took, paraneb puistu liigiline koosseis ja väheneb 10...15 a. võrra raieküpsuseni jõudmiseks vajalik kasvuaeg. Ühtlasi paraneb ka tarbepuidu kvaliteet; puit on jämedam ja puistute suurema täiuse tõttu vähem okslik.

Kuivendamisega langeb põhjavee seis, pinnavesi kaob kiiresti, muutub liikuvaks, puud juurduvad sügavamalt ja puistute tuulekindlus suureneb. Selle käiguga kaasneb jällegi metsa toogi tõus.

Kuivendamine soodustab ka metsade majandamist ja ekspluateerimist, parandab tulekaitsetingimusi ja metsade sanitaarset seisundit.

Ühesuguse intensiivsusega kuivendamise efektiivsus sõltub peamiselt kasvukohatüübist, metsa vanusest, puuliigist, mullastikust, puistu boniteedist, koosseisust ja täiusest ning soostumise põhjustest.

2. SÕLTUVUS KASVUKOHATÜÜBIST

Kasvukohatüüp on kõige tähtsam metsakuivenduse efektiivsuse näitaja. Kuivenduse efektiivsuse järgi võib kasvukohatüüpe jagada 5 gruppi. Allpool antakse igas grupis kasvukohatüübid alaneva eeldatava lõppboniteedi järjekorras.

Igas grupis võib (alaboniteedilistel) soo-kasvukohatüüpidel pärast kuivendamist puistu keskmine lisajuurdekasv kujuneda isegi suuremaks kui metsa-kasvukohatüüpidel, sest nendel on puude keskmine juurdekasv enne kuivendamist väga väike, kuid puistu lõppboniteet jääb soo-kasvukohatüüpidel siiski madalamaks.

I grupp — kasvukohatüübid madalsoo- ja parematel siirdesoomuldadel. Sellesse gruppi kuulub viis kasvukohatüüpi: a) lodumetsad, madalsoometsad, b) siirdesoometsad, c) madalsood ja d) siirdesood (parematel siirdesoomuldadel).

I grupi kasvukohatüüpidel annab kuivendamine teiste näitajate samaks jäämise korral kõige efektiivsemaid, väga häid või vähemalt häid tulemusi. Seniste uurimisandmete alusel on puistu eeldatav lõppboniteet II kuni I, halvemal juhul III, kusjuures puidu lisajuurdekasv pärast kuivendamist on aastas keskmiselt 4...5 tm ja parematel juhtudel kuni 8 tm ha kohta.

II grupp — kasvukohatüübid halvematel siirdesoo- ja parematel rabamuldadel. Antud gruppi kuulub kolm kasvukohatüüpi: a) siirderabametsad ja rabametsad, b) siirdesood ehk nn. siirderabad (halvematel siirdesoomuldadel).

II grupi kasvukohatüüpidel annab kuivendus rahuldavaid tulemusi ja sealt võib oodata kõige rohkem III...IV boniteedi puistuid. Pärast kuivendust on puidu lisajuurdekasv aastas keskmiselt 2...3 tm ha kohta.

III grupp — kasvukohatüübid halvematel rabamuldadel.

Sellesse gruppi kuuluvad metsata või kidura männiga rabad ja ka nn. nõmmrabad. Rabade kuivendamine annab vähe tulemusi ja pärast kestvat kuivendust võib eeldada rabadel kõige rohkem V...Va boniteedi puistuid. Väikese efektiivsuse tõttu kuivendatakse rabasid ainult sel juhul, kui nad paiknevad väiksemate, kuni 100 ha suuruste aladena kuivendatavate paremate kasvukohatüüpide vahel. Rohelise vööndi ja kuurordimetsade koosseisu kuuluvaid rabasid kuivendatakse vaatamata suurusele.

IV grupp — kasvukohatüübid liigniisketel mineraalmuldadel. Sellesse gruppi kuulub seitse kasvukohatüüpi: a) angervaksa-, soostuv sõnajala-, b) osja-tarna-, c) karusambla-, soostuv luite-, d) lubikaloo- ja e) rabastuv kanarbiku-kasvukohatüüp.

IV gruppi kuuluvad kasvukohatüübid on looduslike tingimuste ja metsade majandamise poolest väga erinevad ja nende kuivendamise tulemused on kõige tinglikumad.

Kuivendamisega muutub puistute boniteet üldiselt vähe ja puidu lisajuurdekasv aastas on keskmiselt 0,5...1 tm ha kohta.

Vähem tulemusi annab rabastuvate kanarbiku- ja lubikaloometsade kuivendamine, pisut parema efekti annab osja-tarna-, karusambla-, soostuva luite- ja angervaksametsa kuivendamine.

Soostuva sõnajalametsa kuivendamine võib isegi negatiivseid tulemusi anda. Üldiselt tingib selle metsatüübi kuivendamine sanglepa- ja kasepuistute rekonstrueerimist kuuse või saarega.

Liigniisketel mineraalmuldadel on metsamaade kuivendamine vajalik peamiselt raiestike, lagendike või harvikute kiiremaks metsastamiseks. Kuivendamine annab paremaid tulemusi neis kasvukohatüüpides, kus metsata metsamaad looduslikult halvasti uuenduvad ja kus metsa kultiveerimine kuivendamiseta ei õnnestu. Üldiselt annab IV grupi kasvukohatüüpidel metsata metsamaade kuivendamine suuremat efekti kui puistuga maa kuivendamine.

V grupp — kuivendatud soomuldadel kasvavad metsad. Sellistel muldadel kasvavad metsad on ühendatud ühte, kõduturbasoo-kasvukohatüüpi. Puidu lisajuurdekasvu võib saavutada kraavivõrgu korrastamisega ja madalama boniteediga puistutes kraavivõrgu täiendamisega.

3. SÕLTUVUS METSA VANUSEST

Metsa kuivendamisel täiendab kasvukohatüübi iseloomustust metsa vanus, kuna puistute vanust kasvukohatüüp otseselt ei näita.

Kasvukohatüüp näitab kuivenduse keskmist metsamajanduslikku efekti

pikema perioodi — raieringi vältel. Kasvukohatüübi piires võib aga kuivenduse efektiivsus olla erinev, vastavalt metsa vanusele.

Kasvukohatüüp on aluseks metsakuivendusobjektide valikul, kuid metsa vanus määrab kuivenduse ajalise sobivuse.

Keskealised ja vanemad puistud. Vanemates puistutes on kuivendusega saavutatav puidu juurdekasvu suhteline suurenemine väiksem kui nooremates puistutes, sest: a) vanemates puistutes väheneb kuivendusele reageerivate puude arv; b) puistute loomulik juurdekasv kulmineerub vanemas eas; c) vanemates puistutes on puude arv üldse väiksem kui nooremates.

Männipuistutes hakkab kuivenduse efekt vähenema pärast 60. eluaastat. Kuusk reageerib kuivendusele kiiremini kui mänd ja kuivenduse mõju vähenemine algab kuusel alles 90 a. vanuselt. Kasepuistutes algab kuivendustoime tunduv vähenemine juba 60. eluaastast.

Vanuse järgi grupeeruvad metsad kuivendusefekti alanemise järjekorras järgmiselt: a) keskealised, b) noorendikud ja valmivad, c) raieküpsed ja d) üleseisnud puistud.

Raiestikud ja noorendikud. Lageraie tõttu suureneb maapinnale langevate sademete hulk, katkeb transpiratsioon ja raiestikel tekib puuduliku äravoolu tõttu, eriti raske läbilaskvusega liivsavi- ja savimuldade puhul, mullas vee ülejääk. Neis tingimustes algab pärast puistu mahavõtmist soostumine.

Liigniiskuse tõttu pidurdub raiestike metsastumine. Mets uuendub aeglaselt ja peamiselt lehtpuudega. Noorendike täiuse ja puude võra suurenemisega suureneb ka transpiratsioon; ühtlasi suureneb lehestikule peatuma jääv ja sealt (maapinnale sattumata) õhku tagasi aurav veehulk. Meie oludes tasakaalustuvad juba keskealises puistus sademed enam-vähem transpiratsiooni ja auramisega ning lageraie tagajärjel tekkinud mulla liigniiskus kaob. Liigniiskuse tõttu pidurdunud raiestike metsastamine moodustab aga igal juhul 10...15-aastase ajakaotuse metsa kasvus. Sellele lisandub veel juurdekasvu kaotus liigniiskete puistute väiksema täiuse arvel.

Okaspuumetsade raiestikel ja väikese täiusega noorendikes, kus liigniiskus pidurdab raiestike metsastamist või noorendike arenemist, on kuivendamine väga vajalik. Kuivendamine annab nimetatud juhtudel seda suuremat efekti, mida aeglasemalt raiestikud looduslikult metsastuvad. Kuivendamine soodustab raiestike kultiveerimist, kultuuride arenemist ja väikese täiusega noorendike täiuse suurenemist.

Seevastu kaob hea filtratsiooniga muldadel (enamikus lehtpuumetsades) sademete vesi kiiresti ja raiestike kuivendamine ei anna mainimisväärset efekti, sest metsa looduslik uuendumine õnnestub rahuldavalt ka kuivendamiseta.

4. SÕLTUVUS MULLASTIKUST

Metsamaa kuivendamisel võimaldavad turbamullad, muude tingimuste samaks jäämise puhul, üldiselt paremaid tulemusi kui mineraalmullad. Määravaks on seejuures pealmine, ca 1 m tüsedune turbakiht. Mida enam see on lagundunud ja mida rikkam taimetoitainete poolest, seda paremaid tulemusi annab kuivendamine. Tähtsus on ka turba koostisel: tarna-, rohu-, metsa- ja pillirooturbad kuuluvad paremate hulka, kuna villpea, rabasambla- ja puhmasturbad on vähemväärtuslikud. Sama turbaliigi lagundumisastme suurenemisega suureneb ka kuivendamise efektiivsus.

Suur tähtsus on turbakihi tüsedusel ja mineraalsel aluspõhjal. Mineraalaluspõhi ei mõjuta kuivenduse tulemusi, kui aluspõhi asub nii sügaval, et ka pärast kuivendamist puude juured selleni ei ulatu. Olulise tähtsusega

on mineraalaluspõhi õhema (alla 1 m paksuse) turbalasundi puhul. Väga head kuivendusefekti annavad 0,5 kuni 0,6 m paksuse turbalasundiga hästi lagundunud rohu-, rohu-metsa- ja rohu-pillirooturbamullad saviliivasel aluspõhjal.

Õhukese huumuskihiga märgade savimuldade kuivendamine annab keskealiste ja vanemate metsade korral vähe tulemusi, kuid omab tähtsust soostumist tõkestava ja metsa uuendumist soodustava tegurina.

Märgadel liiv- ja saviliivmuldadel annab kuivendamine paremaid tulemusi kui märgadel savimuldadel.

Alanevas kuivenduse efektiivsuse järjestuses rühmituvad metsamaade mullad järgmiselt: a) väga hea kuivenduse efektiga — 50 kuni 60 cm paksuse lasundiga toitaineterikkad ja hästi lagundunud rohu-, rohu-metsa- ja rohu-pillirooturvasmullad saviliivasel aluspõhjal; b) rahuldava kuni hea efektiga — halvasti kuni keskmiselt lagundunud turvasmullad ja turvastunud liiv- ja saviliivmullad; c) vähese efektiga — ilma turbakihita või väga õhukese huumuskihiga mineraalmullad; d) väga vähese efektiga — sügavad vähe lagundunud rabamullad.

5. SÕLTUVUS BONITEEDIST, KOOSSEISUST JA TÄIUSEST

B o n i t e e d i l t halvema sama kasvukohatüübi metsad annavad suuremat kuivendusefekti kui parema boniteediga metsad. Muude tingimuste samasuse puhul on IV kuni V boniteedi puistute kuivendusefekt kõige suurem, sest nende boniteet võib kuivenduse toimel tõusta 2...3 klassi võrra.

Väiksemat efekti annab III ja V-a boniteedi metsade kuivendamine, mille boniteet intensiivse kuivenduse tõttu suureneb 1...2 klassi võrra. Häid, I ja II boniteedi metsi tavaliselt ei tasu kuivendada, sest kuivendusega nende boniteet enam mainimisväärselt ei suurene. Siiski tuleb sellistel metsamaadel korras hoida olemasolev kuivendusvõrk ja tarbe korral kaevata pealevalguva vee ärajuhtimiseks piirdekraave. Kuivendamine II ja III boniteedi metsaga maadel on õigustatud vaid siis, kui see on vajalik metsa loodusliku uuendumise soodustamiseks või kunstlikuks uuendamiseks raiestikel, puuliikide vahelduseks või soostumise pidurdamiseks.

P u i s t u k o o s s e i s u mõju kuivenduse efektiivsusele avaldub selles, et kõik puuliigid ei reageeri kuivendusele ühesugusel määral. Kõige paremini reageerib kuusk ja selle järel mänd, lehtpuud reageerivad nõrgemini. Sookasepuistu kuivendusefekt on suhteliselt väike, sest kask jääb kõveratüveliseks ja puidu juurdekasvu suurenemine on 2 kuni 3 korda väiksem kui näiteks männil. Ka sanglepikute kuivendamine ei anna tavaliselt tulemusi, mõju võib olla isegi negatiivne. Sanglepikuid kuivendatakse peamiselt puuliikide vahelduse ülesandel — kuuse kasuks.

Suurema t ä i u s e g a puistud annavad paremaid tulemusi kui hõredad puistud. Keskealised ja vanemad väikese täiusega puistud annavad ka pärast kuivendamist väheväärtuslikku okslikku puitu. Väikese täiusega noorendikes paraneb aga täius kuivenduse toimel, mille tõttu nende kuivendusefekt on hea.

6. SÕLTUVUS SOOSTUMISE PÕHJUSTEST

Soostunud metsamaid võib liigniiskuse põhjuste järgi jagada järgmiselt.

A. S a d e m e d: a) maapinnalähedasele veekindlale kihile kogunevad sademed, mille äravoolu takistab maapinna väike kalle ja ebatasasus

(osja-tarna mets); b) sademete vee kogunemine mulla ülemistesse kihtidesse kõdunemata taimejäänuste suure veemahutavuse tõttu (kõrgsood).

B. Pealevalguv vesi (madalsood): a) suurvee üleujutuse piirkonnad; b) suurveehorisondist kõrgemal, kuid kõrgendikelt pealevalguva veega üleujutatavad alad.

C. Põhjavesi: a) kõrge põhjaveeseis; b) surve all olev põhjavesi. Kuivendamine on efektiivsem aladel Bb, Ba ja Ca, kuna aladel Aa, Ab ja Cb on kuivenduse efektiivsus väike.

§ 9-8. METSAMAADE KUIVENDUSPROJEKTI ALUSEID

1. KUIVENDUSVÕRGU PLAANILINE LAHENDUS

Metsamaad kuivendatakse üldreeglina kraavitusega. Drenaaži kasutatakse ainult parkide ja metsataimlate kuivendamisel.

Kuivendusvõrgu plaanis projekteerimisel tuleb jälgida detail- ja põhivõrgu paigutuse üldisi reegleid (vt. 6. ja 7. peatükk). Metsamaade majandamise spetsiifika nõuab aga sageli nendest põhinõuetest kõrvalekaldumist ja seda eriti kuivendus- ja kogujakraavide osas. Põhilised kraavide plaanilist lahendust mõjutavad tegurid on järgmised:

a) kraavid tuleb siduda olemasoleva ja projekteeritava kvartali- ja teedevõrguga, kusjuures kraav tuleb asetada reljeefi suhtes kõrgemale poolele teest või kvartali sihist;

b) kuivenduskraavid ei tohiks lõikuda kvartali sihtidega;

c) kuivenduskraavide pikkus ei või ületada 1500 m (optimaalne 300...600 m);

d) kuivenduskraavid tuleb projekteerida võimalikult paralleelsed ja sirged;

e) soonikute sobivaimaks kuivendamisviisiks on nende ristisuunaline läbilõikamine kraaviga; kus see tehniliselt läbi viidav pole, seal asetada kraav piki soonikut.

Veejuhtmete omavahelise ühendamise nõuded on kirjeldatud § 7-3.

Lisaks kuivenduskraavidele kasutatakse rasketes pinnastes (karusambla-, osja-tarna-kasvukohatüübi puhul) pinnavee ärajuhtimiseks vesivagusid. See on vajalik metsa uuenemis- ja kasvutingimuste soodustamiseks harvikutes, noorendikes, raiestikes ja põlendikel. Vanametsas ei ole see vajalik. Vagude vahekauguseks valitakse olenevalt pinnasest looduslikult uuenema jäetavates raiesmikes ja lagendikel kuni 25 m, kultiveerimisele kuuluvatel aladel aga vahekaugusi vähendatakse. Soovitatav on, et raiesmikel ja põlendikel ühendataks vesivagude rajamine pinnase ettevalmistamisega metsakultuuridele.

2. KUIVENDUSKRAAVIDE VAHEKAUGUS

Eesti oludes on metsakuivenduskraavide vahekaugusi vähe uuritud. NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi «Metsamaade kuivendamise tehnilises juhendis» 1955. a. toodud kasvukohatingimused on vähem diferentseeritud kui Eesti NSV metsatüübid ja seal antud kraavide vahekauguste piirväärtused kõiguvad küllaltki laiades piirides.

Eesti NSV metsakuivenduse projekteerijad on aastate jooksul täpsustanud kraavide soovitatavaid vahekaugusi ja praegu kasutatakse tabelis 9-2 toodud näidisvahekaugusi.

Esitatud kraavide näidisvahekaugused ei taotle maksimaalset metsa

Tabel 9-2

Kraavide näidisvahekaugused

Metsa-kasvukohatüüp	Sootüüp (metsata)	Kraavide vahekaugus (m)	Märkusi
I grupp			
Lodu	—	160...180	
Madalsoo	—	140...160	
Siirdesoo	—	120...140	
	Madalsoo	120...140	
	Siirdesoo	110...130	
II grupp			
Raba (siirderaba)	—	100...120	
	Siirderaba	100...110	
III grupp			
—	Raba	60...100	
IV grupp			
Soostuv sõnajala	—	Piirdekraavid	Kuivendamine tinglik
Angervaksa	—	160...200+ vaod	
Rabastuv kanarbiku	—	40...50	
Karusambla	—	140...180+ vaod	
Soostuv luite	—	180...250	Peenliivaalasid ei kuivendata
Osja-tarna	—	120...200+ vaod	Nooremais puistuis vagudeta 120 m
Lubikaloo	—	Piirdekraavid	
V grupp			
Kõdu-turbasoo		Olemasolevate kraavide remont või täiendus	Kuivendamine tinglik

lisajuurdekasvu, kuna selleks otstarbeks peaks tehn. tead. kand. E. D. Šabo järgi vähendama vahekaugusi umbes kaks korda. Sellise tihedusega kuivendusvõrgu loomine on aga kulukas ja vähendab liigselt metsa pindala.

3. KUIVENDUSKRAAVIDE SÜGAVUS

Tabel 9-3

Kuivenduskraavide sügavus olenevalt pinnasest
(NSVL Põllum. Ministeeriumi juhendi järgi)

Pinnaseliik	Kuivenduskraavi sügavus (m)	
	kraaviadraga kaevamisel	teiste mehhanismidega kaevamisel
Savi	0,60	0,70
Keskmine liivsavi	0,60	0,80
Liiv	0,60	0,70
Turvas, sügavusega kuni 1,0 m	0,80	1,10
Turvas, sügavusega üle 1,5 m	1,00	1,30

Märkus. Kraaviatra on Eesti NSV-s metsamaadel seni vähe kasutatud.

Kuna metsa tingimustes nõuab kraavide käsitsi remont suurt tööjõukulu ja on kallis ning metsakraavide remondiks sobivaid mehhanisme ei ole, siis tuleb tabelis toodud kuivenduskraavide ekspluatatsioonisügavusi sette kogunemist arvestades suurendada 0,20...0,30 m võrra. Eriti oluline on see liivapinnaste puhul. Turbapinnastes tuleb aga lisaks sellele anda veel täiendav sügavuse tagavara turba vajumise arvel (vt. § 6-3).

Liivakihi esinemise korral turba või savi all tuleb kraavi põhi viia liivakihini, sellesse kraavi mitte süvendades. Kui turbakihi all esineb ka «vesiliiv», siis tuleb uhtumise vältimiseks jätta sellele õhuke kiht turvast. Savi esinemise korral turba- või liivakihi all on soovitatav kraavi põhi viia 0,10...0,15 m sügavuselt savisse. Kõigil neil juhtudel on lubatud kõrvalekaldeid tavalistest sügavustest 0,10...0,20 m võrra.

Kogujakraavid projekteeritakse selliselt, et need rahuldaksid kuivenduskraavide suubumistingimusi (vt. § 7-2, samas peakraavide dimensioneerimisest).

4. KRAAVIDE PÕHJA LAIUS

Väikeste vooluhulkade puhul on kraavi säilivus seda parem, mida väiksem on põhja laius. Muude võrdsete tingimuste juures vähendab väikese põhjalaiusega kraavi suurem voolu sügavus kinnikasvamise ohtu, teiselt poolt suureneb ka voolu kiirus, mis vähendab väikese kaldega kraavides settimist.

Käsitsi kaevamisel projekteeritakse kuivenduskraavi põhja laiuseks metsamaadel 0,30 m; mehhaniseeritud kaevamisel draglain- ja ditšerekskavaatoriga (profiilkopaga) aga 0,40 m. Olemasolevate kraavide süvendamisel ekskavaatoriga projekteeritakse kraavi põhja laiuseks 0,40... 0,80 m.

5. KRAAVIDE NÕLVUS

Metsaalal lubatakse ekskavaatoriga kaevatavatel kraavidel järsemaid nõlvu, kui seda nõuab pinnas (vt. tab. 5-13), kuid siiski mitte järsemaid kui 1 : 1. Järsem nõlvus kui 1 : 1 projekteeritakse kuivenduskraavidele ainult erandjuhtudel (rabas ja siirderabas).

6. KRAAVIDE KALLE

Kraavide kalle peab olema selline, et kraavis ei tekiks settimist ega uhtumist. Metsamaade kuivendamisel on kuivenduskraavide ja väikeste kogujakraavide sobivaks kaldeks 0,5...5,0 (10,0)‰, peakraavidel 0,5 (0,3) ...1,0 (3,0)‰. Suurema kalde puhul tuleb kontrollida voolu kiirust kevadise maksimaalse 10% tõenäosusega vooluhulga puhul (vt. tab. 7-1).

KIRJANDUST

1. Eesti NSV Teaduste Akadeemia. Metsamajanduslikud uurimised I. Tartu, 1957.
2. Karu, A., Muiste, L. Eesti metsa kasvukohatüübid. Tallinn, 1958.
3. Kuum, J. Soode kuivendamine ja kasutamine põllumajanduses. Tallinn, 1954.
4. Lillema, A. Eesti NSV mullastik. Tallinn, 1958.
5. Metsakuivendusalase teadusliku nõupidamise materjalid. Eesti NSV TA. Tartu, 1957.

6. Teatmik metsamajanduse töötajaile. Tallinn, 1959.
7. Tkatšenko, M. Üldine metsakasvatus. Tallinn, 1958.
8. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
9. Гурвич И. Я. и Елпатьевский М. П. Эффективность мелиоративно-осушительных мероприятий в лесном хозяйстве. Ленинград, 1957.
10. Елпатьевский М. П. Лесная осушительная мелиорация. Москва-Ленинград, 1957.
11. Сабо Е. Д. Проектирование высокодоходных лесоосушительных систем. 1958.
12. Технические указания по осушению лесных площадей. Москва, 1955.

KÜMNES PEATÜKK

PÕLLUMAJANDUSLIKE MAADE NIISUTAMINE

§ 10-1. VÕITLUS MULLA VEEVARUDE PUUDUJÄÄGIGA

Aasta keskmine sademete hulk Eesti NSV-s on ca 590 mm (500 ... 650), samal ajal on auramine ca 325 mm. Seega on ülejääk ca 265 mm, mis moodustab äravoolu. Nendest arvudest võiks teha järelduse, et Eesti NSV-s ei ole mulla veevarude puudujäägi probleemi olemas. Analüüsides aga aastasisest sademete ja auramise vahekorda ning selle kõikumist aastate järgi, saame teistsuguse pildi. Keskmiselt kolmel kuul (IV ... VI) aastas on Tartu meteoroloogiajaama andmeil (mis on lähedased ülevabariigilistele keskmistele) auramine niisama suur kui sademed või ületab neid. 30-aastasest reast (1886 ... 1915) on 22 aastal olnud maikuus auramine suurem kui sademed, mai- ja juunikuus on aga auramine sademeid ületanud 11 aastal ning kogu vegetatsiooniperioodi (ca 15. V ... 15. IX) iga kuu auramine on sademetest suurem olnud kolmel aastal (10% aastatest).

Ülaltoodud andmeist järeldub, et Eesti NSV-s esineb võrdlemisi sageli aastaid, kus vegetatsiooniperioodi algul esineb põud. Kui samal aastal on ka talvised veeressursid (kevadine suurvesi) vähesed ning ei rakendata abinõusid veekadude (auramise, äravoolu) tõkestamiseks, on tagajärjeks ikaldus.

Eesti NSV kliimatingimustes, kus ikaldusaastad põua tõttu korduvad siiski suhteliselt harva, osutub otstarbekohaseks kasutada võitluseks põuakahjudega järgmisi abinõusid:

a) agrotehnilisi — s. o. võtteid, mis aitavad kaasa struktuurse künnikihi tekkimisele ja vähendavad auramist maapinnalt, nagu sügis-künni varakevadine libistamine, äestamine või kultiveerimine, kõrrekünd, rühvelkultuuride vaheltharimine (kobestamine) jne.;

b) agromelioratiivseid — sügiskünni teostamine piki horisontaale, künnialuse kihi kobestamine, künni sügavuse suurendamine, muttimine, lume peetamine jne.;

c) metsanduslikke — metsaribade rajamine;

d) hüdromelioratiivseid — kunstlik niisutamine.

Agrotehniliste ja agromelioratiivsete abinõude mõju seisneb peamiselt pinnavee infiltratsiooni ja mulla veemahutavuse suurendamises ning ülemise õhukese mullakihi kapillaarsuse vähendamises, mis pidurdab auramist. Metsaribade mõju on seevastu mitmekülgsem — nad vähendavad auramist, peetavad lund, suurendavad õhuniiskust ja sademeid jne. Eesti

NSV Ülemnõukogu 2. VIII 1949. a. seadus soostunud maa-alade kuivendamise ja kasutusele võtmise kohta kohustabki maaparandusprojektides ette nägema põllukaitse-metsaribasid suurtel maaparandusmassiividel.

Agrotehnilised, agromelioratiivsed ja metsanduslikud abinõud on oma iseloomult põhiliselt preventiivsed; nende eesmärgiks on vähendada miinimumini olemasolevate looduslike veevarude ebaproduktiivseid kadusid mullast. Seevastu on hüdromelioratiivsed abinõud suunatud mulla looduslike veevarude suurendamisele vee otsese juurdeandmise teel.

Kõik eespool mainitud abinõud, sealhulgas ka maade kunstlik niisutamine, annavad tõhusamaid tulemusi suurema veetarbega köögivilja- ja rohumaakultuuride puhul ja seda eriti vähese veemahutavusega õhukestel muldadel meie vabariigi saartel ning mandri loode- ja läänerajoonides.

Suurte saakide saamiseks peetakse taimekasvuperioodil vajalikuks tabelis 10-1 toodud sademete hulka.

Tabel 10-1

Vegetatsiooniperioodil vajalik sademete hulk (mm)

Kultuuri nimetus	Vajalik sademete hulk vegetatsiooniperioodil (mm)	
	G. Schroederi järgi (Saksamaal)	P. Kaitera järgi (Soomes)
Juurvili	320 ... 480	200 ... 300
Kartul	160 ... 235	170 ... 250
Hernes	210 ... 340	130 ... 180
Heintaimed	300 ... 510	250 ... 350
Teravili	305 ... 510	—
Taliteravili	—	130 ... 180
Suviteravili	—	170 ... 250

Tabel 10-2

Sademete optimaalne hulk mm-tes (G. Schroederi (Sa) ja P. Kaitera (So) andmetel) suurte saakide saamiseks

Kultuuri nimetus	Aprill		Mai		Juuni		Juuli		August		September	
	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So	Sa	So
Karjamaa	60	—	90 ... 100	—	90 ... 120	—	90 ... 120	—	90 ... 120	—	70 ... 80	—
Heinamaa	60	—	90 ... 120	—	90 ... 100	—	100 ... 120	—	80 ... 90	—	—	—
Rohumaa	—	—	—	50	—	80	—	80	—	80	—	50
Põldhein (ristik)	60	—	90	—	80 ... 90	—	90	—	80	—	—	—
Juurvili	50	—	50	30	70	60	80 ... 90	70	90	70	—	50
Kartul	40	—	60	—	70	40	80 ... 90	60	80 ... 90	70	60	50
Suviteravili	50	—	80	40	80	70	60 ... 70	60	—	30	—	40
Taliteravili	40	—	70	50	70 ... 80	60	40 ... 60	50	—	40	—	40

Meie vabariigi tingimustes tuleb täpsemate andmete puudumise korral kasutada arvusid, mis rohkem lähenevad Soome kui Saksa andmetele.

Kunstlikku niisutust peetakse vajalikuks, kui 10 aasta kohta on vegetatsiooniperioodil esinenud optimaalsest vähem sademeid:

kergetel muldadel	20	kuul või rohkem,
keskmistel „	25	„ „ „

Avamaa-köögiviljal peetakse kunstliku niisutuse sisseseadmist otstarbekohaseks ka sel juhul, kui põuakuude arv on eelmainitust väiksem.

§ 10-2. NIISUTUSREŽIIM

1. MULLA NIISKUS JA VEEVARU

Mulla veega küllastumise astet (lühidalt: mulla niiskust) väljendatakse: a) mahuprotsentides ($N\%$) ning b) kaaluprotsentides ($N'\%$). Esimene (N) väljendab mullas leiduva vee mahu suhet mulla pooride mahusse, kuna teine (N') väljendab mullas leiduva vee kaalu suhet absoluutkuiva mulla kaalusse, s. t.

$$N = \frac{V_v}{V_p} 100\ (\%), \tag{10-1}$$

$$N' = \frac{G_v}{G_k} 100\ (\%), \tag{10-2}$$

kus V_v ja V_p — vee maht ja mulla pooride maht ja
G_v ja G_k — vee kaal ja absoluutkuiva mulla kaal.

Mulla veevaru (W) arvutatakse valemitega

$$W = HnN\ (\text{m}^3/\text{ha}) \text{ ja} \tag{10-3}$$
$$W = 100\ H\gamma_k N'\ (\text{m}^3/\text{ha}), \tag{10-4}$$

kus H — mullakihi tüsedus (m);
γ_k — absoluutkuiva mulla mahukaal (g/cm³ või t/m³) ja
n — mulla poorsus (mulla pooride mahu suhe mulla kogumahusse %-des).

Valemitest 10-3 ja 10-4 saame vahekorra N ja N' vahel:

$$N' = \frac{n}{100\gamma_k} N \tag{10-5}$$

ja

$$N = \frac{100\gamma_k}{n} N'. \tag{10-6}$$

Nagu teada (vt. § 3-5), jagatakse mullavesi tinglikult kahte ossa: a) surnud veevaruks, mis on sedavõrd tugevasti mullaosakestega seotud, et taimejuured seda praktiliselt kätte ei saa, ning b) produktiivseks ehk mobiilseks veevaruks, mida taimed saavad kätte kas kergemini või raskemini. Surnud veevaru on seda suurem, mida peeneteralisem on muld, kuid see sõltub ka taime juurekava arengust ning juurte imemisvõimest. Nii näiteks on köögiviljadel üldiselt nõrgem juurekava ja imemisvõime kui rohttaimedel, viimastel jälle väiksem kui teraviljadel. Mida väiksemaks jääb mulla veevaru, seda raskemaks muutub taimedel vee kättesaamine.

Mulla sellist veesisalduse astet, mille puhul mulla poorid on veega täielikult täidetud, nimetatakse teatavasti mulla maksimaalseks

ehk täisveemahutavuseks, ning veesisalduse astet, mille puhul mullas on maksimaalsel määral vett, mida muld suudab oma poorides kinni pidada väljaspool (ülalpool) kapillaarvöödet, ilma et vesi oma raskusjõul välja valguks, nimetatakse mulla väliveemahutavuseks (sageli ka lihtsalt veemahutavuseks). Mulla väliveemahutavus on seda suurem, mida peeneteralisem, struktuursem ja huumusrikkam on muld. Tabel 10-3 annab ligikaudse ülevaate muldade (pinnaste) väliveemahutavusest ja veevarust.

Tabel 10-3

Mulla väliveemahutavus ja veevaru

Mullaliik	Poorsus *n* (%)	Väliveemahutavus %-des täisveemahutavusest	Väliveemahutavusele vastav veevaru 0...50 cm mullakihis (m³/ha)	
			üldine	produktiivne
Liiv	35...40	25...30	500	450
Savikas liiv	38...42	35...40	750	600
Saviliiv	40...45	40...50	1000	650
Kerge liivsavi	47...50	50...60	1300	800
Keskm. liivsavi	48...52	55...65	1500	900
Raske liivsavi	48...52	65...75	1700	1000
Savi	50...55	75...85	2000	1100

Märkus. Mullakihi tüseduse kõikumisel 0,25...1,0 m piirides võib tabelis toodud veevaru andmeid proportsionaalselt muuta.

2. NIISUTUS- JA KASTMISNORM

Niisutusnormiks nimetatakse veehulka mm-tes või m³/ha, mis tuleb niisutamise teel anda kogu vegetatsiooniperioodil. Niisutusnorm arvutatakse, lähtudes taimede üldisest veevajadusest planeeritud saagi tootmiseks ning mulla veevarust ja vegetatsiooniperioodil oodatavate sademete hulgast.

Niisutamine toimub enamikul juhtudel (vt. § 10-5) sel teel, et taimede poolt äratarvitatud ning auramise teel mullast kaduma läinud veevarud taastatakse perioodiliselt, püüdes mulla niiskust hoida sellistes piirides, mis taimedele on küllaldaselt soodus. Ühekordset veeannust (m³/ha või mm), mis selleks tuleb mulda viia, nimetatakse kastmisnormiks.

Kastmisega saab mullaniiskust suurendada kuni väliveemahutavuseni; seda ületav veehulk valgub niisutatavast mullakihist ära, allapoole. Seega on mulla niiskuse ülempiiriks kastmisel ($N_{ü}$) mulla väliveemahutavus (vt. tab. 10-3). Mulla sellist niiskusastet, mille puhul taimedel muutub veevarude vähenemise tagajärjel raskeks saada mullast küllaldasel määral vett, nimetatakse mulla niiskuse lubatavaks alampiiriks (N_a). Peetakse otstarbekohaseks võtta N_a suuruseks: teraviljadel 60...65%, juurviljadel 60...65%, mitmeaastastel heintaimedel 70...75%, viljapuudel 70...75%, köögiviljadel 70...80% ja marjapõõsastel 75...85% mulla väliveemahutavusest.

Kastmisnorm on seega selline veehulk, mis tuleb viia mulda, et viimase niiskust tõsta lubatavalt alampiirilt (kastmiseelselt tasemelt) lubatava ülempiirini (tegelikult väliveemahutavuseni). Kastmisnorm arvutatakse valemiga

$$m = Hn(N_{ü} - N_a), \qquad (10\text{-}7)$$

milles m — kastmisnorm (m^3/ha);
n — mulla poorsus (%);
H — aktiivse mullakihi (põhilise juurtemassi leviku ala) tüsedus (m);
$N_ü$ — mulla niiskuse lubatav ülempiir mahuprotsentides;
N_a — mulla niiskuse lubatav alampiir mahuprotsentides (kastmiseelne mulla niiskus).

Mulla poorsus n (%) määratakse valemiga

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_k}{\gamma_0}\right) 100, \qquad (10\text{-}8)$$

milles γ_k — mulla mahukaal (1 cm^3 absoluutkuiva mulla kaal grammides) ja
γ_0 — mulla erikaal (g/cm^3).

Aktiivse mullakihi tüsedus sõltub kultiveeritavast taimeliigist ning kasvufaasist (vt. tab. 10-4).

Tabel 10-4

Aktiivse mullakihi tüsedus H (m)

Kultuuri nimetus	Aktiivse mullakihi tüsedus (m)	
	vegetatsiooni algul	vegetatsiooni keskel
Teravili	0,3 ... 0,4	0,6 ... 0,9
Suhkrupeet	0,2 ... 0,3	0,6 ... 0,7
Mitmeaastased heintaimed	0,4 ... 0,5	0,7 ... 1,0
Kartul	0,2 ... 0,3	0,4 ... 0,5
Juurvili	0,2 ... 0,3	0,6 ... 0,8
Kapsas, tomat	0,2 ... 0,3	0,5 ... 0,6
Sibul, kurk	0,2	0,3
Vaarikas, maasikas	—	0,3 ... 0,4
Marjapõõsad (sõstrad, karusmarjad)	—	0,6 ... 0,7
Seemneviljalised viljapuud	—	0,8 ... 1,2
Luuviljalised viljapuud	—	0,6 ... 0,7

Kasutades ära tabeli 10-3 andmeid mulla veevaru kohta, võib kastmisnormi määrata ka lihtsamalt, nimelt:

$$m = W_ü - W_a, \qquad (10\text{-}9)$$

milles $W_ü$ — mulla väliveemahutavusele vastav üldine veevaru;
$W_a = 60 \ldots 85\%$ eelmisest.

Kui kapillaarvööde ulatub aktiivsesse mullakihti, võib valemiga 10-7 või 10-9 saadud kastmisnormi vähendada savimaal 30...40% võrra ning liivsavimaal 20...30% võrra (põhjavee sügavuse puhul ca 1,5 m) [16].

Kastmisel läheb osa vett kaduma auramise, mööda maapinda äravoolamise ja sügavamatesse pinnasekihtidesse valgumise tagajärjel. Veekadu on sõltuvalt niisutusviisist, mullaliigist ja klimaatilistest tingimustest ca 10 ... 30% kastmisveest. Selle kao võrra tuleb valemiga 10-7 ja 10-9 leitud kastmisnormi suurendada.

Näide 1. Määrata kastmisnorm kartuli jaoks vegetatsiooniperioodi keskel keskmisel liivsavimullal, kus põhjavesi asub 1,5 m sügavusel.

Lahendus. Tabelist 10-4 saame, et $H \approx 0{,}50$ m ning tabelist 10-3, et $n \approx 50\%$, $N_ü \approx 60\%$ ja $W_ü = 1500$ m^3/ha. Neil andmeil leiame:

1) $m = Hn\,(N_ü - N_a) = 0{,}50 \cdot 50\,(60 - 0{,}7 \cdot 60) = 450$ m^3/ha;
2) $m = W_ü - W_a = 1500 - 0{,}7 \cdot 1500 = 450$ m^3/ha.

Võttes arvesse põhjavee sügavust, on käesoleval juhul küllaldane kastmisnorm $(1 - 0{,}25)450 = 340$ m³/ha.

Näide 2. Määrata kastmisnorm suhkrupeedi jaoks vegetatsiooniperioodi keskel saviliival, kui põhjavesi asub 2,0 m sügavusel.

Lahendus. Eelmise näite eeskujul saame tabelitest 10-3 ja 10-4: $H \approx 0{,}65$ m, $n \approx 43\%$, $N_{ü} = 45\%$, $W_{ü} = 1000 \frac{0{,}65}{0{,}50} = 1300$ m³/ha, mille järgi leiame:

1) $m = Hn\,(N_{ü} - N_{a}) = 0{,}65 \cdot 43(45 - 0{,}7 \cdot 45) = 378$ m³/ha;
2) $m = W_{ü} - W_{a} = 1300 - 0{,}7 \cdot 1300 = 390$ m³/ha.

Vihmutamisel pole otstarbekohane kasutada väiksemat kastmisnormi kui 10 mm, s. o. 100 m³/ha, ega ka suuremat kui 40 mm (400 m³/ha). Väga väikest kastmisnormi kasutades niisutab vesi ainult kõige pindmise õhukese mullakihi ja aurab sealt õhku, taimejuurteni jõudmata. Suure kastmisnormi puhul valgub osa veest paratamatult maapinda mööda kasutult ära, jõudmata mulda imbuda.

Juurviljamaal loetakse sobivaks tabelis 10-5 toodud kastmisnorme.

Tabel 10-5

Kastmisnormid juurviljamaal

Mullaliik	Kastmisnorm vihmutuse puhul (m³/ha)		Kastmisnorm vaguniisutuse puhul vegetatsiooniperioodi keskel (m³/ha)
	vegetatsiooniperioodi alguses	vegetatsiooniperioodi keskel	
Liivmuld	100 ... 150	200 ... 250	300
Saviliivmuld	150 ... 180	250 ... 300	300 ... 400
Liivsavimuld	180 ... 200	300 ... 350	400 ... 500
Savimuld	200 ... 300	350 ... 400	500 ... 600

Vihmavee maapinda mööda äravoolamise oht on seda suurem, mida suurem on ajaühiku jooksul maapinnale langev veehulk ehk vihma intensiivsus. Soovitatav on looduslikule vihmale lähedane intensiivsus, mis kestvama (2 ... 3 tundi vältava) vihma puhul ei ületa 0,5 mm/min ja enamasti on ainult 0,01 ... 0,05 mm/min.

Nii väikest intensiivsust on aga vihmutamisel tehniliselt raske saavutada ja see ei ole ka majanduslikult otstarbekas. Vihma intensiivsus ei peaks siiski ületama järgmisi piire:

rasketel muldadel 0,20 mm/min,
keskmistel „ 0,50 mm/min,
kergetel „ 0,80 mm/min.

Vihma suurema intensiivsuse korral on mulla struktuuri lõhkumise ja maapinna paakumise oht suur, mille tõttu ka maapinda mööda kasutult äravoolav veehulk suureneb.

3. KASTMISKORDADE ARV JA AEG

Kastmisperioodiks nimetatakse ajavahemikku, mille kestel antud majandis või niisutussüsteemis tuleb viia läbi mingi kultuuri ühekordne kastmine. Kastmisperioodi pikkus ja seega ka kastmiskordade arv ning aeg sõltuvad antud aasta ilmastikust, taimede kasvufaasist ja mulla

struktuurist ning veemahutavusest. Mida struktuursem ja suurema veemahutavusega on muld, seda harvemini tekib vajadus kastmise järele, seega seda pikem on kastmisperiood. Tavaliselt kõigub kastmisperioodi pikkus 5...15 päeva vahemikus. Taimede veetarvitus on kasvu algfaasil väike, edaspidi aga suureneb see, saavutades maksimumi sel ajal, kui taimedel on haljasmassi juurdekasv kõige intensiivsem; seejärel hakkab veetarve uuesti vähenema; sellekohaselt kõigub ka kastmisperioodi pikkus.

Viljapuudel on omad kriitilised perioodid, millal veepuudus mullas on väga kahjulik; kastmine neil perioodidel on seetõttu eriti vajalik. Üheks selliseks perioodiks on juunikuu teine pool pärast õitsemist ja ülearuste noorte viljade varisemist, millal viljapuud hakkavad moodustama järgmise aasta õiepungi. Sel ajal on Eesti NSV-s sageli põud. Teine, sügisene periood (ca septembri teine pool ja oktoobri algus) on aeg, millal juurtes toimub intensiivne toitainete kogunemine kevadise lehtemineku ja õitsemise ajaks. Selleaegne viljapuude kastmine on eriti tähtis pärast saagirikast suve, millal puud on väga kurnatud. Efektiivne on sügisene kastmine eriti siis, kui samaaegselt antakse ka pealtväetist. Sügisene kastmine suurendab ühtlasi tunduvalt ka viljapuude talvekindlust. Kastmine ei ole soovitatav suve teisel poolel (august-septembri esimene pool), sest see pikendab viljapuude vegetatsiooniperioodi ja nad lähevad talvele vastu ettevalmistamatult.

Kastmise aja määrab ära mulla selline niiskusaste, mille juures taimedel hakkab vee kättesaamine muutuma raskeks, s. o. kui mulla veevaru on vähenenud 60...85%-ni väliveemahutavusest. Kastmise aega on kõige lihtsam kindlaks määrata mullaproovi kuuliks (∅ 1 cm) vormimise teel (S. Astapovi järgi) [12]. Saviliiv ja liivsavi on püsivaks (oma vormi säilitavaks) kuuliks vormitavad vaid «paraja» niiskuse puhul. Kui mullaniiskus on ülemäära suur, siis muld määrib ning kuul ei säilita hästi oma vormi, vähese niiskuse puhul laguneb kuul aga kergesti koost või ei anna üldse vormida. Niiskuse puhul, mis vastab ca 70%-le väliveemahutavusest, ei ole saviliiv enam kuuliks vormitav, kuigi ta kompamisel tundub niiskena; liivsavi on veel vormitav, kuid saadud kuul pudeneb vajutamisel võrdlemisi kergesti.

Täpsemalt toimub mulla niiskuse määramine kaalanalüüsi teel. Ka taimede kasvuseisukord näitab, millal veepuudus on muutunud teravaks. Kestva põuaperioodi puhul taimekasvu ajal tuleb mulda niisutada vähemasti 10-päevaste vaheaegadega.

Vihmutada on otstarbekohane õhtul või öösel, sest siis on tuul tavaliselt nõrgem kui päeval ning madalama temperatuuri tõttu on ka auramine väiksem.

§ 10-3. NIISUTUSVEE ALLIKAD JA VEE OMADUSED

Niisutusveeks sobib meil jõgede, ojade, kanalite, kuivendussüsteemide peakraavide ja järvede vesi, üksikjuhtumeil ka kaevu- ja allikavesi.

NSV Liidu lõunapoolsetes rajoonides, eriti ariidses kliimavöötmes, tekitab niisutamisel raskusi vee liigne soolsus. Niisutusvee lubatav soolsus on J. Antipov-Karatajevi järgi 1,0 grammi liitri vee kohta; suurema soolsuse puhul sõltub vee kõlblikkus soolade koostisest. Eesti NSV-s ei küüni niisutamiseks kasutatava vee soolsus sellise astmeni. Meil võib aga vesi osutuda niisutamiseks kõlbmatuks juhul, kui sellesse satuvad teatavate tööstusettevõtete (tekstiili-, nahaparkimis-, põlevkivi-, paberitööstuse jt.) heiteveed.

Kindlaks väliseks tunnuseks, et vesi on niisutamiseks kõlblik, on mageveekalade, konnade ning veetaimedest lemlede (*Lemna*), mailaste (*Veronica*), kersside (*Rorippa, Nasturtium*), penikeelte (*Potamogeton*) ja partheinte (*Glyceria*) esinemine vees. Seevastu on lugade (*Juncus*), tarnade (*Carex*), kõrkjate (*Scirpus*), vesimündi (*Mentha aquatica*) ja mürkputke (*Cicuta virosa*) esinemine tõendiks vee liigsest happesusest. Soodest ja metsapiirkondadest tulev vesi on rohke huumushappe sisalduse tõttu vaene hapniku poolest ja seetõttu kastmiseks väheväärtuslik. Võib aga arvata, et vihmutamisel rikastub vesi õhuhapnikuga sel määral, et hapnikuvaesus on kõrvaldatud.

§ 10-4. NIISUTUSSÜSTEEM

Niisutussüsteemiks nimetatakse kõigi antud maa-ala niisutamiseks vajalike veejuhtmete ning neil asuvate ehitiste kogumikku, mis saavad vett ühest veeallikast. Niisutussüsteem koosneb tavaliselt järgmistest elementidest.

Veehaare (p ä i s e h i t i s), mille ülesanne on «haarata» veeallikast vajalikul määral vett ja suunata see niisutussüsteemi peakraavi; samal ajal peab veehaare tagasi tõrjuma veega kaasaliikuvaid kahjulikke uhtmeid. Veehaardesse kuulub tähtsama elemendina lüüsregulaator, millega reguleeritakse vooluhulka. Kui niisutatav maa-ala asub veeallikast kõrgemal, on veehaardeks pumbajaam, mis pumpab vee basseini, kust vesi juba isevoolu teel liigub tarbimiskohale. Suurtes niisutussüsteemides moodustab veehaare keeruka hüdrotehniliste ehitiste kompleksi — hüdrosõlme.

Peakraav (m a g i s t r a a l k a n a l), mis juhib veeallikast saabuva vee niisutatava maa-ala piirkonda.

Jaotuskraavid, mis juhivad peakraavist saabuva vee üksikute majanditeni (majanditevahelised jaotuskraavid) ja üksikute niisutusväljadeni või külvikorraväljadeni (majandisisesed jaotuskraavid).

Niisutuskraavid ja jaotusvaod, millega vesi jaotatakse niisutusväljal laiali. Tavaliselt on need veejuhtmed ajutised; nad küntakse sisse külvi ajal või esimese kastmise eel ning aetakse kinni pärast viimast kastmist, kuid enne vilja koristust.

Äravooluvõrk, mis koosneb veejuhtmetest, mille ülesanne on juhtida niisutatavalt maa-alalt ära vee ülejäägid.

Armatuur, s. o. niisutussüsteemi veejuhtmetel asuvad ehitised, mille ülesanne on:

a) vooluhulga reguleerimine veejuhtmete hargnemisel — l ü ü s r e g u l a a t o r i d;

b) veeseisu reguleerimine veejuhtmetes — p a i s u d, l i i g v e e l a s u d;

c) veejuhtmete siirmine üle maastikul esinevate takistuste — a s t a n g u d, k ä r e n d i k u d, d ü ü k r i d, a k v e d u k t i d, t u n n e l i d jt.;

d) võitlemine uhtmetega niisutussüsteemis — s e t t e b a s s e i n i d.

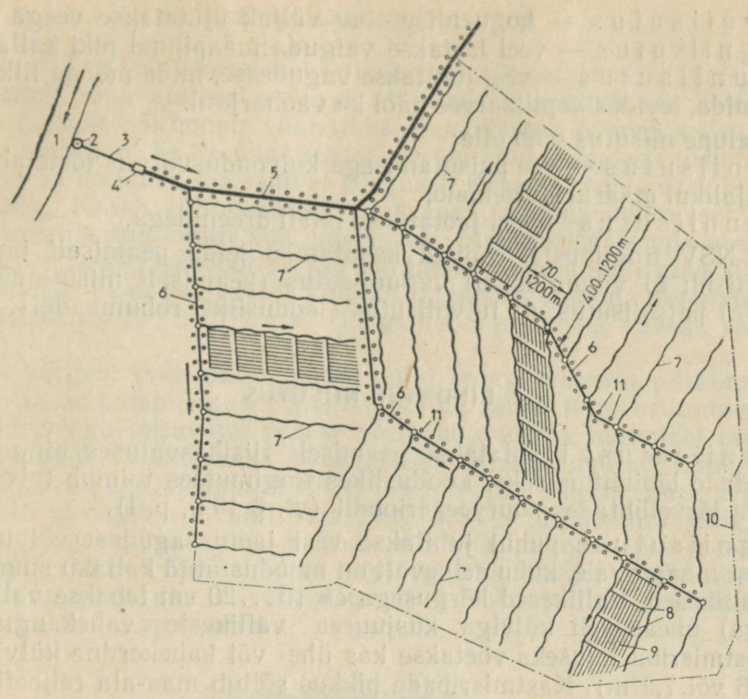
Joonisel 10-1 on esitatud niisutussüsteemi skeem, milles veehaardeks on pumbajaam.

Niisutussüsteemi veejuhtmed on tavaliselt lahtised. Kinnisi veejuhtmeid (torustikke) kasutatakse ainult järgmistel juhtudel:

a) niisutatav maa-ala asub veeallikast kõrgemal, mispärast vett tuleb veeallikast niisutussüsteemi peakraavi pumbata survetorustiku kaudu;

b) vihmutussüsteemi veejuhtmetena;

c) mõningatel juhtudel ka jaotusvagude ning niisutuskraavide asemel,



Joonis 10-1. Niisutussüsteemi skeem:
1 — veeallikas (jõgi); *2* — pumbajaam; *3* — survetorustik; *4* — bassein; *5* — peakraav (magistraalkanal); *6* — jaotuskraav; *7* — niisutuskraav; *8* — jaotusvaod; *9* — kastmisvaod; *10* — niisutatava maa-ala piir; *11* — metsariba.

et vähendada niisutussüsteemis vee kadusid auramise ja filtratsiooni tagajärjel.

Niisutussüsteemi alalisi veejuhtmeid, s. o. peakraavi ning jaotuskraave tuleb püüda paigutada nii, et maa-ala oleks jaotatud ristkülikukujulisteks väljadeks, kusjuures veejuhtmed peavad kulgema mööda külvikorravälja piire. Peale selle peavad veejuhtmed pindmise ja maa-aluse niisutuse puhul «valitsema» niisutatava maa-ala üle, s. o. asuma viimase suhtes kõrgemal.

§ 10-5. NIISUTUSVIISID

1. LIIGITUS

Sõltuvalt sellest, mis teel vesi mulda viiakse, eristatakse järgmisi niisutusviise:

pindmine niisutus — vesi juhitakse maapinnale, kust ta imbub mulda;

maa-alune niisutus — vesi juhitakse mulda altpoolt maapinda;

vihmutus — vesi paisatakse eriliste seadeldistega (vihmutusagregaatidega) õhku, kust ta tehisvihmana langeb maha ja imbub mulda.

Väiksematel aiamaatükkidel leiavad kasutamist ka lihtsamad niisutusviisid kastekannudega, kastevoolikutega ja vihmutustsisternidega (vaatidega).

Pindmine niisutus võib omakorda olla:

tulvniisutus — kogu niisutatav väljak ujutatakse veega üle;
valgniisutus — veel lastakse valguda maapinnal piki kallakut;
vaguniisutus — vesi juhitakse vagudesse, mida mööda liikudes ta imbub mulda, levides kapillaarvee näol ka vaoharjani.

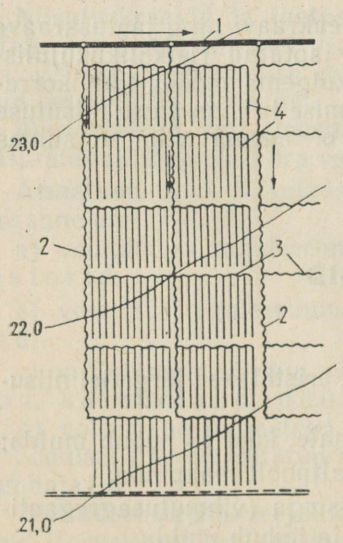
Maa-alune niisutus võib olla:
paisniisutus — vee paisutamisega kuivendusvõrgus tõstetakse põhjavesi vajalikul määral kõrgemale;
dreenniisutus — vesi jaotatakse laiali dreenidega.

Eesti NSV tingimustes võivad kasutamist leida peamiselt järgmised niisutusviisid: a) vihmutus; b) vaguniisutus (peamiselt niisutamisel reovetega); c) paisniisutus; d) tulvniisutus (looduslikel rohumaadel).

2. PINDMINE NIISUTUS

Tulvniisutust kasutatakse peamiselt riisikasvatuses ning sooldunud muldade läbiuhtumiseks. Looduslikes tingimustes toimub tulvniisutus ka jõe- ja järveluhtades suurveeperioodil (vt. § 10-6, p. 1).

Valgniisutuse puhul juhitakse vesi jaotusvagudest või niisutuskraavidest maapinnale, kuhu eelnevalt on moodustatud kallaku suunas kulgevad vallikesed. Vallikesed kõrgusega ca 15...20 cm tehakse vallitajaga (ridžeriga) üheaegselt külviga, kusjuures vallikeste vahekauguseks ja seega kastmisriba laiuseks võetakse kas ühe- või kahekordne külvimasina laius (3,6 või 7,2 m). Kastmisribade pikkus sõltub maa-ala reljeefist ning mullastikust ja on tavaliselt 40...200 m (raskema mulla ja suurema kalde puhul suurem, kergema mulla ja väiksema kalde puhul väiksem). Valgniisutust kasutatakse teraviljade ja rohumaakultuuride niisutamiseks maapinna kalde puhul 2...15 (20)‰. Selle niisutusviisi puudusteks on: tekib mullakoorik, mis takistab õhuvahetust mullas, halveneb mulla struktuur, esineb erosioonioht, maapinda peab hästi tasandama.



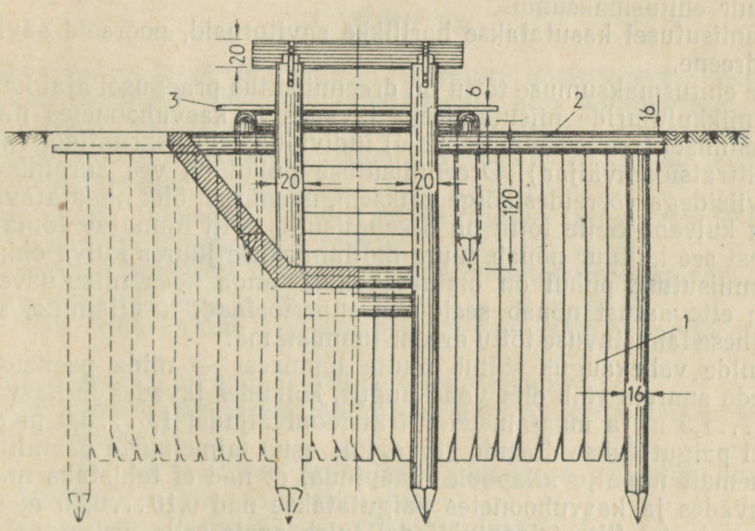
Joonis 10-2. Niisutusvõrgu skeem vaguniisutuse puhul:
1 — jaotuskraav; *2* — niisutuskraavid; *3* — jaotusvaod; *4* — kastmisvaod.

Vaguniisutuse puhul (vt. joon. 10-2) juhitakse vesi jaotusvagudest või niisutuskraavidest kastmisvagudesse, mis küntakse maastikul sellise suunaga, et neile kujuneb sobiv kalle (3...8‰). Kastmisvagude vahekaugus on kerges mullas 0,5...0,6 m, keskmises mullas 0,6...0,75 m ja raskes mullas 0,75...1,00 m; vagude pikkus on analoogiline kastmisribade pikkusega. Vagude sügavus kõigub 15...25 cm vahemikus. Vaguniisutust kasutatakse rühvelviljade, viljapuude ja marjapõõsaste ning mõnikord ka teraviljade puhul. Aias suunatakse kastmisvaod piki viljapuude ja marjapõõsaste ridu; esimese vao kaugus puudest ja põõsastest peab olema vähemalt 0,75...1,0 m ning sügavus mitte üle 15 cm, kaugemal võivad kastmisvaod olla sügavusega 15...22 cm. Vaguniisutus on valgniisutusest parem, sest see ei lõhu mulla struktuuri, mullakoorik tekib ainult vao põhjas, kus seda saab kergesti lõhkuda vaheltharimisel, ning erosiooni on kergesti võimalik vältida vagudele sobiva suuna (resp. kalde) andmise teel.

3. MAA-ALUNE NIISUTUS

Paisniisutust kasutatakse kuivendussüsteemis juhul, kui põhjaveetase alaneb põua ajal sel määral, et taimedel muutub vee kättesaamine mullast raskeks või hoopis võimatuks. Paisniisutus seisneb selles, et kraavidesse (mõnikord ka drenaažisüsteemi) ehitatud lüüsidega tõstetakse veetaset neis ja hoitakse see sobival kõrgusel. Kraavist (dreenist) tungib vesi mulda ning tõstab põhjaveetaset ka kraavi (dreeni) ümbruses. Tulemusi annab paisniisutus ainult siis, kui kraavi (drenaažisüsteemi) vesikond on nii suur, et vee juurdevool ületab auramise niisutatavalt maa-alalt. Vesikonna suurus peab Eesti NSV kliimatingimustes ületama niisutatava maa-ala suuruse ca 10...40 korda (kergematel pinnastel vähem, raskematel rohkem).

Mida kergem (vettjuhtivam) on muld kraavi (dreeni) piirkonnas, seda efektiivsem on paisniisutus. Kasulikuks võib paisniisutus osutuda peamiselt atmosfääriveega toituvatel vähese veemahutavusega muldadel (kergemad, huumusvaesed, üksikteralise struktuuriga mineraalmullad, õhukesed, alla 0,5 m sügavad turbalasundid liival jne.). Turba küllalt suure veemahutavuse tõttu ei õigusta paisniisutus Eesti NSV-s tüseda turbakihiga soodes tavaliselt ennast, pealegi on hapnikuvaene ja huumushapete poolest rikas soo-põhjavesi väheväärtuslik või isegi kahjulik. Kui kuivendatud soo vajab mõnel juhul põua ajal niisutamist, siis tuleb seda teha tulvniisutuse või vihmutuse teel hapnikurikka veega.



Joonis 10-3. Lüüs kuivendusvõrgu kraavil:
1 — punnsein; *2* — päitspruss; *3* — teenindussild.

Lüüsid rajatakse peamiselt pea- ja kogujakraavidele ning nende paigutus sõltub reljeefist: mida suurema kaldega on maapind, seda tihedamalt tuleb asetada lüüse. Tavaline lüüsi konstruktsioon on esitatud joonisel 10-3; see koosneb punnseinast, mis rammitakse ca 1,5...2,5 m sügavusele risti voolusängiga ja kuni 1,5...2,0 m kauguseni kummassegi kaldasse, ning varjast, mis tavaliselt koostatakse üksikutest laudadest. Alumise biefi voolusäng tuleb 3...5 m pikkuselt kindlustada, et vältida uhtumist.

Lüüsi paisutava mõju ulatus (l) piki veejuhet ülespoole on umbes $\frac{2z}{i}$,

milles z — paisutus (m) ja i — veejuhtme põhja kalle. Maksimaalse kraavide vahekauguse (E), mille puhul paisniisutus annab veel efektiivseid tulemusi kogu kraavivahes, saame B. Heitmani järgi valemiga

$$E = 1000 \sqrt{\frac{k}{a}(2Hh - h^2)}, \qquad (10\text{-}10)$$

milles E — kraavide vahekaugus (m);
H — paisutatud veeseis kraavis, arvestades vettpidavast kihist (m);
h — kuivendusnorm (m);
a — auramine (mm/ööpäevas) ja
k — mulla filtratsioonikoefitsient (cm/sek).

Dreenniisutusel on terve rida eeliseid:
a) mulda niisutatakse ühtlaselt;
b) ei teki mullakoorikut ega lõhuta mulla struktuuri;
c) tööjõuvajadus on väike;
d) ei takista maa kasutamist;
e) tootmispinda ei lähe kaduma;
f) vee kadu auramise teel on väike;
g) mulla õhustuvus on hea.

Puudusteks on dreenniisutusel:
a) mulla pindmise kihi puudulik niiskus, mis raskendab seemnete idanemist ja tõusmete arenemist;
b) suur ehitusmaksumus.

Dreenniisutusel kasutatakse harilikke savitorusid, poorseid savitorusid ja muttdreene.

Suure ehitusmaksumuse tõttu on dreenniisutus praegusel ajal kasutatav vaid katmikkultuuride niisutamiseks lavades ja kasvuhoonetes ning reoveega kastmisel (reovee immutamisel) individuaalehituskruntidel (nn. maa-alused filtratsioonivälja d). Dreenniisutuse puhul on vee auramine teiste niisutusviisidega võrreldes kõige väiksem, mispärast õhk niisutatava mulla kohal on kuivem. Selle tõttu on dreenniisutus eriti hinnatav tomati kastmisel, sest see kultuur nõuab suure mullaniiskuse juures kuiva õhku.

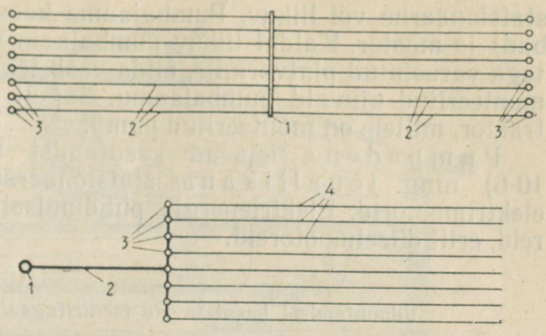
Dreenniisutuse puhul on otstarbekohane anda koos niisutusveega ka väetised; ettevaatust nõuab seejuures superfosfaadi kasutamine, sest see kipub vähese lahustuvuse tõttu dreene ummistama.

Dreenide vahekaugus sõltub mulla lõimisest — mida peeneteralisem muld, seda suurem võib olla vahekaugus, kõikudes lavades ja kasvuhoonetes 0,75...1,5 m ja maa-alustel filtratsioonivälja del 1,5...3,0 m piirides. Sügavuti paigutatakse dreenid sinna, kus asub taimejuurte peamine mass, aga vähemalt niipalju allapoole maapinda, et nad ei takistaks maa harimist. Lavades ja kasvuhoonetes paigutatakse nad 0,10...0,30 m sügavusele; maa-alustel filtratsioonivälja del tuleb peale selle arvestada ka külmumissügavust (kui niisutus toimub ka talvel).

Reovee immutamine on lubatav tingimusel, et sellega ei reostata põhjavett. Selle vältimiseks peab reovesi mullabakterite mõjul bioloogiliselt puhastuma, milline protsess kulgeb intensiivselt vaid maapinnalähedases pinnasekihis, kui seejuures reovee juurdevool ei ületa teatavat piiri. Sel põhjusel võib dreene paigutada ainult kuni 1,2 m sügavuseni, kusjuures reovee hulk dreeni 1 jooksva meetri kohta ööpäeva jooksul ei tohi ületada liivas 25, saviliivas 12 ja kerges liivsavis 7 liitrit. Üksikute dreenide pikkus ei või seejuures olla üle 20 meetri.

Dreenid paigutatakse lavades ja kasvuhoonetes kas horisontaalselt (kaldeta) või kaldega ca 0,5‰ (20 m pika dreeni kohta 1 cm langu). Maa-alustel filtratsioonivälja del asetatakse dreenid liivas kaldega 1...30‰ ning saviliivas ja liivsavis horisontaalselt. Dreenide läbimõõt võetakse reovee

puhul 75 mm ja puhta vee puhul 50 mm. Vee väljapääsu hõlbustamiseks dreenidest peavad dreenidevahelised liidused olema puhta vee puhul kuni 5 mm ning reovee puhul kuni 15 mm laiad. Pealt ja külgedelt tuleb liidused pinnaseosakeste sissetungi vältimiseks katta kas sambla või tõrvapapiga.



Joonis 10-4. Dreenniisutus:
a) lavades ja kasvuhoonetes: *1* — toiterenn; *2* — dreenid; *3* — kontrollkaevud; b) reoveega (reovee immutamine maa-alusel filtratsiooniväljal): *1* — septik; *2* — kollektor; *3* — jaotuskaevud; *4* — dreenid.

Joonisel 10-4 on esitatud dreenniisutuse skeemid. Niisutusvesi juhitakse voolikuga toiterenni, kust ta pääseb dreenidesse. Kontrollkaevude abil jälgitakse dreenide töötamist (vt. joon. 10-4, *a*). Reovesi juhitakse pärast septiku läbimist kollektori kaudu filtratsioonivälja piirkonda, kus ta jaotuskaevude kaudu suunatakse dreenidesse (vt. joon. 10-4, *b*).

4. VIHMUTUS

Vihmutusel on terve rida eeliseid, võrreldes teiste niisutusviisidega:

a) vihm parandab õhu maapinnalähedase kihi mikrokliimat (suurendab õhu niiskust, vähendab temperatuuri kõikumist);

b) läbides õhku piserdatult, rikastub vesi hapniku ja õhu teiste gaasiliste komponentidega;

c) vesi uhub taimedelt tolmu, putukkahjureid ning lehtedest ammoniaagi lagunemise mürgiseid produkte;

d) koos vihmutusveega on hõlpus anda lahustena väetisaineid ning taimekaitsevahendeid;

e) vihma intensiivsuse reguleerimisega saab vältida mulla struktuuri lõhkumist;

f) kastmisnormi on võimalik täpselt reguleerida;

g) vett kulub sama saagi tootmiseks kuni 2 korda vähem kui pindmisel niisutamisel;

h) vihmutus on teostatav praktiliselt igasuguse reljeefiga maastikul;

i) inimtööjõu vajadus on minimaalne;

j) maa põllumajanduslikku kasutamist takistab vähe.

Vihmutuse puudusteks on:

a) vee pumpamiseks kulub pidevalt mehaanilist energiat, mis suurendab ekspluatatsioonikulusid;

b) tugeva tuule puhul on vihm ebaühtlane.

Vihmutuse kasutamisel rajatakse vihmutussüsteem, mis üldjuhul koosneb pumbajaamast, statsionaarsest torustikust ja vihmutusagregaadist. Veeallikana kasutatakse sobivat lahtist veekogu või veejuhet. NSV Liidus kasutatakse: a) p o o l l i i k u v a t v i h m u t u s s ü s t e e m i, kus pumbajaam ja torustik on statsionaarsed (liikumatud), kuna vihmutusagregaat on liikuv; b) l i i k u v a t v i h m u t u s s ü s t e e m i, kus pumbajaam ja vihmutusagregaat, mis moodustavad ühe terviku (vihmutusmasina), on liikuv, torustik aga tavaliselt puudub.

P u m b a j a a m paikneb veeallika vahetus läheduses ning ta on kas

statsionaarne või liikuv. Pumbajaama koostisosadeks on pump (või pumbad) ja mootor. Kaldal liikuv pumbajaam on tavaliselt monteeritud jalastega varustatud platvormile, mida veab traktor. Kasutatakse ka pontoonile monteeritud ujuvaid pumbajaamu. Sageli täidab pumbajaama ülesandeid traktor, millele on monteeritud pump.

Pumpadena leiavad kasutamist tsentrifugaalpumbad (vt. tab. 10-6) ning jõuallikana statsionaarsetes pumbajaamades peamiselt elektrimootorid. Elektrienergia puudumisel kasutatakse sisepõlemismootoreid, eriti diiselmootoreid.

Tabel 10-6

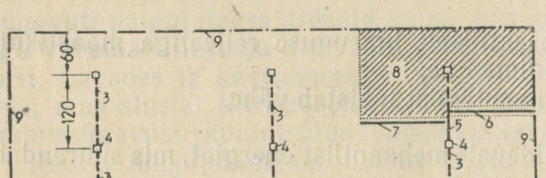
Vihmutamisel kasutatavate tsentrifugaalpumpade tehnilisi näitajaid

Pumba mark	Tootlikkus (l/sek)	Manomeetriline tõstekõrgus (m)	Pöörete arv minutis	Vajalik võimsus pumba võllil (hj)
3 HK	16...30	39...56	2900	17...22
4 HK	15...30	15...20	1450	6...10
4 K-6	18...25	95...100	2900	45...60
4 K-8	20...30	43...60	2900	30...40
6 K-8	30...60	27...37	1450	23...32
8 K-12	60...100	25...32	1450	50

Statsionaarne torustik monteeritakse 125...200 mm-se läbimõõduga metall- või asbesttsementtorudest ning see paigaldatakse ca 0,7...1,0 m sügavusse maa alla. On soovitatav projekteerida torustik kaldega pumbajaama poole, et ta pärast niisutusperioodi lõppu ise veest tühjeneks.

5. VIHMUTUSAGREGAADID

Vihmutusagregaate on konstrueeritud palju tüüpe. Terve rida uusi marke on praegu katsetamisjärgus. Veejoa paiskamise kauguse järgi jagunevad vihmutusagregaadid lühijoalisteks ja kaugjoalisteks. Mõlemad need omakorda jagunevad töötamisviisi järgi positsioonilise töötamisviisiga ja liikuvateks vihmutusagregaatideks; esimesed paigutatakse vihmutamisel teatavatesse punktidesse (positsioonidele) ning kui nad on seal haardeala vihmutanud, viiakse nad edasi uuele positsioonile, teised aga vihmutavad liikudes.

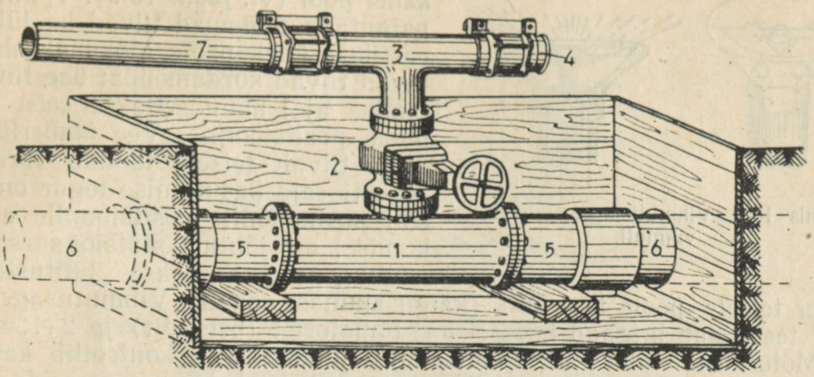


Joonis 10-5. Vihmutussüsteemi skeem КДУ-55М jaoks:

1 — veeallikas; *2* — pumbajaam; *3* — statsionaarne torustik; *4* — statsionaarne hüdrant; *5* — lülitustorustik; *6* — töötav vihmutustiib; *7* — ettevalmistatav vihmutustiib; *8* — vihmutatud maa-ala; *9* — vihmutatava maa-ala piirjoon.

Lühijoaline positsioonilise töötamisviisiga vihmutusagregaat КДУ. See vihmutusagregaat lülitatakse tavaliselt hüdrantide kaudu statsionaarse maa-aluse torustiku külge, kuid ta on kasutatav ka vahetus ühenduses pumbajaamaga (liikuvas vihmutussüsteemis). 1941. a. kuni viimase ajani oli kasutusel vihmutusagregaat КДУ-41, alates 1958. a. toodetakse aga moderniseeritud marki КДУ-55М.

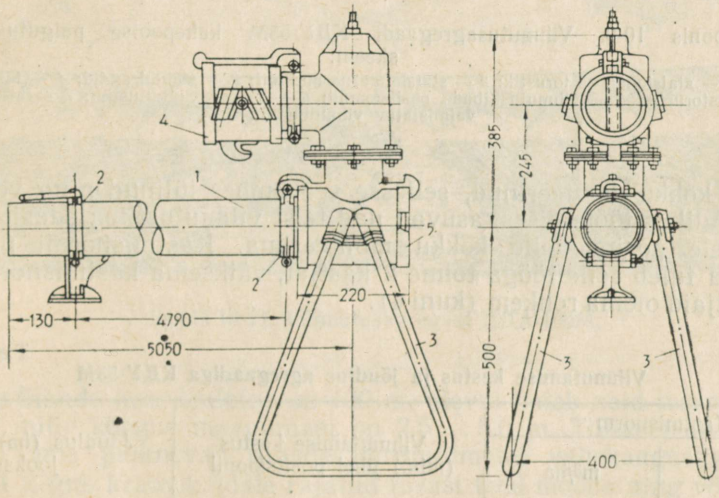
Joonisel 10-5 on kujutatud vihmutussüsteemi skeem КДУ-55М jaoks. Maa-alusel



Joonis 10-6. Statsionaarne hüdrant:
1 — malmist põhikolmik; *2* — siiber; *3* — lülituskolmik; *4* — sulgur; *5* — torujätked; *6* — metall- või asbesttsementtorud; *7* — lülitustorustik.

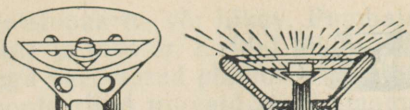
torustikul on iga 120 m tagant statsionaarne hüdrant (vt. joon. 10-6), mille külge lülitatakse vihmutusagregaadi lülitustorustik.

Vihmutusagregaat koosneb 55 m pikkusest lülitustorustikust ja kahest à 150 m pikkusest vihmutustiivast. Vihmutustiivad ja lülitustorustik monteeritakse kokku eriliste muhvide abil 5,0 m pikkustest ja ca 20 kg raskustest (koos muhvidega) alumiiniumtorudest, mille sisemine läbimõõt on 105 mm. Lülitustorustikul on 6 abihüdranti, vahekaugu-



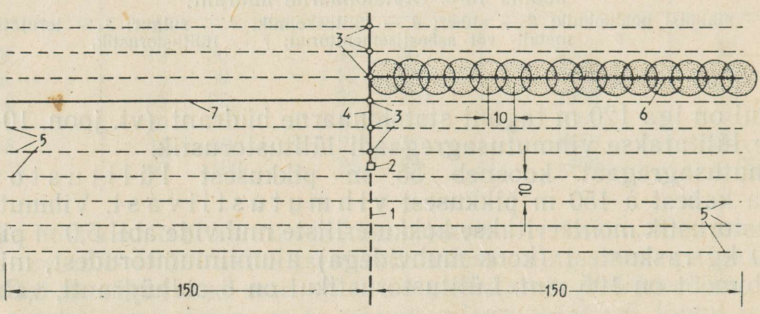
Joonis 10-7. Abihüdrant lülitustorustikul:
1 — toru; *2* — rangid; *3* — jalg; *4* — muhv vihmutustiiva lülitamiseks; *5* — hüdrandimuhv.

sega 10 m (vt. joon. 10-7), mille külge lülituspõlviku vahendusel kordamööda ühendatakse vihmutustiivad. Kummalgi vihmutustiival on 15 vihmutit (vt. joon. 10-8), vahekaugusega 10 m; nende üldine vooluhulk on 25 l/sek. 2,5-atmosfäärilise rõhu puhul hüdrandis paiskub vesi vihmutitest ringikujuliselt ca 6 . . . 7 m kaugusele. Praktiliselt vihmutab tiib ühelt positsioonilt maariba pikkusega 150 m ja laiusega 10 m. Vihmutustiivad asetsevad lülitustorustikust (samuti ka statsionaarsest torustikust) tavaliselt



Joonis 10-8. Vihmutusagregaadi КДУ vihmuti.

kahel pool (vt. joon. 10-9). Võimalik on paigutada mõlemad tiivad ka lülitustorustikust ühele poole. Mõlemal juhul töötavad tiivad kordamööda: ühe tiiva töötamise ajal monteeritakse teist ümber uuele positsioonile. Vee ümberlülimine ühelt tiivalt teisele toimub võrdlemisi kiiresti (aja kasutamise tegur on 0,95). Kui positsioonilt positsioonile edasiliikumisel on jõutud statsionaarse hüdrandini, monteeritakse lülitustorustik ümber teisele poole hüdranti (käigu suunas edasi). Vihmutusagregaati КДУ teenindab brigaad koosseisus: 1 motorist (brigadir) ja 2...4 kastjat. Motorist hooldab pumbajaama ning juhendab ja kontrollib kastjaid. Kastjate ülesanne on vihmutustiibu lahti ja kokku monteerida. Olles



Joonis 10-9. Vihmutusagregaadi КДУ-55М kahepoolse paigutuse skeem:

1 — statsionaarne torustik; *2* — statsionaarne hüdrant; *3* — abihüdrandid; *4* — lülitustorustik; *5* — vihmutustiibade positsioonid; *6* — töötav vihmutustiib; *7* — ettevalmistatav vihmutustiib.

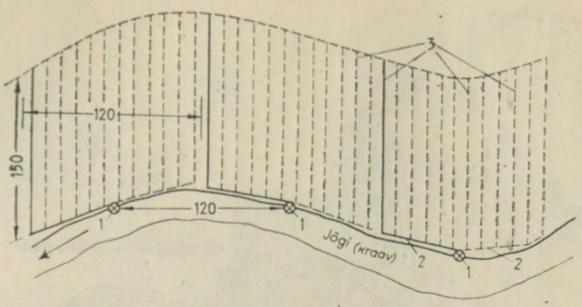
ühe tiiva kokku monteerinud, sellesse vee ümber lülinud ning veendunud tiiva korralikus töötamises, asuvad nad teist vihmutustiiba edasi kandma ning uuele positsioonile kokku monteerima. Kastmisnormi puhul üle 300 m³/ha tuleb selle tööga toime 2 kastjat, väiksema kastmisnormi puhul peab kastjaid olema rohkem (kuni 4).

Tabel 10-7

Vihmutamise kestus ja jõudlus agregaadiga КДУ-55М

Kastmisnorm		Vihmutamise kestus (min.) ühel positsioonil	Jõudlus (ha) 8 tunni jooksul
mm	m³/ha		
10	100	13,5...15	5,5
15	150	20	4,5
20	200	27...30	3,5
30	300	40	2,3
40	400	55...60	1,85

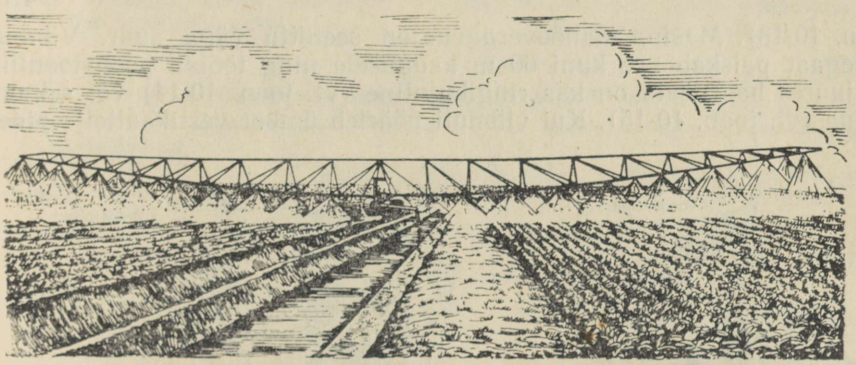
Kasutades vihmutusagregaati ilma statsionaarse torustikuta, s. o. liikuvas vihmutussüsteemis (vt. joon. 10-10), ühendatakse lülitustorustik otse pumbajaamaga, mis peab olema liikuv ning mis vahetab oma positsiooni 120 m tagant piki veejuhet.



Joonis 10-10. Vihmutusagregaadi КДУ-55М kasutamine liikuvas vihmutussüsteemis:
1 — liikuv pumbajaam; *2* — lülitustorustik; *3* — vihmutustiibade positsioonid.

(Varem toodetud vihmutusagregaadil КДУ-41 on lülitustorustik ning vihmutustiib koostatud terastorudest, sisemise läbimõõduga 100 mm, kaaluga ca 30 kg, vihmutustiiva pikkusega 120 m, ilma abihüdrantideta.)

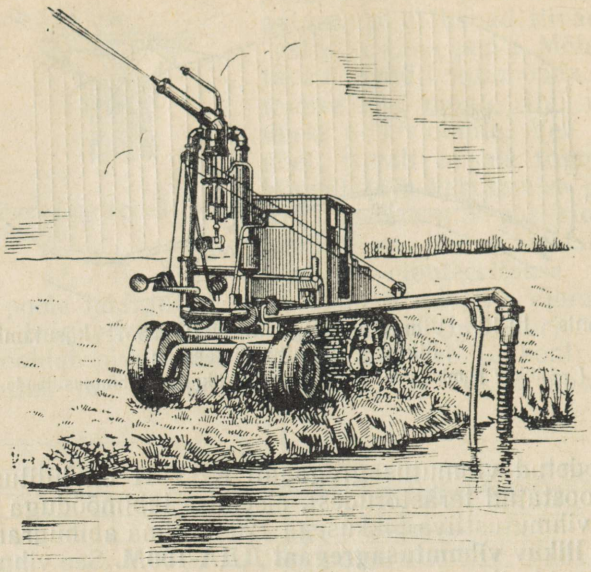
Lühijoaline liikuv vihmutusagregaat ДДА-100М. See vihmutusagregaat on üks võimsamaid vihmutusseadmeid; ta on monteeritud traktorile ДТ-54, vooluhulk on 100 l/sek ja päevane jõudlus 15...30 ha (vt. joon. 10-11).



Joonis 10-11. Vihmutusagregaat ДДА-100М.

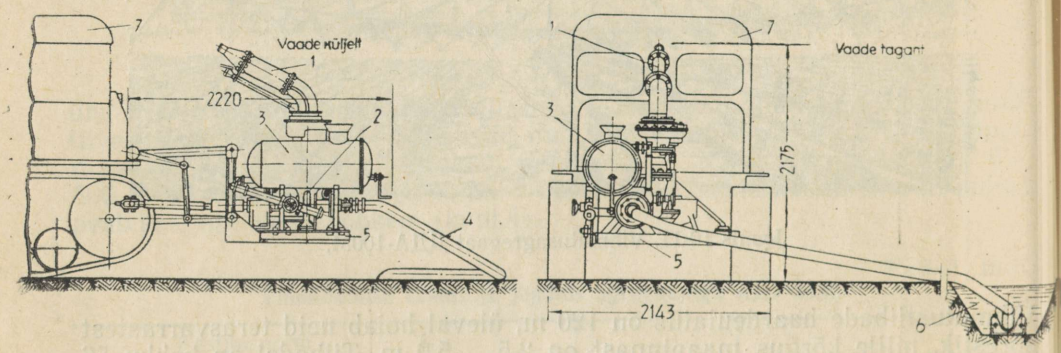
Vihmutustiibade haardeulatus on 120 m, üleval hoiab neid terasvarrastest sõrestik, mille kõrgus maapinnast on 2,5...5,0 m. Tiibadel on kokku 56 vihmutit, mis paiknevad tiibade harujuhtmetel vahekaugusega 5,0 m. Agregaat liigub kraavikaldale rajatud tasast teed mööda ning võtab niisutusvett kraavist. Vee sügavus kraavis peab olema vähemalt 0,5 m. Agregaati teenindab traktorist ja üks abitööline; viimane reguleerib pumba imitorustiku asendit masina liikumisel ja jälgib vihmutustiibade seisukorda. Kohane on see masin majandeis, kus niisutatakse suuri maamassiive. Niisutatav maa-ala peab olema puudest lage ning omama korrapärast niisutuskraavide võrku, vahekaugusega 120 m.

Kaugjoaline vihmutusagregaat ДДН-45. See vihmutusagregaat on kujundatud senini kasutusel olevast vihmutusagregaadist ДДП-30с (vt. joon. 10-12), mille tootmine on alates 1958. a. lõpetatud. Nagu eelminegi, koosneb ka ДДН-45 pumbast ja kahe joatoruga kaugjoalisest vihmutist, kuid erinevalt sellest on ta monteeritav traktorile ДТ-54А rippasendis (vt.



Joonis 10-12. Vihmutusagregaat ДДП-30с.

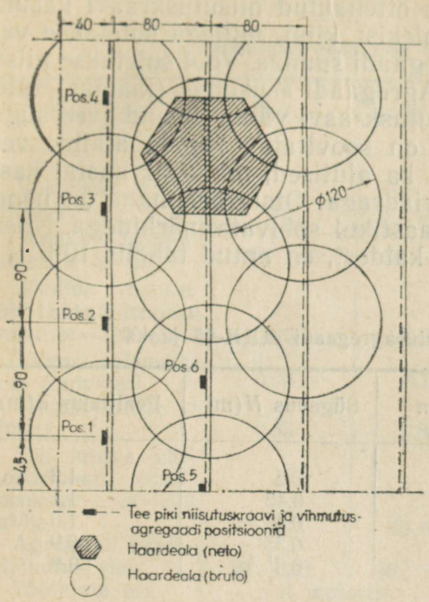
joon. 10-13). Masina manööverdavus on seetõttu väga suur. Vihmutusagregaat paiskab vee kuni 60 m kaugusele ning töötab positsiooniliselt, kusjuures haardeala on kas ringikujuline (vt. joon. 10-14) või sektorikujuline (vt. joon. 10-15). Kui vihmuti pöörleb ümber vertikaaltelje pidevalt



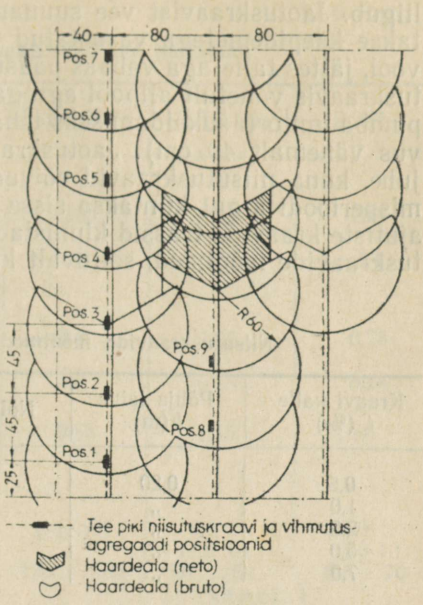
Joonis 10-13. Vihmutusagregaat ДДН-45:
1 — joatorud; *2* — pump; *3* — paak vee või vedelväetise jaoks; *4* — painduv imitoru; *5* — klapp; *6* — kraav; *7* — traktor.

ühes suunas, vihmutab ta ringikujulise maa-ala (haardeala), kui ta aga pöörleb edasi-tagasi, on haardeala sektorikujuline. Esimesel juhul on haardeala suurus ca 0,70 ha ja teisel juhul ca 0,35 ha. Sektorite viisi vihmutamine osutub paratamatuks neil juhtudel, kui tugeva tuule või küllaldase surve puudumise tõttu jääb joa kaugus väiksemaks kui 52 m ja enam ei ole tagatud mulla ühtlaseks niisutamiseks vajalik ringikujuliste haardealade kattuvus.

Vihmutamiseks ühel positsioonil kuluv aeg sõltuvalt kastmisnormist on toodud tabelis 10-8.



Joonis 10-14. Vihmutusagregaadi ДДН-45 töötamise skeem ringikujulise haardeala puhul.



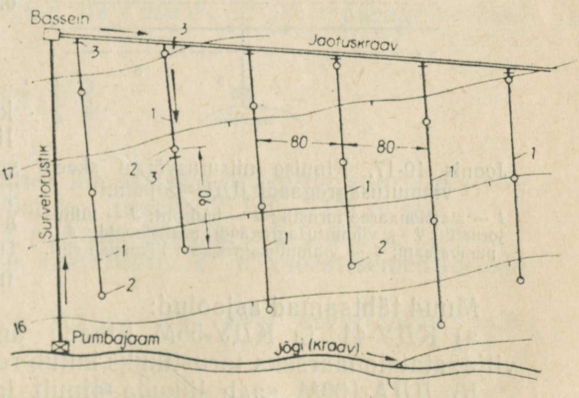
Joonis 10-15. Vihmutusagregaadi ДДН-45 töötamise skeem sektorikujulise haardeala puhul.

Tabel 10-8

Vihmutamise kestus agregaadiga ДДН-45

Kastmisnorm		Ringikujulise haardeala puhul (min.)	Sektorikujulise haardeala puhul (min.)
mm	m³/ha		
10	100	40	20
20	200	80	40
30	300	120	60
40	400	160	80

Vihmutusagregaadi varustamiseks kastmisveega peab niisutataval maa-alal olema rajatud niisutuskraavide võrk, vahekaugusega 80 m, vooluhulgaga ca 35 ... 40 l/sek. Liikudes kraavi kaldal, valitakse masinale positsioonid, vahekaugusega 90 m või 45 m, sõltuvalt töötamise viisist (vt. joon. 10-14 ja 10-15). Joonisel 10-16 on kujutatud lahtise niisutusvõrgu skeem vihmutusagregaadi ДДН-45 puhul. Pumbajaam pumpab vee üles basseini, kust vesi isevoolu teel jaotuskraavi ning sealt edasi niisutuskraavidesse



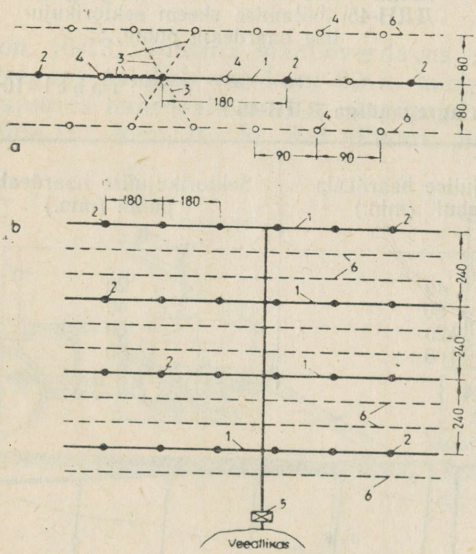
Joonis 10-16. Lahtise niisutusvõrgu skeem vihmutusagregaadi ДДН-45 puhul:
1 — niisutuskraavid; *2* — agregaadi positsioonid (jaamad); *3* — voolu sulgemise kilbid.

liigub. Jaotuskraavist vee suunamiseks ettenähtud niisutuskraavi kasutatakse käepidemetega varustatud terasplekist kilpi, millega suletakse veevool, jättes talle aga vabaks pääsu agregaadi suunas. Vool suletakse niisutuskraavis vahetult allpool agregaati. Agregaadi asukohas (jaamas) tuleb pumba imitoru sukeldamiseks teha niisutuskraavi väike süvend (vee sügavus vähemalt 40 cm). Jaotuskraaviks on soovitatav rajada alaline veejuhe, kuna niisutuskraavid võivad olla ka ajutised, mis igal aastal kastmisperioodi algul küntakse sisse kraaviadraga. Otstarbekohane on nende ajutiste kraavide trassid kinnistada maastikul sobivate märkidega. Niisutuskraavide mõõtmed, sõltuvalt kraavi kaldest, on antud tabelis 10-9.

Tabel 10-9

Niisutuskraavide mõõtmed vihmutusagregaadi ДДН-45 jaoks

Kraavi kalle i (‰)	Põhja laius b(m)	Nõlvus 1:m	Sügavus H(m)	Pealtlaius a(m)
0,5	0,20	1:1	0,5	1,2
1,0	„	„	0,45	1,1
2,0	„	„	0,4	1,0
5,0	„	„	0,35	0,9
7,0	„	„	0,3	0,8



Joonis 10-17. Kinnise niisutusvõrgu skeem vihmutusagregaadi ДДН-45 puhul:
1 — statsionaarne torustik; *2* — hüdrant; *3* — lülitustorustik; *4* — vihmutusagregaadi positsioonid; *5* — pumbajaam; *6* — vihmutusagregaadi liikumise siht.

Lahtist veejuhtmete võrku on võimalik asendada statsionaarse torustikuga (vt. joon. 10-17), millel vihmutamise puhul ringikujuliste haardealade viisi tuleb iga 180 m tagant ette näha hüdrant. Et vihmutada saaks ka sektorite viisi, peab hüdrantide vahekaugus olema 90 m. Hüdrandist vee vihmutusagregaadi juurde juhtimiseks tuleb kasutada 90 m pikkust lülitustorustikku. Vihmutusagregaadi positsioonide skeem on näha joonisel.

6. VIHMUTUSAGREGAATIDE ÜLDINE ISELOOMUSTUS

Vihmutusagregaadi tüübi valikul on määrava tähtsusega tehnilismajanduslikud näitajad ning sobivus antud majandi maastikule. Tabelis 10-10 on kokkuvõtlikult antud eespool kirjeldatud vihmutusagregaatide tähtsamad tehnilismajanduslikud näitajad.

Muud tähtsamad asjaolud:

a) КДУ-41 ja КДУ-55М liibade ümberasetamisel tallavad kastjad vilja; statsionaarseks torustikuks kulub rohkesti metalli;

b) ДДА-100М saab liikuda ainult lagedal, suhteliselt tasasel maastikul; kraavi kaldal peab olema hästi planeeritud tee; niisutataval maa-alal peab olema küllalt tihe veejuhtmete võrk (vahekaugusega 120 m);

Tabel 10-10

Vihmutusagregaatide tehnilismajanduslikke näitajaid

Näitajad	КДУ-41	КДУ-55М	ДДА-100М	ДДП-30с	ДДН-45
Vooluhulk Q (l/sek)	18	25	100	30	33
Vajalik mootori võimsus N (hj)	30...40	30...40	54	54	54
Jõudlus (ha/tunnis) kastmisnormi puhul $m=300$ m³/ha	0,15	0,25	0,80	0,25	0,28
Vihma intensiivsus (mm/min)	0,90	0,75	3,0	0,18	0,18
Vihmapiiskade Ø (mm)	0,85	0,85	0,85	1,15	1,0
Töö kestus ühel positsioonil (kastmisnorm $m=300$ m³/ha)	35 min.	40 min.	(liigub)	2,0 t. (1,0 t.)	2,0 t. (1,0 t.)
Agregaadi sesoonijõudlus (ha)	30...40	50...65	150...200	50...60	50...70
Töötajate arv	1 motorist 2 kastjat			1 traktorist 1 abitööline	
Sobiv pumbatüüp	4К-6 4К-8	4К-6 4К-8	8К-12	4К-6	4К-6

c) ДДП-30с ja ДДН-45 vihmapiisad on suured, võivad vigastada õrnu taimi; tuule kiiruse puhul üle 2,0 m/sek on vihm ebaühtlane (vihmutada tuleb sektorite viisi); ei nõua korralikku teed; on kergesti manööverdatav.

7. VIHMUTUSSÜSTEEMI HÜDRAULILISED JA ENERGEETILISED ARVUTUSED

Vihmutussüsteemi projekteerimisel on vajalikud mõningad hüdraulilised ja energeetilised arvutused. Neist on tähtsamad statsionaarse torustiku diameetri, pumbamootori võimsuse, energiakulu ja agregaadi jõudluse määramine vihmutamisel.

Statsionaarse torustiku diameeter (d) määratakse valemiga (vt. val. 5-82)

$$d=1{,}13\sqrt{\frac{Q}{V}},$$

milles V — arvutuslik (ökonoomne) kiirus (m/sek), mille suuruseks vihmutussüsteemides võetakse tavaliselt 1,0...1,5 m/sek;

Q — arvutuslik vooluhulk (m³/sek, lähemalt vt. § 5-5, p. 2).

Kasutatakse standardmõõtmeis metalltorusid ja asbesttsementtorusid (vt. tab. 5-9, 5-11).

Vajalik pumbamootori võimsus (N) arvutatakse valemiga (vt. val. 5-85, 5-86 ja 5-88)

$$N=\frac{QHn}{75\eta}\ \text{(hj)}$$

või valemiga

$$N=\frac{QHn}{102\eta}\ \text{(kW)}.$$

Nendes Q — vihmutussüsteemi vooluhulk (l/sek) ja
H — pumpamise manomeetriline tõstekõrgus (m),

$$H = H_g + H_c + h_t,$$

kus H_g — geodeetiline tõstekõrgus (m), s. o. kõrgusvahe veeallika veetaseme ja vihmuti (või hüdrandi) vahel;
H_c — vabasurve (m); vabasurve oleneb vihmutusagregaadi tüübist (КДУ-1 on see 25,0 m hüdrandis ning ca 11,0 m vihmutustiiva lõpus);
h_t — survekadu vihmutustorustikus (m) alates veeallikast kuni sihtkohani (hüdrandini või vihmutustiiva lõpuni); survekadu määratakse valemitega 5-40 ja 5-69 ... 5-81;
n — pumbamootori võimsuse varutegur (võetakse suvaliselt 1,1 ... 1,3) ja
η — pumbaseadme kasutegur.

Energiakulu (E) vihmutamisel arvutatakse valemiga

$$E = Fme, \qquad (10\text{-}11)$$

kus E — ühekordseks kastmiseks kuluv energia (kWh);
F — vihmutatava maa-ala suurus (ha);
m — kastmisnorm (mm) ja
e — keskmine erienergia vihmutamisel (kWh), s. o. energiakulu keskmiselt 1 ha kohta antud maa-ala vihmutamiseks sademete-hulgaga 1 mm; erienergia arvutatakse valemiga

$$e = \frac{0{,}0273H}{\eta}, \qquad (10\text{-}12)$$

milles tegurite tähendus on endine.

Vihmutusagregaadi ööpäevane jõudlus (f_o) määratakse valemiga

$$f_o = \frac{8{,}64Q\beta}{m} \text{ (ha)}. \qquad (10\text{-}13)$$

Sesoonijõudlus (F_o), s. o. maa-ala suurus, mille üks agregaat suudab ühel kastmisperioodil ära kasta, määratakse valemiga

$$F_o = \frac{8{,}64Qt\beta}{m} \text{ (ha)}, \qquad (10\text{-}14)$$

milles
Q — vihmutusagregaadi vooluhulk (l/sek);
t — kastmisperioodi pikkus päevades (vt. § 10-2, p. 3);
β — aja kasutamise tegur; $\beta = \frac{\tau}{24}$, kus τ — agregaadi puhas tööaeg tundides ühe ööpäeva kohta, (tavaliselt $\beta \approx 0{,}6 \ldots 0{,}9$); ja
m — kastmisnorm (mm).

Näide. Määrata КДУ-55М jaoks statsionaarse torustiku diameeter, vajalik pumbamootori võimsus, energiakulu vihmutamisel ja agregaadi sesoonijõudlus, kui on antud (vt. joon. 10-5): kaugus veeallikast kaugeima hüdrandini — 640 m, kaugus lähima hüdrandini — 100 m; geodeetiline tõstekõrgus (hüdrandini) — 10,0 m (maksimaalne) ning 4,0 m (minimaalne), kastmisnorm $m = 30$ mm; $t = 12$ p.; $\beta = 0{,}80$; vihmutatava maa-ala suurus $F = 52$ ha; torustiku materjal — teras.

Lahendus. 1) Torustiku diameeter $d=1{,}13\sqrt{\frac{0{,}025}{1{,}25}}=0{,}16$ m. Tabelist 5-9 valime sellele lähima suuruse: $d=156$ mm. 2) Pumbamootori võimsus $N=\frac{QHn}{102\eta}$; $Q=25$ l/sek; $n=1{,}2$; $\eta=0{,}65$; $H=H_g+H_c+h_t$; $H_c=25{,}0$ m (hüdrandis); kohalikeks survekadudeks arvestame 15% jooksvatest survekadudest, seega kogu survekadu $h_t=1{,}15\ h_j$. Määrame h_j-i valemiga 5-71 ja tabeliga 5-9; et voolu kiirus $V=\frac{Q}{\omega}=\frac{25}{18{,}9}=1{,}32$ m/sek, saame tabelist 5-10: $a=1{,}0$; tabelist 5-9 leiame diameetrile 156 mm vastava $A=33{,}9$; seejärel $h_j=AQ^2la=33{,}9\cdot 0{,}025^2\cdot 640\cdot 1{,}0=13{,}55$ m ning $h_t=$ $=1{,}15\cdot 13{,}55=15{,}6$ m. Nüüd arvutame $H_{max}=10{,}0+25{,}0+15{,}6=50{,}6$ m ja $N=\frac{25\cdot 50{,}6\cdot 1{,}2}{102\cdot 0{,}65}=22{,}9\approx 23$ kW. 3) Minimaalne $h_j=AQ^2la=33{,}9\cdot 0{,}025^2\cdot 100\cdot$ $\cdot 1{,}0=2{,}1$ m, minimaalne $h_t=1{,}15\cdot 2{,}1=2{,}45$ m; $H_{min}=4{,}0+25{,}0+2{,}45=$ $=31{,}45$ m. $e_{max}=\frac{0{,}0273\cdot 50{,}6}{0{,}65}=2{,}12$ kWh; $e_{min}=\frac{0{,}0273\cdot 31{,}45}{0{,}65}=1{,}32$ kWh; keskmine $e=\frac{2{,}12+1{,}32}{2}=1{,}72$ kWh. Energiakulu vihmutamisel $E=52\cdot 30\cdot$ $\cdot 1{,}72=2680$ kWh. 4) $F_o=\frac{8{,}64\cdot 25\cdot 12\cdot 0{,}80}{30}=69$ ha.

§ 10-6. VÄETAV NIISUTUS

Väetavaks niisutuseks (väetusniisutuseks) nimetatakse niisutust veega, milles leidub märgataval hulgal taimetoitaineid. Väetav niisutus võib Eesti NSV tingimustes toimuda: 1) luhaheinamaade tulvniisutuse näol kevadisel suurveeperioodil ning 2) rühvelviljade vaguniisutusena reoveega.

1. LUHAHEINAMAADE TULVNIISUTUS (ÜLEUJUTUS KEVADISEL SUURVEEPERIOODIL)

Looduslike luhaheinamaade suurem saagikus võrreldes aruheinamaadega on suurel määral tingitud tulvavee väetavast toimest (Kasari jõe luht, Korva luht jne). Jõevesi sisaldab teataval määral nii lahustunud kui ka hõljuvas olekus taimetoitaineid. Eesti NSV jõgedes leidub 1 m³ vee kohta keskmiselt: CaO — 56 g, MgO — 14 g, K_2O — 1,5 g ja P_2O_5 — 0,07 g [4]. Nende ainete sisaldus vees on eri aastaaegadel erinev; kevadel, millal lumesulamisvesi uhub maapinda, on neid aineid tunduvalt rohkem kui suvel. Põldudelt ja asustatud aladelt tulev vesi on taimetoitainete poolest rikkam kui metsade vesi; soodest tuleval veel ei ole praktiliselt mingit väetavat mõju.

Luhtade kevadise üleujutuse positiivne mõju on tingitud järgmistest asjaoludest:

a) vesi niisutab mulda;

b) tulvavees lahustunud taimetoitained neelduvad mullas; neeldumine toimub aga ainult siis, kui vesi on nende ainete poolest rikkam kui muld, vastasel juhul, eriti siis, kui vesi sisaldab rohkesti söehappegaasi (CO_2), viib tulvavesi mullast taimetoitaineid ära;

c) peened hõljuvad uhtmed, settides luhale, parandavad mulla lõimist ning struktuuri ja rikastavad mulda taimetoitainetega, eriti K_2O-ga ja P_2O_5-ga;

d) vesi toob kaasa kasulikke mullabaktereid (eriti azotobaktereid), rikastades niiviisi luhamulla mikrofloorat;

e) teatav tähtsus on ka tulvavee hapendaval ja soojendaval toimel.

Kuid üleujutus võib anda ka soovimatuid tagajärgi; nimelt võib vesi kanda luhale jämedaid uhtmeid (liiva) ja sellega rikkuda kamarat ning halvendada mulla lõimist; samuti võib kestev üleujutus põhjustada luha soostumist. Vegetatsiooniperioodil (rohukasvu ajal) on üleujutus kahjulik ja seetõttu lubamatu; juba lühiaegnegi üleujutus võib hävitada saagi täielikult. (Üleujutuste reguleerimisest vt. § 8-1.)

2. NIISUTUS REOVEEGA

Reovesi ehk roiskvesi (asulate kanalisatsioonivesi, tööstuste heitevesi jne.) sisaldab tähelepanuväärsel hulgal taimetoitaineid, mispärast on otstarbekohane kasutada seesugust vett ära väetusniisutamiseks. Taimetoitainete sisaldus kanalisatsioonivees sõltub antud asula veetarbimisest: mida väiksem on vee tarbimine ühe inimese kohta, seda suurem on tavaliselt taimetoitainete kontsentratsioon reovees. Vee tarbimisel 150 liitrit ööpäevas 1 inimese kohta on reovees lisandeid keskmiselt umbes 900 g/m^3, sellest lämmastikku (N) 90 g, fosforhapendit (P_2O_5) 15 g ja kaalit (K_2O) 40 g.

Taimetoitainete vahekord reovees ei ole väetamiseks sobiv; selles on võrreldes lämmastikuga fosforhapendit ja eriti kaalit liiga vähe, mispärast suurte saakide saamiseks tuleb viimaseid juurde anda.

Tööstuste heitevees tuleb ette ka taimedele kahjulikke ühendeid (kloriide, sulfiide, fenoole jm.); eriti palju on neid tekstiilivabrikute, keemiatehaste ning põlevkivi ja nafta ümbertöötlemise tehaste heitevees. Toiduainetetehaste heitevesi ei sisalda tavaliselt lubamatul määral kahjulikke ühendeid. Reovesi võib sisaldada ka patogeenseid baktereid ning soolenugiliste mune.

Enne niisutusväljale juhtimist tuleb reovesi mehaaniliselt puhastada, s. o. vabastada tarbetust ballastist (liiv, paber, kaltsud jms.) ning lasta kiirusega ca 1 mm/sek läbi settebasseini, milles setivad hõljuvad lisandid, sealhulgas ka soolenugiliste munad. Settebassein rajatakse tavaliselt kõrgemale kohale, kuhu reovesi sisse pumbatakse ning kust puhastatud vesi lahtiste veejuhtmete abil üle niisutusvälja laiali juhitakse.

Mehaaniliselt eelpuhastatud reovett on lubatud kasutada järgmiste kultuuride kastmiseks:

a) tehnilised ja söödakultuurid ning teravili;

b) kartul, kaalikas, peet, kõrvits, naeris;

c) kapsas (tingimusel, et kastmine lõpetatakse vähemalt 20 päeva enne koristamist);

d) rohumaa (tingimusel, et kastmine lõpetatakse vähemalt 10 päeva enne karjatamist);

e) toorelt söödavad köögiviljad (kurk, salat, sibul, porgand, redis) — juhul kui on välditud reovee kokkupuude taimede söödavate osadega (maa-alune niisutus, niisutus sügavate vagudega).

Reoveega niisutamiseks sobivad paremini kergemad ja keskmised mullad, kuna raskete muldade (savi, raske liivsavi) poorid kipuvad ummistuma. Kastmisnormina kasutatakse tavaliselt 300 ... 600 m^3/ha. Niisutusviisiks on rühvelviljade puhul vaguniisutus (vt. joon. 10-2) ning teravilja ja rohumaa puhul valgniisutus. Kastjad peavad tundma sanitaarnõudeid ja olema varustatud kummisäärikute, põlle ning present- või kummikinnastega. Hügieenilistel kaalutlustel on nõutav, et niisutusväljad paikneksid asulatest vähemalt 300 m kaugusel.

KIRJANDUST

1. Kirde, K. Andmeid Eesti kliimast. Tartu, 1939.
2. Kaitera, Pentti. Miten voin torjua kuivuutta. Helsinki, 1942.
3. Schroeder, G. Landwirtschaftlicher Wasserbau. Berlin, 1937.
4. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
5. Varajase köögivilja kasvatamine. Kogemusi Eesti NSV-s. Koostanud K. Vahenõmm. Tallinn, 1960.
6. Беляев В. В., Лебедев Б. М. Дождевальные машины. Москва, 1957.
7. Битюков К. К., Михайлов М. Н., Попова В. Я. Приемы накопления и сохранения влаги в почве. Москва, 1953.
8. «Гидротехника и мелиорация» 1949 ... 1960.
9. Костяков А. Н. Основы мелиораций. Москва, 1960.
10. Кривоносов И. М., Селиверстов М. Н. Сельскохозяйственные мелиорации в нечерноземной полосе. Москва-Ленинград, 1957.
11. Лаптев И. М. Орошение садов. Москва, 1960.
12. Петров Е. Г. Орошение в овощеводстве. Москва, 1955.
13. Петров Е. Г. Орошение овощных культур. Москва, 1954.
14. Поспелов А. М. Дождевание. Москва, 1952.
15. Розин В. А. Мелиорация с основами сельскохозяйственного водоснабжения. Москва-Ленинград, 1954.
16. Федоренко И. Д., Чичасов В. Я. Орошение овощных культур и картофеля. Москва, 1955.
17. Федоренко И. Д., Шеленков В. М. Орошение сельскохозяйственных культур в ЦЧП. Москва, 1954.
18. Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Москва, 1958.

ÜHETEISTKÜMNES PEATÜKK

MULLA OMADUSTE PARANDAMINE

§ 11-1. HAPPELISTE MULDADE LUPJAMINE

1. HAPPELISTE MULDADE LEVIK

Prof. O. Halliku andmetel on 40% Eesti NSV põllumuldadest happelise reaktsiooniga (pH_{KCl} alla 5,5).

Kõige ulatuslikumalt esineb happelisi muldi Lõuna-Eesti lubjavaesel punakaspruunil moreenil kujunenud muldadel. Nii on Põlva ja Räpina ümbruses praktiliselt kõik põllumullad happelised ja vajavad lupjamist. Kallaste ümbruses esineb neid 85%, Abja, Antsla, Valga, Vastseliina ja Võru ümbruses 75%, Tõrva ümbruses 72%, Mustvee ümbruses 68% ja Tartu ümbruses 58%. Mujal Lõuna-Eestis esineb happelisi muldi alla 50%.

Põhja-Eestis, kus mullad on kujunenud lubjarikkal rähkmoreenil, esineb happelisi muldi vaid niisugustel aladel, kus rähkmoreen puudub ning seda asendab lubjavaene settematerjal, mille lõimiseks on enamasti liiv või kerge saviliiv. Põhja-Eesti aladel esineb kõige rohkem happelisi muldi Jõhvi (48%) ja Türi (42%) ümbruses. Vähemas ulatuses esineb happelisi muldi aga igal pool ja isegi peaaegu igas majandis.

2. MULLA LUPJAMISVAJADUSE KINDLAKSMÄÄRAMISE VIISE

Mulla happesust ja selle järgi lupjamisvajadust võib kindlaks määrata kas kaudsel teel mulla profiili, taimestiku ja keemisproovi järgi või otseste keemiliste meetodite abil.

Kaudsed meetodid võimaldavad orienteerivalt otsustada, kas muld on lubjarikas või -vaene, kuid ei võimalda määrata mulla happesuse astet ega doseerida vajalikku lubiväetise normi.

Kui mulla profiilis järgneb pealmisele, tumedamale huumushorisondile selgelt märgatav valkjashall leethorisont, siis vajab muld enamasti lupjamist. Mulla lubjatarve on seejuures seda suurem, mida heledam ja tüsedam on leethorisont. Mulla profiili ehitust ei saa aga võtta kindla lubjavajaduse kriteeriumina, sest esineb ka muldi, mille huumushorisondi alune valkjashall kiht pole tingitud leetumisest, vaid mulla lähtematerjali värvusest. Samuti esineb küllalt muldi, millel leethorisont pole selgelt välja kujunenud, kuid muld on happeline ja vajab lupjamist.

Ligikaudu saab mulla lubjasisalduse üle otsustada ka taimestiku järgi. Nimelt on taimi, mis kasvavad kas ainult leeliseses või ainult happelises keskkonnas (vt. 2. ptk.).

Kindlamaks lubjasisalduse üle otsustamise viisiks on nn. «keemisproov» 10%-lise soolhappega. Nimelt tekib vabade karbonaatide esinemise korral mullas soolhappe pealetilgutamisel süsihappegaas, mis eraldub mullast kihisedes, jättes keemise mulje. «Keemine» on seda intensiivsem, mida rohkem muld sisaldab vabu karbonaate. Muld, mis sisaldab vabu karbonaate, lupjamist ei vaja, isegi siis mitte, kui «keemine» peaks esinema 50...60 cm sügavusel.

Täpsemalt saab mulla happesust ja lubjatarvet kindlaks määrata keemiliste meetoditega. Selleks määratakse mullalahuse reaktsioon (pH) või siis hüdrolüütiline happesus.

Kõige täpsemaks viisiks on mullalahuse reaktsiooni määramine elektromeetriliselt. Et see meetod nõuab aga laboratooriumi, s. t. vastavate seadmete olemasolu, siis on praktikas rohkem levinud pH määramine kolorimeetriliselt.

Üks lihtsamaid pH kolorimeetrilise määramise viise on määramine universaalindikaatoriga. Kasutusel oleva universaalindikaatori lahuse värvus on tugevasti happelises keskkonnas punane, happelises oranž, nõrgalt happelises kollane, neutraalses roheline ja leeliseses sinine.

Mulla reaktsiooni määramiseks võetakse portselannõu (kausike, tiigel, tassipõhi), hõõrutakse see 2...3 korda uuritava mullaga üle, asetatakse sellesse siis umbes pool grammi mulda ja tilgutatakse peale paar kuupsentimeetrit universaalindikaatorit. Mullast läbiimbunud lahust, mis on vastavalt mulla reaktsioonile muutnud oma värvust, võrreldakse trükitud värviskaalaga, millele on märgitud vastavalt värvile mulla happesuse näitaja (pH) ja enamasti ka mulla neutraliseerimiseks vajalik lubjakogus süsihapu lubjana ($CaCO_3$). Et mullast läbiimbunud lahus õhu käes võrdlemisi ruttu oma värvust muudab, tuleb värvusi võrrelda võimalikult kiiresti. Eriti kehtib see savi- ja turvasmuldade puhul.

Lupjamist vajavad kindlasti kõik mullad, mille pH on alla 5,0, kuid enamasti osutub vajalikuks lubjata muldi, mille pH on <5,5. Mullad, mille pH on üle 5,5, tavaliselt lupjamist ei vaja.

Peale mullalahuse reaktsiooni (pH) on lupjamisvajaduse kindlaksmääramisel suur tähtsus ka küllastusastmel. Seda eriti siis, kui mullalahuse pH on 5,0 ja 5,5 vahel. Seos mullalahuse pH, küllastusastme ja lupjamisvajaduse vahel on näidatud tabelis 11-1.

Tabel 11-1

Mulla lubjavajaduse sõltuvus pH-st ja küllastusastmest

pH_{KCl}	Küllastusaste		Lubjavajadus	
			kui kartuli ja lina osatähtsus on	
	kerged mullad	rasked mullad	väike	suur
kuni 4,5	—	—	vajab	vajab
4,6—5,0	—	—	„	„ vähe
5,1—5,5	kuni 60%	kuni 75%	„	„ vähe
5,1—5,5	üle 60%	üle 75%	„ vähe	ei vaja
üle 5,5	—	—	ei vaja	„

Üldiselt on reegliks, et mullad küllastusastmega alla 50% vajavad tugevat lupjamist, kuna mullad küllastusastmega üle 70% lupjamist ei vaja.

Muldade küllastusastet saab arvutada ainult laboratoorsete analüüside põhjal.

Kõige täpsemalt saab mulla lubjavajadust määrata mulla hüdrolüütilise happesuse järgi. Selle meetodi kasutamine eeldab vastava laboratooriumi olemasolu ja selleks vajalikkude mullaproovide võtmist vastava ettevalmistuse saanud töötaja poolt.

3. LUBJAANNUSTE DOSEERIMINE

Lubjaannused doseeritakse mullalahuse pH või hüdrolüütilise happesuse alusel.

Mullalahuse pH alusel doseeritakse lubjaannuseid tabelis 11-2 antud üleliiduliste normide järgi. Et need normid on väljendatud puhta $CaCO_3$-na, siis tegeliku lubiväetiskoguse leidmiseks tuleb arvestada veel iga lubiväetise kaltsiumkarbonaadi sisaldust.

Tabel 11-2

Lubjavajaduse sõltuvus mulla pH-st

Mulla lõimis	pH kaaliumkloriidileotises					
	kuni 4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4—5,5
	kaltsiumkarbonaati t/ha					
Liiv ja saviliiv	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
Kerge- ja keskmine liivsavi	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Raske liivsavi ja savi	8,0	7,5	6,5	5,5	5,0	4,5

Enamasti kõigub kaltsiumkarbonaadi hulk õhukuivas lubiväetises 50...60% vahel, mistõttu lubiväetise annused tuleb võtta tabelis toodud lubjavajadusest praktiliselt poole suuremad. Kui lubiväetise $CaCO_3$ sisaldus on teada laboratoorse analüüsi järgi, siis arvutatakse lubiväetise annus järgmiselt:

$$\frac{CaCO_3 \text{ norm} \times 100}{CaCO_3 \text{ \% lubiväetises}}.$$

Täpsemaks lubjaannuse doseerimise aluseks on selle arvestamine mulla hüdrolüütilise happesuse järgi, mida väljendatakse tavaliselt milliekvivalentides 100 g mulla kohta. Lubjanormi tonnides hektarile (väljendatud $CaCO_3$-na) saame, kui korrutame leitud milliekvivalente koefitsiendiga 1,5. Viimane on saadud järgmiselt: 1 m-ekv H on ekvivalentne 50 mg $CaCO_3$-ga. Et hüdrolüütiline happesus (H) on väljendatud 100 g mulla kohta, siis sellelt üleminekuks 1 ha künnikihi kaalule (20 cm sügavuse mullakihi kaal on 3 milj. kg), tuleb 50 korrutada 30 miljoniga. Et milligrammidest üle minna tonnidele, on vaja tulemus jagada 1 miljoniga. Arvutuse lõpptulemus annabki koefitsiendi 1,5.

Ülaltoodud määramisviisidega leitakse normid, mis on vajalikud mulla happesuse täielikuks neutraliseerimiseks, mille tõttu neid nimetatakse lubiväetiste täisannusteks. Arvukate põldkatsete tulemused on aga näidanud, et majanduslikult kasulikum on neid annuseid vähendada poolele ja isegi veerandile, millega saavutatakse peaaegu niisama suur saakide tõus ja ka mulla agronoomiliste omaduste paranemine kui täisannuse kasutamisel. Sama lubjakogusega saab aga siis väetada kaks korda suurema maa-ala. Seepärast võib juhul, kui mulla lubjavajadus pole hüdrolüütilise happesuse järgi määratud, kasutada tabelis 11-2 toodud $CaCO_3$ norme lubiväetise kasutamisnormidena.

Turvasmuldadele võib soovitada orienteerivalt järgmisi lubjanorme ($CaCO_3$-na):

a) halvasti lagundunud rabamullad — 8...10 t/ha
b) keskmiselt „ „ — 6... 8 „

c) sügava sfagnumturbakattega üleminekusoomullad — 5 ... 6 t/ha
d) õhukese sfagnumturbakattega üleminekusoomullad, mille pH_{KCl} on alla 4,8 — 3 ... 4 „
e) madalsoomullad, mille pH_{KCl} on alla 4,8 — 2 ... 3 „

4. LUBIVÄETISED

Lubiväetistena kasutatakse lubjakivijahu, magevee-lubisetteid, põlevkivituhka, turbatuhka, sulfaat-tselluloosi jäätmeid jm.

Eesti NSV-s on levinumateks lubiväetisteks magevee-lubisetted (nõrglubi, järvekriit) ja põlevkivituhk.

N õ r g l u b i tekib oruveeru jalamil, seal väljuvate allikate veest kaltsiumkarbonaadi väljasadestumisel. Värvuselt on ta rauaühendite sisalduse tõttu kollakas või pruunikas, harva ka täiesti valge. Ehituselt on nõrglubi enamasti pulbriline või peeneteraline, sisaldades ka mõnevõrra kivistunud nõrglubjatükke. Nõrglubjalasundite tüsedus on mitmesugune, kõikudes mõnest cm-st kuni 5 m-ni. Tavaliselt katab neid õhuke turbakiht.

Nõrglubja keskmine kaltsiumkarbonaadisisaldus on 89%. Peale $CaCO_3$ sisaldab nõrglubi veel keskmiselt 0,6% magneesiumhapendit ja vähesel määral fosforit. Üks kuupmeeter nõrglupja sisaldab looduslikus seisundis keskmiselt 635 kg süsihappelupja. Kuivainesisaldus 1 kuupmeetris on keskmiselt 714 kg.

Et nõrglubjalasundid asuvad sageli kõrgemal põhjavee pinnast ning on kergesti kuivendatavad, siis on nende kasutuselevõtmine võrdlemisi kerge.

J ä r v e k r i i t on tekkinud umbjärvede põhja vees sisalduva kaltsiumkarbonaadi sadestumisel järvevee süsihappesisalduse languse tõttu. Järvekriidilasundite tüsedus on ühtlasem kui nõrglubjalasunditel, kõikudes enamasti 1 ... 2 m piirides. Nende kasutuselevõtmist raskendab aga soine ümbrus ning sageli ka lasundit kattev tüse turbakiht. Oma ehituselt on järvekriit pulbriline, kuid on sageli kokku kititud temal kasvavate taimede juurte ning saviosade abil, mida ta tavaliselt sisaldab.

Peale kaltsiumkarbonaadi sisaldab järvekriit 0,9% magneesiumhapendit. Järvekriit sisaldab kaltsiumkarbonaate keskmiselt 78%. Üks kuupmeeter looduslikus seisundis olevat järvekriiti sisaldab 342 kg süsihappelupja. Kuivainesisaldus ühes kuupmeetris on keskmiselt 437 kg.

P õ l e v k i v i t u h k, mida saadakse põlevkivi põletamisel küttekolletes, on Eesti NSV oludes kõige parem lubiväetis. Seda sellepärast, et ta sisaldab terve rea taimedele vajalikke toiteelemente. Põlevkivituhk sisaldab keskmiselt 36 ... 40% lupja, 1,5 ... 3,6% magneesiumi, 1,0 ... 1,4% kaalit, 2,3 ... 3,2% väävlit ja peale selle veel mikroelemente (mangaani, boori, vaske jt.).

Põlevkivituha parema mõju põhjuseks võrreldes nõrglubjaga on eeskätt tema kaaliumi- ja väävli-, aga ka magneesiumisisaldus. Eriti viimase tõttu sobib ta hästi ka kartuli ja lina väetamiseks, mille saak kannatab teatavasti nõrglubja ja järvekriidi suuremate annuste kasutamisel.

T u r b a t u h k on samuti hea lubiväetis, kuid vähesuse tõttu omab väga piiratud tähtsust. Turbatuhk sisaldab 16,1 ... 27,2% lupja, 1,7 ... 3,4% magneesiumi, 1,2 ... 1,9% kaaliumi, 1,0 ... 1,8% fosforit, 1,4 ... 4,1% väävlit ja ka mikroelemente.

Lubiväetistena võib kasutada ka l u b j a v a b r i k u t e j ä ä t m e i d, näiteks Tamsalu lubjavabrikus toodetavat t a m s a l l i i t i, mis sisaldab 57% lupja. Samas tehases toodetakse ka l u b j a k i v i j a h u, mille lubjasisaldus on 55%.

5. LUPJAMISE TEHNIKA

Kõige sobivam on mulda lubjata külvikorra sellel teraviljapõllul, millele järgneb põldhein. Kui põldhein külvatakse taliteravilja alla, siis tuleb lubjata kesapõldu; külvatakse aga põldhein suviteraviljade alla, tuleb lubjata viimaste külviks ettenähtud põllud. Lupjamisel tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid:

a) et vältida vigu muldade lupjamisel, tuleb enne põllu lupjamisele asumist kindlaks määrata mulla reaktsioon;

b) pärast mulla reaktsiooni määramist tuleb looduses ära märkida happelised ja neutraalsed põlluosad ning lupjamine läbi viia diferentseerituit. See on eriti oluline nendes piirkondades, kus mullastik on väga vahelduv, nagu Otepää ja Haanja kõrgustiku aladel, kus kuplite laed on tavaliselt vähem happelised (ja koguni neutraalsed) kui kuplitevahelised madalamad põlluosad;

c) kuigi lubiväetiste väljavedu suurematest magevee-lubjalasunditest on organiseeritud riiklike autobaaside kaasabil, tuleb väiksemate magevee-lubjalasundite kasutamisel ja ka põlevkivituha jaamadest äraveol rakendada ka majandi oma transporti;

d) lupjamise edukus oleneb suurel määral ka sellest, kuidas organiseeritakse kohaleveetud lubiväetiste laialikülvamine. Töö tuleb korraldada nii, et kohaleveetud lubiväetised otsekohe laiali külvatakse, vaatamata sellele, kas selleks vastavaid masinaid piisab või ei. Masinate puudusel tuleb lubiväetis laiali kühveldada käsitsi. Selleks on kaks moodust:

1) lubiväetised kühveldatakse labidatega laiali otse autolt. Seda moodust saab kasutada siis, kui lubiväetis tuuakse kohale tavaliste autodega või traktori-järelvankritega;

2) lubiväetis kallutatakse ümber traktoriga veetavale kiviveoplaadile ja pillutakse sellelt labidatega laiali. Seda moodust saab kasutada, kui lubiväetis veetakse kohale isekallutajatega.

Mõlemal juhul on labidaga laialipildumisel nõudeks, et *labidatäis visataks laiali täie hooga*. Ei või leppida labidatäie üle auto- või kiviveoplaadiääre lükkamisega, sest viimasel juhul jaotub lubiväetis mullas väga ebaühtlaselt, mis ei jäta mõju avaldamata ka mulla viljakusele.

Lubiväetis võib jääda laotamata ainult juhul, kui see on märg, ei lagune tükkideks ega lase end korralikult laiali külvata või kühveldada. Sellisel juhul tuleb lubiväetis hunnikus lasta ära kuivada. Liigniisked lasundid tuleb aga selliste juhtude vältimiseks aegsasti kuivendada.

Kui lubjatakse täisannusega ja see tõuseb üle 10 tonni hektarile, siis on otstarbekohane lubjata mitmes töökäigus, andes osa lubiväetist künni ja osa külvieelse kultiveerimise alla. Kui aga lubjatakse väiksemate lubjaannustega (3 . . . 7 tonni ha-le), tuleb need anda külvieelse mullaharimise alla. Siis jääb lubiväetis mulla pindmisse kihti, kus ta neutraliseerib kultuurtaime seemne lähemat ümbrust, mistõttu noor taim oma kasvuperioodi algul, mil ta on eriti õrn mulla happesuse vastu, saab areneda normaalses keskkonnas.

§ 11-2. MULDADE SAVITAMINE JA LIIVATAMINE

1. TURVASMULDADE SAVITAMINE JA LIIVATAMINE

Savi ja liiva mõju turvasmulla füüsikaliste omaduste parandamisel seisneb peamiselt selles, et nad suurendavad mulla soojusjuhtivust ja muudavad teda tihedamaks.

Turvasmuldade soojusjuhtivuse suurenedes soojeneb muld kevadel kiiremini, mis võimaldab varem külvata. Nii on Soome kirjanduse andmetel savitatud (liivatatud) turvasmulla temperatuur mai- ja juunikuus 6° C võrra kõrgem kui savitamata turvasmullal. Savitatud turvasmulla temperatuur jääb kõrgemaks augustikuuni. Septembris temperatuur ühtlustub ja on talvel veidi madalam kui savitamata alal. Kõrgema temperatuuri tõttu on savitatud turvasmullal väiksemad ka öökülma kahjustused kevadsuvel ja varasügisel.

Savitamisel muutub turvasmuld tihedamaks. See on väga oluline, sest kerge turvasmuld ei vaju kuivamisel küllaldaselt kokku, mille tõttu katkeb vee kapillaarne tõus alumistest niiskematest kihtidest ülemistesse ja taimed kannatavad põua all.

Tihenenud turvasmuld kannab paremini harimisriistu ja transpordivahendeid. Näiteks saab Soome andmetel laienditega varustatud ratastraktoriga vabalt sõita savitatud sügaval soomullal, mille põhjavesi on kõigest 30 cm sügavusel.

Savi ja liiva lisamine turvasmullale parandab selle füüsikalisi omadusi, ühtlasi rikastab ka mulda toitainetega. Soome andmetel on 100...400 m^3 liiva lisamine täielikult kõrvaldanud turvasmulla vasepuuduse. 150... 300 m^3 savi lisamine rahuldas peale selle ka suure osa turvasmulla kaaliumivajadusest. 150 m^3 savi kasutamisel on saadud enamsaagina 7...10 ts heina, kusjuures heinasaagi suurus savitatud alalt on küündinud 80 ts-ni ha-lt. Saakide tõus savitamise ja liivatamise mõjul on eriti suur ülemineku-soo- ja rabamuldadel.

2. KERGETE LIIVMULDADE SAVITAMINE

Savi rikastab kergeid liivmuldi kolloididega, mis seovad ühte peenemaid liivaosakesi, parandades sellega mõnevõrra mulla struktuuri. Samuti suurendab savi lisamine liivmuldade muidu väikest veemahutavust ja kapillaarset veejuhtivust, mille tulemusena suureneb liivmuldade põuakindlus. Liivmuldade savitamist on meil hea eduga kasutatud aiamaade parandamiseks.

3. RASKETE SAVIMAADE LIIVATAMINE

Teatavasti paakuvad rasked savimullad oma suure sidususe tõttu kergesti, mispärast nende korralik harimine on raske ning nõuab palju tööjõudu. Savimuldade suurt sidusust saab vähendada koreda liiva või kruusa lisamisega. Liiva jämedamad terakesed lahutavad saviosi üksteisest, mille tõttu sitke savi muutub muredamaks ja paremini õhustatuks. Sidususe vähenemise tõttu muutuvad savimullad ka kergemini haritavaks.

4. SAVITAMISE TEHNIKA

Muldade savitamiseks tuleb esmajoones ära kasutada kõik see savi, mis saadakse veejuhtmete kaevamisel. Veejuhtmete kaevamisel ekskavaatoriga on otstarbekohane organiseerida samaaegselt ka savi äravedu. Kui savi pole väga sitke, tuleb see kohe laiali pilduda. On seda aga savi liigse sidususe tõttu raske teha, tuleb savi vedada põllule väiksematesse hunnikutesse. Savi vedu on õigem organiseerida sügisel või talvel, sest siis mureneb hunnikutesse veetud või laialipillutud savi külma mõjul paremini ja on kevadel mullaga hõlpsamini segatav.

Käsitsi kaevatavate kraavide savi võib jääda kraavipervedele talveks seisma ning veetakse ära suvekuudel, kui savi on kuivanud muredaks ning on hõlpsamini transporditav.

Ühele hektarile tuleb vedada 200 ... 300 m^3 savi. Põldudele laialipillutud savi tuleb mullaga korralikult segada, mida saavutatakse kõige paremini mitmekordse randaalimisega.

Esmajoones tuleb savitada sügavaid vähe lagundunud turbaga soid ja liivmuldi. Õhukestel madalsoodel on selle võtte tasuvus küsitav.

5. LIIVATAMISE TEHNIKA

Muldade liivatamist saab hästi mehhaniseerida. Selleks on vaja peale laadida ekskavaatoriga, vedada aga isekallutajaga, millega aeglaselt edasi liikudes saab liiva maha kallutada ilma, et hiljem seda enam vaja oleks laotada.

Laialipuistatud liiv tuleb mullaga hästi segada. Seda saavutatakse põllu mitmekordse randaalimisega.

Sobivaimaks normiks tuleb pidada 250 ... 350 m^3 liiva ha-le.

§ 11-3. MINERAALMULDADE PARANDAMINE TURBA JA MUDAGA

Turvast ja muda sobib kasutada kõikidel muldadel, mis pole eriti huumusrikkad ega tüseda kamarahorisondiga. Eeskätt tuleb turvast ja muda kasutada kergetel liivmuldadel, rasketel savimaadel ja erodeeritud muldadel.

Liivmuldadel suurendavad turvas ja muda huumusesisaldust, mille toimel suureneb selle veemahutavus ja seega ka põuakindlus. Samuti rikastavad turvas ja muda liivmulda taimetoitainetega, eriti lämmastikuga. Hektarile tuleb anda 100 ... 200 m^3 turvast või muda.

Raske savimulla muudavad turvas ja muda kobedamaks, elavneb mikrobioloogiline protsess ja muld muutub ka kergemini haritavaks. Savimuldadele tuleb turvast või muda anda 50 ... 100 m^3 ha-le.

Erodeeritud muldadel on turba või muda andmine vajalik eeskätt mulla huumusesisalduse tõstmiseks. Kui erodeeritud mullad on happelise reaktsiooniga, on otstarbekohane turvas eelnevalt komposteerida lubiväetisega. Muda võib kasutada komposteerimatult. Hektarile tuleb anda muda või turvast kuni 200 m^3.

Huumusrikastel muldadel, nagu tüsedad kamarmullad ja kamar-gleimullad, ei ole turba ja muda kasutamine tasuv. Turvas ja muda on siiski eeskätt orgaanilised väetised ning pääsevad mõjule seal, kus mullas on orgaanilist ainet vähe. Kamar-leetmuldadel ning õhukestel ja keskmise sügavusega rähkmuldadel võib turvast ja muda edukalt kasutada, koguses 50 ... 100 m^3 hektarile.

Turvas on mulla omaduste parandamiseks seda sobivam, mida enam ta on lagundunud. Kõige sobivam on seepärast hästi lagundunud madalsooturvas. Pealegi on viimane küllaltki toitainerikas, sest ta sisaldab kuivaines keskmiselt 1,5 ... 3,3% lämmastikku, 0,1 ... 0,4% fosforit, 0,1 ... 0,3% kaaliumi ja 1,5 ... 6,0% lupja. Vähe lagundunud sfagnumiturvast ei sobi otseselt kasutada, küll aga sõnniku ja lubiväetisega komposteeritult. Viimase lisamine on vajalik, sest rabaturvas on tavaliselt tugevasti happelise reaktsiooniga.

Muda saadakse peamiselt tiikide puhastamisel. Tiigimuda sisaldab keskmiselt 0,4% lämmastikku, 0,7% fosforit ja 0,3% kaaliumi, olles seega ka küllalt suure väetava toimega. Muda pole vaja komposteerida.

Et vältida asjatuid kulutusi vee transportimiseks, mida värskelt kaevatud turvas ja muda väga rohkesti sisaldavad, tuleb neid pärast väljakaevamist mõni aeg hunnikutes kuivada lasta. Turvast on otstarbekohane välja kaevata varasuvel, pärast külvitööde lõppu või sügisel. Esimesel juhul veetakse turvas põldudele sügiskünni eel või talvel, teisel juhul järgmisel suvel. Turba väärtuse suurendamiseks komposteeritakse teda väljakaevamise ajal fosforiidi ja kaalisoolaga. On turvas happelise reaktsiooniga, tuleb lisada ka lubiväetist.

Muda on kõige parem välja kaevata suvel, kui vett veekogudes on kõige vähem. Muda kaevamisel tuleb veekogud võimaluse korral enne kuivaks lasta, mis muda väljakaevamist tunduvalt lihtsustab.

Väljakaevamiseks ja samuti ka transpordivahendile laadimiseks on otstarbekas kasutada ekskavaatoreid. Vedu toimugu talvel traktorikelkudega, suvel aga isekallutavate autode ja traktori-järelkärudega.

Põllule veetud turvas ja muda tuleb võimalikult ühtlaselt laiali laotada ja hoolikalt mullaga segada.

KIRJANDUST

1. Hallik, O. Lõuna-Eesti põllumuldade lubjasus ja kohalike magevee-lubisetete tähtsus selle reguleerimisel. Tartu, 1948.
2. Hallik, O. Põllumuldade lubjasus ja nende lupjamise tähtsus Eesti NSV-s. Tallinn-Tartu, 1950.
3. Hallik, O. Väetised ja nende kasutamine. Tallinn, 1956.
4. Hallik, O. Magevee-lubilasundid Eesti NSV-s ja nende kasutamine. Tallinn, 1957.
5. Pessi, Y. Studies on the effect of the admixture of mineral soil upon the thermal conditions of cultivated peat land. Helsinki, 1956.
6. Kärblane, H. Turbatuhk lubiväetisena. «Sotsialistlik Põllumajandus» nr. 6, 1956.
7. Lillema, A. Eesti NSV mullastik. Tallinn, 1958.
8. Michelson, H. Mulla reaktsiooni määramine universaalindikaatori abil. «Sotsialistlik Põllumajandus» nr. 2, 1954.
9. Kiel, W. Acker- und Pflanzenbau. Berlin, 1958.
10. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
11. Valing, O. Kohalike väetiste varumise ja kasutamise kogemusi. Tallinn, 1955.
12. Scheffer, F. und Schachtschabel, P., Bodenkunde. Stuttgart, 1956.
13. Selke, W. Die Düngung. Berlin, 1957.
14. Голубев Б. А. Кислые почвы и их улучшение. Москва, 1954.
15. Кедров-Зихман О. К. Известкование почв и применение микроэлементов. Москва, 1957.
16. Корнилов М. Ф., Благовидов Н. Л., Залеский С. К. Известкование почв. Ленинград, 1951.
17. Корнилов М. Ф., Благовидов Н. Л. Известкование почв северо-западной зоны нечерноземной полосы СССР. Москва-Ленинград, 1955.
18. Талпсепп Э. Я. Влияние известкования на физико-химические и физические свойства почв южной части Эстонской ССР. «Почвоведение» № 3, 1958.

KAHETEISTKÜMNES PEATÜKK

AGRO-METSAMELIORATSIOON

Agro-metsamelioratsiooni ülesannetesse kuulub põllumajanduslikkude maa-alade kaitsmine vee ja tuule kahjuliku mõju vastu põhiliselt metsaribade abil. Seejuures tuleb kompleksselt kasutada ka agrotehnilisi, agromelioratiivseid ja lihtsamaid hüdrotehnilisi abinõusid.

§ 12-1. METSARIBAD

1. METSARIBADE ÜLESANNE JA TOIME

Metsaribade ülesandeks on:

a) luua taimekasvuks parem soojus- ja veerežiim (öökülmade mõju vähendamine, veerežiimi ühtlustamine, liigvee toime vähendamine üleujutusaladel, veevarude säilitamine kuivaks perioodiks);

b) tõkestada pinnavee uhtuvat tegevust (erosiooni) ja pinnase ärapuhumist tuule poolt (deflatsiooni), aga samuti ka vee uuristavat toimet jõe- ja järvekallastel;

c) reguleerida lumikatte tüsedust (teede kaitse täistuiskamise eest, lumikatte ühtlustamine põldudel, lume kogumine aedades).

Peale selle pakuvad metsaribad karjamaadel loomadele varju tuule, vihma ja päikese eest. Metsaribades võivad eluneda ka kasulikud loomad (näit. siil hiirte hävitajana) ja linnud.

Metsaribade kahjulik toime võib avalduda mõningate taimehaiguste ja -kahjurite ning umbrohtude elutingimuste soodustamises, kultuuride varjutamises, soovimatus lumekuhjumises. Drenaaži ehitamine puujuurte piirkonnas nõuab erivõtteid torude kaitsmiseks puujuurte sissetungimise vältimiseks. Puud võtavad ka mullast ära osa taimetoitaineid ja vett. Tihedad metsaribad soodustavad kiirgusöökülmade teket. Kuid metsaribade kahjulik toime on kasulikuga võrreldes siiski väike.

2. METSARIBADE STRUKTUUR

Metsaribade puistu koosseis määratakse, arvestades puu- ja põõsaliikide omadusi, riba konstruktsiooni (laius, tihedus) ja mullastikku. Metsaribades kasutatavad puud peavad olema tuule- ja külmakindlad ning hästi tuult takistama. Kaugele ulatuva juurestikuga puud ei ole metsaribades soovitatavad. Parasniiskel liivsavi- ja saviliivamaadel ning sügavamatel rähkmuldadel on sobivaks puuliigiks osutunud kuusk; liivaaladel, paepeal-

setel, rasketel liivsavimaadel ja siirdesoodes kasvab hästi mänd, madalsoodes kask.

Kõrvalliikideks sobib paepealsetele ja väga õhukestele rähkmuldadele sarapuu ja kadakas, liivikutele mägimänd ja halapaju, glei- ja turvastunud muldadele sanglepp.

Metsaribade rajamisel võib kasutada ka viljapuid ja marjapõõsaid.

Metsariba võib koosneda kas ainult puudest (ühest või mitmest liigist) või puudest ja põõsastest. Katusekujulise riba kujundamisel paigutatakse pikemakasvulised puud riba keskossa.

Näiteid metsariba puistu koosseisu kohta: ühereal i n e — kuusk; kahereal i n e — kuusk+kuusk, sarapuu+mänd; kolmereal i n e — mänd+kuusk+kask, sarapuu+mänd+sarapuu, pappel+kuusk+pappel; neljareal i n e — mänd+kask+mänd+kask; viiereal i n e — läätspuu+tatari vaher+pappel+lehis+kuusk.

Metsariba laius sõltub kasutatavatest puu- (põõsa-) liikidest ja nende ridade arvust. Uurimised näitavad, et riba suurem laius ei suurenda kuigivõrd riba efektiivsust. Seetõttu võiks Eesti NSV-s mineraalmaadel tavaliselt piirduda 1 ... 3-realise ribaga ja eriti tugevate tuulte piirkonnis 4 ... 5 reaga (riba laius seega 7 ... 20 m). Soodes on kasutatud ka 15 ... 40 m laiusi ribasid.

Metsariba tihedus määratakse puistu koosseisu ja taimede vahekauguste järgi. Tuule läbilaskvuse järgi eristatakse tihedaid, hõredaid ja pooltihedaid (ažuurseid) ribasid. Metsariba tuule läbilaskvust saab reguleerida põõsaste osatähtsuse muutmisega, ridade arvuga ja taimede paigutusega. Tihe riba vähendab tuule tugevust järsult, kuid takistab heina kuivamist ja võib intensiivistada kiirgusöökülma.

Sobivateks reavahedeks puudel on 2 ... 3 m, taimede vaheks reas lehtja okaspuudel 1 ... 2 m, põõsastel 0,5 ... 0,75 m, sarapuudel 2,5 ... 4 m. Küllaldane vahekaugus tagab puude jõudsa kasvu ja väldib nende enneaegset laasumist alt.

3. METSARIBADE PAIGUTAMINE MAASTIKUL

Metsaribad on esmajoones vajalikud metsavaestes piirkondades, suuremate lagedatel aladel, kus on karmimad kliimatingimused, näit. rannikualadel (tugevad tuuled), soodes, erosioonialadel (Otepää, Haanja), üleujutuspiirkonnis ja põuakartlikel maadel (Lääne- ja Loode-Eesti rähkmuldadel).

Metsaribade paigutamisel tuleb arvestada järgmisi tegureid.

Tuule mõju paremaks vähendamiseks rajatakse metsaribad kahes ristuvas suunas nii, et tekivad ristkülikukujulised väljad. Reegliks on, et pikem riba jääb risti valitseva tuule suunaga. (Eesti NSV-s on ülekaalus edela- ja läänetuuled. Talvel on sagedamini lõuna-, kevadel ida-, suvel lääne- ja sügisel edelatuuli.) Ribade vahekauguseks võetakse viieteistkümne- kuni kahekümnekordne puude kõrgus. Nii kujuneb 20 m kõrguste puude korral ribade vahekauguseks 300 ... 400 m. Ristsuunaliste ribade vahekaugus ületab pikisuunaliste oma vähemalt 3 korda (orienteerivalt 1000 ... 2000 m).

Reljeefi suhtes paigutatakse metsaribad võimalikult kõrgema asendiga aladele, et suurendada metsariba tuult pidurdavat toimet. Head võimalust selleks pakuvad vallseljakud (oosid), rannavallid, luiteahelad ja teised kõrgendikud.

Kui esineb külma õhu vool kõrgemalt alalt nõgudesse (öökülma oht), siis jäetakse nõlvadele õhuvoolu ette tõkkeks tihedad metsaribad (külm õhk tõuseb üles ja soojeneb). Kaitseks külmade õhuvoolude eest nähakse ette metsariba ka madalsoo ja raba piirile (selleks sobib hästi siirdesoo).

Nõgudes, kus esineb külma õhu kogunemise ja seiskumise oht, tuleb hoolitseda õhu edasiliikumise eest (kõrvaldada õhu liikumissuunale ettejääv puis- ja põõsastaimkate). Samal põhjusel on ka soodes otstarbekam kasutada pooltihedaid (ažuurseid) metsaribasid.

Erosiooni tõkestamiseks paigutatakse metsaribad risti pinnavee valgumise suunaga.

Mullastikku arvestades rajatakse metsaribad eeskätt väheviljakatele, põllumajanduslikuks kasutuseks mitte- või vähesobivatele maadele (liivikud, kruusa-, räha-, veerise- ja kivirikkad maad, tugevasti erodeeritud mullad).

Kõlvikuid arvestades jäetakse metsaribadeks majandite, brigaadide, külvikordade ja kõlvikute piiriribad, samuti mitmesugused jäätmaad, näit. kiviaedade ja -varede, ning kruusaaukude alla jäävad maad jt. Metsaribad on soovitatav siduda olemasolevate metsatukkade, -salude ja metsamassiividega.

Kuivendatud maadel kasutatakse metsaribade rajamiseks kraavide kaldaid (võimalust mööda lõunapoolseid).

Mehhaniseerimise huvides ei tohi metsaribad takistada suurte kultuurpinnamassiivide loomist, masinate ligipääsu ega nende manööverdamist. Seepärast katkestatakse ribad ristumiskohas külvikorra piiridel mõlemas suunas kuni 50 m pikkuselt ja brigaadi piiridel kuni 30 m pikkuselt. Teede äärde jäetakse vähemalt iga 500 m tagant 6 . . . 7 m laiused läbipääsud.

Teede ääred sobivad samuti metsaribade rajamiseks. Teede kuivamise soodustamiseks paigutatakse metsaribad teest põhja, lääne, loode ja kirde poole. Samal põhjusel paigutatakse metsariba järsematel nõlvadel teest allapoole.

Metsaribade rajamine võib uudismaadel toimuda olemasoleva metsa kasvama jätmise teel (soodes on seda mitmel pool praktiseeritud). Siinjuures on eelduseks noorte, kasvuvõimeliste puude olemasolu (täiskasvanud kuused hakkavad soos pärast kuivendust kuivama ja kuuluvad seetõttu mahavõtmisele).

Metsaribade rajamine istutamise teel toimub üldiste metsaistutusnõuete kohaselt. Istutusmaterjaliks valitakse 2 . . . 3-aastased lehtpuud ja 3 . . . 5-aastased okaspuud. Hooldustöödest on tähtsamad umbrohtude hävitamine ja mulla kobestamine (kultivaatoriga) ning kaitse kariloomade eest (traat- või latt-taraga).

§ 12-2. RÄNDLIIVA KINNISTAMINE

1. RÄNDLIIVA LEVIK

Eesti NSV-s esineb luiteid mandri ja Hiiumaa lääneranniku. Sisemaal esineb rändliiva endiste mereranniku (ka Ürg-Peipsi ranniku) piirkonnas. Enamik luidete alasid on kaetud metsaga, mistõttu liiva liikumist ei esine, kuid see võib alata pärast metsa lageraiet või põlemist. Seda võib soodustada ka kamara või metsakõdu purustamine. Selliseid alasid esineb Hiiumaa lääneosas, Kuusalu—Aegviidu—Võsu vahelisel alal, Häädemeestes, Peipsi põhjarannikul ja mujal. Samades piirkondades esineb ka rändliiva, mis vajab kinnistamist.

2. RÄNDLIIVA METSASTAMINE

Rändliiva kinnistamist ei ole vaja mitte üksi nende otstarbekamaks kasutamiseks, vaid ka nendega piirnevate alade kaitsmiseks pealetungiva liiva eest. Rändliiva kinnistamise viisina tuleb vabariigi tingimustes arvesse nende metsastamine. Rändliivade metsastamisel tuleb kasutada erivõtteid, sest pidevalt liikuva liiva, temperatuuri suure kõikumise ning kuivuse tõttu on metsataimede kultiveerimise tingimused seal ebasoodsad. Et leevendada nimetatud karme tingimusi, on vaja rakendada järgmisi erivõtteid:

a) istutatud metsakultuuride (sobivaim on mänd) kaitsmine pinnase katmise teel multšiga. Multšina võib kasutada kanarbikku, peent hagu, sammalt jm. (Kanarbikku on multšina edukalt kasutatud Tallinna ja Nõmme vaheliste rändliivade kinnistamiseks);

b) rändliiva kinnistamine enne metsa istutamist põõsastikuga või rohttaimestikuga. Rändliiva kinnistamiseks on sobivaim põõsaliik halapaju (*Salix acutifolia*). Selleks kasutatakse 20...30 cm pikkusi pistikuid, mis asetatakse 50...80 cm vahedega adravakku. Sama adraga aetakse vaod ka kinni. Reavaheks jäetakse 1...1,5 m. Ühele hektarile kulub 7000...8000 pistikut. Pärast pajude kasvama hakkamist või rohukamara kujunemist istutatakse männid.

Rohttaimedest sobib rändliivade kinnistamiseks varesekaer (*Elymus arenarius*) ja liivakaer (*Elymus giganteus*).

Kuigi multši kasutamisega ja põõsastiku ning rohttaimede kasvatamisega on võimalik liiva ulatuslikku liikumist pidurdada, on puudulike veevarude tõttu metsa kultiveerimine käsitletavatel aladel siiski raske.

Rändliiva kinnistamine on kulukas töö. Seda enam peab pöörama tähelepanu rändliiva tekke ärahoidmisele ning tekkivad rändliivaalad juba varakult kinnistama. Selles on suure tähtsusega metsade õige raiumine kuivadel liivmuldadel ning kamara purustamise vältimine.

§ 12-3. LUME ÄRAPUHUMISE TÕKESTAMINE

Lume ärapuhumise tõkestamine (peetamine) põldudel tuleb arvesse ebatasastel aladel, peamiselt Otepää ja Haanja kõrgustikel. Ebatasase reljeefiga põldudel puhutakse lumi ära kõrgendike lagedelt ning see akumuleerub järsematele nõlvaosadele — tuule eest varjatud kohta, kuhu tavaliselt kuhjuvad tüsedad lumehanged. Kumerate kõrgendike harju tuleb kõige rohkem kaitsta lume ärapuhumise vastu taliviljapõldudel, kus lumikatte normaalne tüsedus on vajalik taliviljade korralikuks talvitumiseks.

Lume põldudelt ärapuhumise tõkestamiseks (peetamiseks) tulevad Eesti NSV tingimustes arvesse järgmised võtted:

a) suuremate ja kõrgemate kõrgendike lagedele, kust igal aastal lumi ära kandub, tuleb rajada kitsad metsa- või põõsaribad. Metsariba rajatakse valitsevate tuulte suunaga risti;

b) väiksemate kõrgendike lagedele laotatakse tuule tõkestamiseks ja lume peetamiseks hõredalt hagu. Need koristatakse ära kevadel, pärast lume sulamist;

c) metsamaterjali (haomaterjali) vähesuse korral valmistatakse korduvalt tarvitatavad lumetõkked — lumeredelid. Neid tehakse hagudest või peenikestest lattidest, mis kinnitatakse hõredalt (10...20 cm vahedega) kahe tugilati külge. Lumeredelid asetatakse kõrgendike laele mitte pideva reana, vaid malelaua korras 4...5 m vahedega. Ridade vahe sõltub tuule tugevusest, kõikudes 15...30 m piires. Hektari kohta vajatakse 75...150 lumeredelit.

§ 12-4. EROSIOON

1. PINNALISE EROSIOONI VASTU VÕITLEMINE

Erosiooni, s. o. muldade (pinnase) ärauhtumise peamiseks levikualaks on meil Otepää ja Haanja kõrgustik. Väiksemas ulatuses esineb seda ka Sakala ja Pandivere kõrgustikul ning mujal, kus maakoha reljeef on künklik või voorestatud. Nimetatud alad moodustavad vabariigi territooriumist ligikaudu 10%. Künkliku reljeefiga alasid esineb rohkem Võru, Valga ja Elva rajoonis. Erosioonist otseselt haaratud põllumaid on ligikaudu 60 000 ha.

Erosioon võib põhjustada põllumajandusele tunduvaid kahjustusi. Nende vältimiseks tuleb rakendada mitmesuguseid agrotehnilisi, agromelioratiivseid ja agro-metsamelioratiivseid abinõusid. On tähtis, et juba maade kasutamise planeerimisel arvestataks maade erosiooniohtlikkust. Erosiooniohtlikumad maa-alad tuleb planeerida kas pikema kestusega rohumaadeks või metsade alla.

Erosiooni vastu võitlemise ülesandel on otstarbekas metsastada senised põllumaad nõlvakutel kaldega üle 20°, kus esinevad madala viljakusega tugevasti või väga tugevasti erodeeritud liiv- ja kruusmullad. Senised põllumaad pinnavormidel kaldega üle 15°, kus esinevad tugevasti või väga tugevasti erodeeritud saviliiv- või liivsavimullad, on otstarbekas kasutusele võtta pikema kestusega heintaimede alla.

Põllumaade laiendamine ei ole otstarbekohane maade arvel, kus pinnavormide kalle on üle 10°.

Põllumaade jaotamisel külvikordadeks tuleb arvestada muldade erodeerumuse astet ja pinnavormide kallet.

Tugevasti erodeeritud muldadega pinnavormidel kaldega üle 10° on soovitatav eraldada põllumaad väljapoole külvikorda ja kasutada neid põhiliselt heina kasvatamiseks.

Põllukülvikorda jäävad seega maad kuni keskmiselt erodeeritud muldadega pinnavormidel, mille kalle ei ületa 10° (välja arvatud üksikjuhud).

Seega kandub erosiooni vastu võitlemise pearaskus põllukülvikorramaadele, mille viljelemisel tuleb rakendada selleks kohandatud abinõusid.

Kultuuride õige vahekorra valimine on erosiooni vastu võitlemise üheks vajalikuks eelduseks. Siin tulevad mulla uhtumise tõkestamiseks arvesse järgmised võtted:

a) suurendada põldheina osatähtsust külvikorras võrreldes põldheina osatähtsusega tasastel aladel;

b) juurutada mustkesade asemel kultuuridega kesasid, millest sobivamaks on haljasväetiskesa (mesik, lupiin);

c) põllukülvikorras pikendada põldheina kasvatamist ühel väljal kuni selle majanduslikult põhjendatud kestuseni.

Mullaharimise süsteemi võtetest sõltub suurel määral mulla erosiooni intensiivsus. Selles osas võib mulla erosiooni vastu võitlemise võtetena märkida järgmist:

a) kõik mullaharimistööd (välja arvatud külvieelsed), reaskülv ja kultuuride hooldamise tööd tuleb teha risti kallaku suunaga (enamvähem paralleelselt horisontaalidega). Siis kujunevad mullaharimisriista poolt jäetud vaokesed ja vallid tõkkeks pinnavee äravoolule ning uhtumisele;

b) sügiskünnil on soovitatav järsemal kallakuosal pöörata künniviil maha kallaku tõusu suunas. Sel teel jääb küntud põld tugevamini vaoliseks, mis tõhusalt pidurdab või väldib pinnavee äravoolu ja sellest sõltuvalt ka uhtumist;

c) künnikihi vaolisuse suurendamiseks on soovitatav adra üks korpus reguleerida sügavamaks künniks, mis siis moodustab veidi kõrgema valli teiste künniharjade kõrval. Viimane tõkestab edukalt pinnavee äravoolu. Kallakuliste alade kündmiseks on kohasemad vahetatava hõlmaga pöördadrad, millega saab hõlpsasti valida künniviilu pööramise suunda (kas kallaku tõusu või languse suunas) ning vahetada hõlma vastavalt kallakule;

d) vee mulda valgumise soodustamiseks ja sel teel pinnavee äravoolu vähendamiseks on vaja kobestada künnialust kihti põhjakohendajaga;

e) külvieelne mullaharimine tuleb diferentseerida ajaliselt, vastavalt muldade tahenemisele erinevatel pinnavormiosadel. Eriti on see vajalik suurematel pinnavormidel, kus mulla harimisküpsus pinnavormide eriosadel saabub 1 ... 2-nädalase erinevusega.

2. UHTORGUDE (OVRAAGIDE) TEKKE VASTU VÕITLEMINE

Erosiooni vastu võitlemisel tuleb lähtuda põhimõttest, et kergem on uhtoru tekkimist ära hoida või tekkivat uhtorgu kinnistada kui väljakujunenud uhtorgu tasandada või protsessi edasist kulgu seisata.

Sageli kujunevad uhtorud välja ühe tugeva paduvihma või ühe lumesulamise jooksul. Selliste uhtorgude sügavus võib ulatuda 1 ... 1,5 m-ni. Nimetatud uhtorgude edasise arenemise tõkestamiseks tuleb kallaku suunaga risti asetatud vagudega uhtoru ladvast ülalpool ära lõigata pinnavee juurdevool. Edasi tuleb taguda vaiad uhtoru põhja ja põimida need hagudega ning täita uhtorg pinnasega.

Suuremate uhtorgude puhul, mille täitmine ei tule arvesse, lõigatakse risti kallaku suunaga kaevatavate vagude või kraavidega ära vee juurdevool. Sügavuse juurdekasv tuleb tõkestada uhtoru põhja kividega katmise teel. Kividega katmise võimaluse puudumise korral tuleb uhtoru põhja taguda risti läbi oru vaiade rida ja põimida see hagudega. Selliseid tõkkeid tuleb teha iga 5 ... 10 m järel. Laiuti juurdekasvu tõkestamisega kinnistatakse uhtoru nõlvu. Selleks tuleb luua uhtoru äärtele põõsa- või metsaribad. Uhtorgudega tihedasti lõhutud kallakud tuleb metsastada.

KIRJANDUST

1. Bennett, H. H. Elements of Soil Conservation. New York and London, 1947.
2. Eisen, I. Tuulekaitse-metsaribad aitavad kindlustada suuri põllu- ja rohumaasaake. «Sotsialistlik põllumajandus» nr. 2, 1952.
3. Juva-Cablik. Protieroski Ochrana pudy Statini zemědělskí Nakladatelstvi. Praha, 1954.
4. Kask, R. Võitlusest mulla erosiooni vastu Eesti NSV-s. «Sotsialistlik Põllumajandus» nr. 12, 1953.
5. Kask, R. Mulla erosiooniprotsessist ja selle vastu võitlemisest Eesti NSV-s. «Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised». IV kd., nr. 4, 1955.
6. Kask, R. Muldade erosioonist Eesti NSV-s. «Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat», 1957.
7. Tomberg, V. Soomaade drenaažkuivenduse kogemusi Oidremaa sovhoosis. Tallinn, 1958.
8. Агролесомелиорация. Москва, 1956.
9. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. Москва, 1954.
10. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. Том I. Москва-Ленинград, 1948.
11. Сус Н. И. Эрозия почв и борьба с нею. Москва, 1949.

KOLMETEISTKÜMNES PEATÜKK

HÜDROTEHNILISED EHITISED KUIVENDUSSÜSTEEMIDEL

§ 13-1. PAISUD JA LÜÜSREGULAATORID

1. KOOSTISELEMENDID

Paise ja lüüsregulaatoreid kasutatakse vee paisutamiseks, paisutatud veetaseme hoidmiseks teatud kõrgusel ning vee juhtimiseks ülemisest biefist (kõrgemalt tasemelt) alumisse biefi (madalamale tasemele). Nad omavad põhiliselt järgmisi ühesuguseid elemente: ava, flutbet, kaldasambad ja vahesambad.

Ava. Väikeste vooluhulkade puhul kasutatakse avaks toru, mis töötab kas osalise täitega (vaba pinnaga) või täistäitega (surve all); suuremad avad kujundatakse ristkülikukujulistena (harvem trapetsikujulistena) ja neis voolab vesi vaba pinnaga. Avad ehitatakse kas lahtistena (varjadeta ülevool) või suletavatena. Suletavad avad avatakse liigvee läbijuhtimisel ja veehoidla tühjendamisel. Avad suletakse kas siibri, klapi ja varjaga või varjade süsteemiga.

Flutbet. See on voolusäng, mida mööda juhitakse vesi ülemisest biefist alumisse biefi. Voolusängi pikilõikes jaguneb ta ponuuriks, ülevooluosaks, löögipõrandaks ja risbermiks (väljumisosa, suue).

Ponuuri ülesanne on pikendada kontuurfiltratsiooni teekonda. Ehitatakse peamiselt savist ja liivsavist (minimaalne pinnasest ponuuri paksus on 0,5 m).

Ülevooluosa ehitatakse kivist, betoonist või puidust. Ülevooluosale toetatakse varjad.

Löögipõrand on madalalävelise paisu osa, kuhu paiskub avast voolav vesi. Kui langeva vee kineetiline energia löögipõrandal vajalikul määral ei muundu (olenevalt alumise biefi veerežiimist), tuleb löögipõranda pikendusena ehitada veelöögikaev või veelöögisein. Veelöögikaevu sügavus peab tagama kõigi esinevate vooluhulkade juures kaetud vooluhüppe alumises biefis (vt. § 5-9).

Veelöögikaev eraldatakse ülevoolust või löögipõrandast konstruktiivse vuugiga ja varustatakse alt filtriga. Viimasega kõrvaldatakse praktiliselt filtratsioonisurve, mis võimaldab kaevu põhjaplaatide paksust vähendada miinimumini.

Kaldasambad seovad flutbetti külgedelt voolusängi kallastega. Kaldasammaste tiibade pikkus määratakse konstruktiivsetel kaalutlustel, kuid

tuleb jälgida ka külgfiltratsiooniteekonna vajalikku pikkust. Kaldasamba kuju ja dimensioonid sõltuvad konstruktiivsetest vajadustest ja ehitisele mõjuvatest jõududest (varjade, vee-, jää- ja pinnasesurvest). Madalad kaldasambad (1,5 ... 2,5 m) võib kujundada juhttugimüüridena (-seintena). Kõrgemate kaldasammaste puhul on ökonoomsemad kärgsüsteemid. Hüdrotehnilisest betoonist kärgsüsteemid ehitatakse 2 ... 3 m pikkuste külgedega ristkülikutena, kus välisseinte paksus on vähemalt 0,7 ja siseseinte paksus vähemalt 0,5 m. Kärjed täidetakse puistepinnasega järgmiselt: veesurvepoolne külg savi ja liivsaviga, alumise biefi poolne külg kruusa ja liivaga ning vahepealsed kärjed filtratsioonivõimelt keskmiste pinnastega. Kaitseks külmumise vastu peab savi ja liivsavi olema pealt kaetud mittepunduvate pinnastega (liiv, kruus). Varjadega suletavate avade puhul toetatakse kaldasammastele ka teenindussild.

Vahesambad. Suurte suletavate avade puhul tuleb teenindussild ja varjad toetada avasse ehitatavatele vahesammastele. Puidust teenindussilla (lihttala) puhul on sammaste vahe maksimaalselt 7 m. Vahesambad töötavad vee, jää, varjade ja pinnase survele.

Punnseinad (sulundseinad) ei kujuta endast iseseisvat konstruktsioonielementi, kuid on väga tähtsad filtratsiooniteekonna pikendamiseks. Punnsein asetatakse ülemise biefi esimese (ülevoolu ja kaldasamba survepoolse) seina alla (või ette), luues sellega nn. vettpidava rinde. Madalad punnseinad (kuni 3 m) tehakse punnitud laudadest, sügavamad (kuni 6 m) punnitud prussidest (sulund-)vaiadest. Et punnseinad ehitise püsivusele nimetamisväärselt kaasa ei aita, valitakse puidust punnseinte paksus olenevalt rammimise tingimustest (pinnaseliigist). Rähksetes pinnastes varustatakse puidust punnlaudade või -vaiade otsad metallkingadega. Kui ühest punnseinast on filtratsiooniteekonna pikendamisel vähe, asetatakse ülevoolu lõppu teine punnsein. Et aga teise (tagumise) punnseina efektiivsus on väike, tuleb püüda vajalikku filtratsiooniteekonna pikkust saavutada ühe punnseina ja pikema ponuuriga. Kui sügavamal on väiksema filtratsioonivõimega (tihedamad) pinnasekihid, tuleb punnsein lüüa tihedamasse kihti. Tuleb püüda vältida sellist juhtu, kus punnseina ja allpool asuva tihedama pinnasekihi (savi, liivsavi) vahele jääb väike vahe. Asudes pidevalt vee all, on puidust punnseina iga väga pikk.

Filtrid peavad olema ehitatud järgmiste nõuete kohaselt:

a) ühe filtrikihi kõige peenemad terakesed ei tohi mahtuda läbi järgmise kihi pooride;
b) filtri kahe kihi materjalid ei tohi seguneda;
c) filtriga kaitstava pinnase osakesed ei tohi mahtuda läbi esimese (kõige peenema) filtrikihi pooride;
d) filter ei tohi mudastuda.

Kõige kergem on neid nõudeid täita filtri valmistamisel ühejämeduse terastikuga materjalidest; sel juhul peab kahe järgneva filtrikihi terade läbimõõtude (D ja d) suhe olema

$$\frac{D}{d} < 7.$$

Filter ehitatakse tavaliselt vähemalt kolmekihilisena (harva kahekihilisena). Filtrikihi paksuseks võetakse 15 ... 50 cm. Kõige jämedama filtrikihi kaudu juhitakse vesi filtrist välja.

2. AVADE KUJUNDAMINE

Hüdrotehnilise ehitise kujundamiseks peab olema teada ekspluatatsiooniaegne (projekteeritud) maksimaalne ja vajaduse korral ka minimaalne vooluhulk. IV klassi (meil rohkem esinevad) alalistest ehitistest tuleb ekspluatatsiooni normaaltingimustes läbi lasta 5%-line aasta maksimaalne vooluhulk ja kontrollida erakorraliste ekspluatatsioonitingimuste kohaselt 1%-lise aasta maksimaalse vooluhulga läbilaskmise võimalust (seejuures võib veepind ehitise ees tõusta normaalpaisutusest kõrgemale). Ajutiste ehitiste puhul kontrollitakse IV klassi ehitistel ainult 5%-lise aasta maksimaalse vooluhulga ja V klassi ehitistel 10%-lise aasta maksimaalse vooluhulga läbilaskmise võimalust. Kontrollarvutuse teel tuleb veenduda, et ei teki ohtu põhikonstruktsioonidele.

Avad dimensioneeritakse hüdrauliliste arvutuste abil (vt. 5. ptk.). Lahtiste avade puhul on normaalpaisutustase ja lubatav maksimaalne veetõus ehitise ees antud ette. Harja kõrgus ühtib siin normaalpaisutustasemega. Selliselt kujundatud paise nimetatakse varjadeta ülevoolupaisudeks. Ülemise biefi veetase oleneb neil läbilastavast vooluhulgast. Selline pais ei vaja teenindamist.

Suletava ava kujundamisel tuleb arvestada sulu või varja ehitusvõimalusi — siibrite puhul olemasolevat siibrite nomenklatuuri ja varjade puhul nende ehitusmaterjali. Väikestes ehitistes on laialt levinud tasapinnalised puitvarjad, varja maksimaalse kõrgusega 2,5 m. Puitvarjad toetuvad 0,8 ... 1,0 m tagant asetatud varjapostidele. Varjapostid toetuvad alt ülevoolu harjale ja ülevalt teenindussilla nn. vesitalale. Varja suurus oleneb tõstemehhanismist ja varja asetussügavusest. Et kergendada varjade avamist, tehakse kõrgemad varjad mitmest kilbist, kusjuures alumiste kilpide kõrgus on väiksem kui ülemistel. Jõgede paisudel tuleb jäämineku ajaks varjad ja varjapostid eemaldada.

3. EHITUSKONSTRUKTSIOONIDE ARVUTUSED

Ehituskonstruktsioonide kujundamisel tuleb kõigepealt teha avade ning koos sellega ka biefide ühendamise hüdraulilised arvutused, millega määratakse ehitise mõõtmed. Seejärel, sõltuvalt tugevus -ja püsivusarvutustulemustest, konstrueeritakse ehitis.

Kõik ehitised ja nende elemendid peavad olema nii kujundatud, et võimalike maksimaaljõudude mistahes kombinatsiooni puhul oleks tagatud ehitise tugevus ja püsivus. Peale selle peavad ehitis ja selle elemendid olema kujundatud ökonoomselt, välimuselt meeldivalt, ehitustööde seisukohalt lihtsalt ning küllaldaselt seostatult.

Ehituskonstruktsioonide tugevusarvutused toimuvad üldiste ehitusmehaanika (tugevusõpetuse) põhimõtete ja valemite järgi (vt. MK IV). Allpool käsitletakse hüdrotehnilistele ehitistele mõjuvaid jõude, nende määramise viise ja ehitiste püsivusarvutusi.

Hüdrotehnilistele ehitistele mõjuvad jõud. Ehitise omakaal. See määratakse ehitise mahu ja mahukaalu korrutamise teel, mille juures ei tohi unustada vees paiknevate konstruktsioonide kaalu vähenemist (või filtratsiooni survet).

Vee surve. Vee hüdrostaatiline survejõud P (tonnides) arvutatakse järgmiselt (vt. ka valemit 5-7):

$$P = \frac{\gamma H^2 l}{2}, \qquad (13\text{-}1)$$

milles H — vee sügavus ehitise ees (m);
γ — vee mahukaal (1,00 t/m³) ja
l — ehitise veepoolse külje pikkus (m).

Filtratsioonisurve. Filtratsioonivool hüdrotehnilise ehitise all avaldab viimase tallale hüdrostaatilist survejõudu, mida nimetatakse filtratsioonisurveks. Seda arvestatakse trapetsikujulise epüüri järgi ehitise pikkuse 1 meetri kohta valemiga:

$$P_f = \frac{H_1 + H_2}{2} b\alpha, \qquad (13\text{-}2)$$

milles P_f — filtratsioonisurve (t);
b — ehitise talla laius (m);
α — vähenduskoefitsient;
H_1 — arvutuslik survekõrgus ülemises biefis (kui punnsein on talla esiseina all, siis punnseina taga, m) ja
H_2 — arvutuslik survekõrgus alumises biefis (m).

Vähenduskoefitsient (α) on murendpinnastel 1,0, kaljupinnastel aga arvestatakse filtratsioonisurve vähenemist järgmiselt:

vett mitteläbilaskev kalju — $\alpha = 0{,}33$;
nimetamisväärsete pragudeta kalju — $\alpha = 0{,}50$;
praguline ja väga praguline kalju — $\alpha = 0{,}75 \ldots 1{,}0$.

Jää surve. Tuule või veevoolu mõjul liikuva jääpanga löögist tekkiv dünaamiline survejõud (kui jääpanga ja ehitise rinde vaheline nurk on 80 ... 90°) on arvutatav valemiga

$$P_d = kV\delta\sqrt{lb}, \qquad (13\text{-}3)$$

milles P_d — survejõud (t);
V — jääpanga liikumise kiirus (m/sek);
δ — jääpanga paksus (m) (võetakse 60 ... 80% pika vaatlusrea maksimaalväärtusest);
l ja b — jääpanga pikkus ja laius (m), mis olenevad kohalikest oludest;
k = 6 sek.t/m² — jäämineku alguses (jää tugevuse puhul σ_j = = 200 t/m²);
k = 4,3 sek.t/m² — jäämineku kõrgperioodil (σ_j = 100 t/m²).

Temperatuuri muutustest tingitud jää survejõud P_t, olenevalt jääkatte pikkusest L ja paksusest kõige ebasoodsamate ilmastikutingimuste juures, esitatakse tabelis 13-1.

Tabel 13-1

Jää survejõud

Jääkatte paksus (m)	P_t (t/m)			
	L = 150 m ja rohkem	L = 100 m	L = 75 m	L = 50 m
1,5	28	39	47	55
1,2	20	25	30	36
1,0	15	19	23	27
0,7	10	13	17	20
0,5	7	8	10	13

Märkus. Ehitisele mõjuv jää surve ei saa ületada jää tugevuspiiri (σ_j).

Pinnase surve. Pinnase aktiivne survejõud ehitise seinale arvutatakse pinnasemehaanika valemitega (vt. MK IV).

Ehitiste püsivusarvutus. Kontuurfiltratsioon. Ülemise ja alumise biefi veetaseme kõrguste vahe (langus) põhjustab hüdrotehnilise ehitise all filtratsioonivoolu. Filtratsioonivool ei ole ehitisele seni ohtlik, kuni ta ei kutsu esile pinnaseosakeste väljauhtumist ehitise alt ehk nn. sufosiooni. Sufosioon on välditav, kui on täidetud tingimus, et $L_0 \geqslant C_0 Z$, kus L_0 on hüdrotehnilise ehitise aluse kontuuri (arvutuslik) pikkus filtratsioonivoolu suunas (m).

$$L_0 = L_1 + \frac{1}{3} L_2, \tag{13-4}$$

milles L_1 — kontuuri vertikaallõikude pikkus (m);
L_2 — kontuuri horisontaallõikude pikkus (m);
Z — langus (m) ja
C_0 — sufosioonikindlust iseloomustav koefitsient (Leini järgi).

Tabel 13-2

Koefitsient C_0 (Leini järgi)

Ehitise aluse pinnaseliik	C_0	$J = \frac{1}{C_0}$
Väga peen liiv, muda	8,5	0,12
Peen liiv	7,0	0,14
Keskmise terasuurusega liiv	6,0	0,17
Jämedateraline liiv	5,0	0,20
Peen kruus	4,0	0,25
Keskmise jämedusega kruus	3,5	0,29
Jäme kruus ja klibu (veeris)	3,0	0,33
Pehme savi	3,0	0,33
Kivid klibu ja kruusaga	2,5	0,40
Savi	2,0	0,50
Kõva savi	1,8	0,55
Väga kõva savi	1,6	0,67

Kui alus on varustatud punnseinaga ja filtratsioonivool väljub filtrisse, võib koefitsiendi C_0 väärtust vähendada kuni 30%.

Ehitise püsivus liugumise (nihke) vastu. Hüdrotehnilise ehitise püsivust tuleb kontrollida liugumisele. Hõõrdejõud ehitise horisontaalse talla all on arvutatav valemiga:

$$F = f(P - P_f), \tag{13-5}$$

milles P — ülalt alla mõjuvate vertikaaljõudude summa (raskusjõud, väliskoormus jne.);
P_f — filtratsioonisurve (vt. val. 13-2) ja
f — hõõrdekoefitsient talla ja pinnase vahel.

Tagavarakoefitsient liugumisel K_c on avaldatav järgmiselt:

$$K_c = \frac{f(P - P_f)}{Q}, \tag{13-6}$$

milles Q — nihutavate horisontaaljõudude summa;
K_c = 1,0 ... 1,1 (kaljupinnaste puhul) ja
K_c = 1,3 ... 1,5 (murendpinnaste puhul).

Hõõrdekoefitsiendi f väärtus on orienteerivalt:

killustik, kruus	0,5 ... 0,6
liiv	0,4 ... 0,5
saviliiv	0,35 ... 0,40
liivsavi	0,25 ... 0,35
savi	0,2 ... 0,3
kalju	0,5 ... 0,7.

Filtratsiooni kiiruse ja vooluhulga saab määrata järgmisest avaldisest (vt. § 6-11, p. 2):

$$V=ki;\ Q=k\omega i \text{ ja } i=\frac{Z}{L},$$

milles i — põhjaveepinna kalle (ehitise juures);
Z — langus (m);
L — filtratsiooniteekonna pikkus (m);
k — filtratsioonikoefitsient (m/sek);
V — filtratsiooni kiirus (m/sek);
Q — filtratsioonivooluhulk (m^3/sek) ja
ω — põhjaveevoolu ristlõike pindala (m^2).

Tabel 13-3

Filtratsioonikoefitsiendi ligikaudseid väärtusi

Pinnaseliik	k (m/sek)
Kruus, terade jämedusega 4...7 mm	0,035
Kruus, „ „ 2...4 mm	0,030
Puhas liiv	0,01...0,0001
Saviliivad	0,0001...0,00005
Liivsavid	$5{,}10^{-5}...10^{-6}$
Savid	$10^{-6}...10^{-9}$
Tihedad (tihendatud) savid	$10^{-9}...10^{-12}$

4. KIVI- JA BETOONPAISUD

Kõrgeid kivi- ja betoonpaise saab ehitada ainult kaljupinnastele. Madala ja keskmise survega paise on võimalik ehitada ka murendpinnastele.

Paisude ehitusmaterjaliks on peamiselt betoon, raudbetoon ja väikese surve puhul ka kivimüüritis tsementmördil.

Konstruktiivselt jaotatakse kivi- ja betoonpaisud:

a) gravitatsioonipaisud — töötavad ainult oma massiga;

b) kaarpaisud — töötavad horisontaalse kaarena tugevate kaljust kallaste vahel;

c) gravitatsiooni-kaarpaisud — töötavad oma massiga ja horisontaalse kaarena.

Vee läbilaskmise järgi jaotatakse paisud: a) avata paisud; b) avaga paisud.

Meie oludes ehitatakse ainult gravitatsioonipaise, mistõttu teisi siin ei käsitleta.

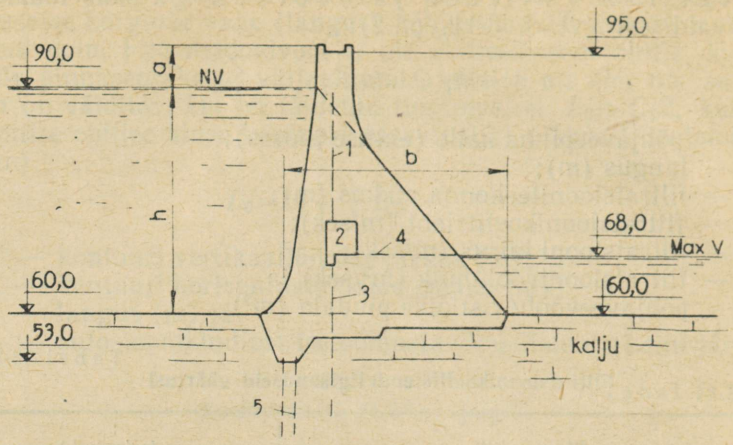
Avata paisud. Avata gravitatsioonipaisu teoreetiline ristprofiil on kolmnurk, mille tipp on normaalpaisutustasemel. Survepoolse nõlva nõlvuskoefitsient (m) valitakse $0{,}05<m<0{,}1$ ja alumisel nõlval $0{,}6<m<0{,}8$ piires. Paisu profiili laiuse (b) ja kõrguse (h) suhe on $0{,}75<\frac{b}{h}<0{,}85$ piires (vt. joon. 13-1).

Paisu hari projekteeritakse teoreetilisest kolmnurkprofiilist kõrgem

$$a=1{,}5\ h \text{ võrra,}$$

kus a — paisu harja kõrgus üle maksimaalse veeseisu ja
h — laine maksimaalne kõrgus.

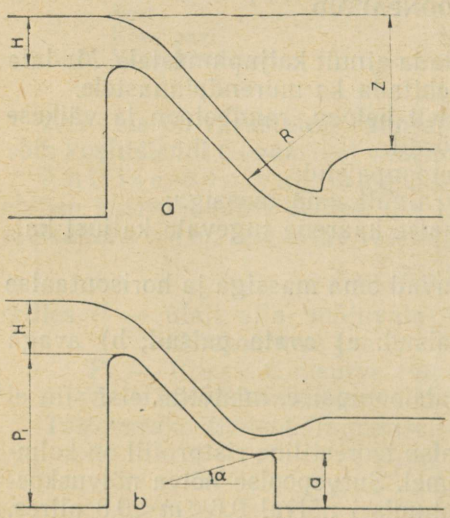
Harja laius projekteeritakse vastavalt vajadusele (tee gabariit jm.), kuid mitte kitsam kui 2 meetrit.



Joonis 13-1. Gravitatsioonipaisu ristprofiil (kaljualusel):
1 — paisukeha drenaaž; *2* — vaatlusgalerii; *3* — põhjadrenaaž; *4* — drenaaži kollektor; *5* — filtratsioonivastane tsementatsiooniekraan.

Plaanis kujundatakse paisud sirgjoonelistena (väga harva kaarekujulistena). Temperatuuri- ja vajumispragude vältimiseks tehakse paisule iga 10 ... 15 m tagant konstruktiivsed vuugid.

Avaga paisud. Ülevoolupaisud. Kivi-, betoon- ja raudbetoonpaisude ülevoolu profiil on vaakuumita ja vaakuumiga. Vooluhulga koefitsient vaakuumprofiili puhul on küll 7 ... 15% suurem, kuid paisu pealispinna intensiivse väljauhtumise võimaluse tõttu ei ole need profiilid soovitatavad. Vaakuumita profiili koordinaadid antakse 1 m paksuse joa ($H=1$ m) kohta. Joa teistsuguse paksuse puhul tuleb koordinaate vastavalt suurendada või vähendada.



Joonis 13-2. Ülevoolu ühendamine risbermiga (väljumisosaga):
a — kaarjooneline ühendus; *b* — trampliinühendus.

Ülevooluosa löögipõrandaga ühendamine toimub kas otse, kaarjoone või trampliini kaudu. Kaarjoone raadius valitakse piirides $0{,}5Z<R<1{,}0Z$. Suure jääminekuga jõgedel moodustatakse paisu alumisse ossa aste (a), mille kõrgus on 0,2 ... 0,4 paisu kõrgust. Trampliini puhul valitakse joa tõusunurk (α) piirides $5°<\alpha<15°$ (vt. joon. 13-2).

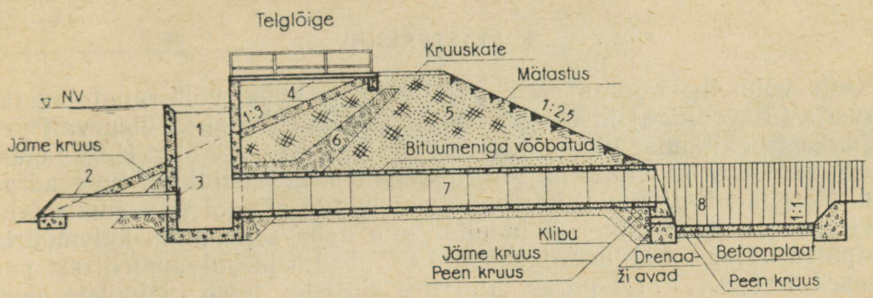
Paisu kujundus on kõige lihtsam sel korral, kui on lubatav veetaseme tõus paisu ees; sel juhul pole varje tarvis (nõuab üldiselt laia ülevoolu). Kui ülevool ei suuda ettenähtud vooluhulka läbi lasta, tuleb selle hari madalamale lasta ning ülevoolu kohale asetada varjad normaalpaisutustaseme tagamiseks.

Kitsastes jõesängides tuleb suurte vooluhulkade puhul ehitada suletava avaga pais. Vastavalt konstruktiivsetele kaalutlustele ehitatakse pais kas osaliselt või põhjani avatav. Põhjani avatavaid paise nimetatakse ka lüüs-

regulaatoriteks. Normaalsetes ekspluatatsioonitingimustes on pais varjadega suletud kuni normaalpaisutustasemeni.

Põhjalasuga paisud. Väga väikeste maksimaalsete vooluhulkade puhul võib liigvee paisust läbi lasta paisu sisse ehitatud ava, nn. põhjalasu kaudu, mida kasutatakse ka veehoidla tühjendamiseks.

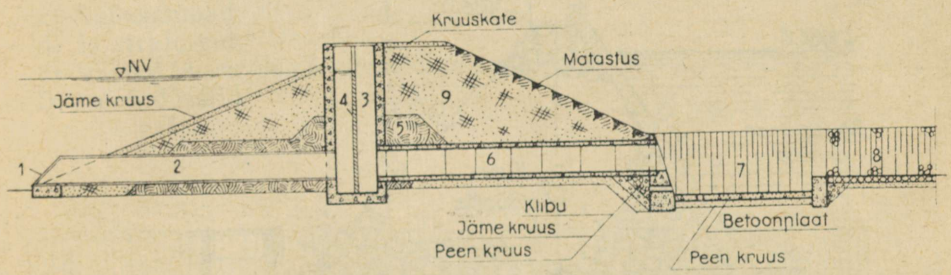
Veehoidlate tühjendamiseks väikese vee ajal ehitatakse paisu tavaliselt šiibriga suletav põhjalask. Siibrit teenindatakse kaldasambalt, vahesambalt või selleks otstarbeks ehitatud šahtist.



Joonis 13-3. Tornveehaardega põhjalask:
1 — tornveehaare; *2* — põhjalask; *3* — põhjalasu vari; *4* — teenindussild; *5* — muldtamm; *6* — saviekraan; *7* — toruveejuhe; *8* — veelöögikaev.

Kui oru kõige madalam osa (lamm) on suletud muldtammiga, kujundatakse põhjalask eraldi ehitisena ja varustatakse kas torn- või šahtveehaardega.

Tornveehaardega põhjalask haarab vee veehoidla ülemistest kihtidest (suvel sooja vee). Talvel selline ehitis külmub. On kasutusel põhjaveega toituvates külmades kalatiikides suveperioodil. Talveks lastakse tiik tühjaks.



Joonis 13-4. Šahtveehaardega põhjalask:
1 — võre; *2* — juurdevoolutoru; *3* — šaht; *4* — šandoorid; *5* — saviekraan; *6* — toruveejuhe; *7* — veelöögikaev; *8* — äravoolukraav; *9* — muldtamm.

Šahtveehaardega põhjalasule on veehoidla veetaseme reguleerimiseks ette nähtud šandoorid, mis asetatakse muldtammi sisse ehitatud šahti. Šaht on survetoru kaudu ühenduses veehoidlaga. Survetoru ots varustatakse eemaldatava võrega. Veehaardesse pääseb veehoidla põhjast külm vesi. Üle šandooride voolab liigne vesi toruveejuhtme ja veelöögikaevu kaudu äravoolukraavi (või alumisse biefi).

Tornveehaare ehitatakse tavaliselt raudbetoonist. Torni hari asetatakse veehoidla normaalpaisutustasemele. Vee tõusu puhul siseneb vesi torni.

Torni läbimõõt oleneb maksimaalsest läbilastavast vooluhulgast ja maksimaalsest lubatavast veetõusust veehoidlas. Raudbetoonist torni seina paksuseks võetakse tavaliselt $^1/_{10}$ torni siseläbimõõdust ja survetorude seina paksuseks võetakse $^1/_{10}$ toru siseläbimõõdust. Veelöögikaevu mõõtmed määratakse hüdrauliliste arvutuste järgi. Selle minimaalne sügavus on 0,5 m (arvestades toru põhjast).

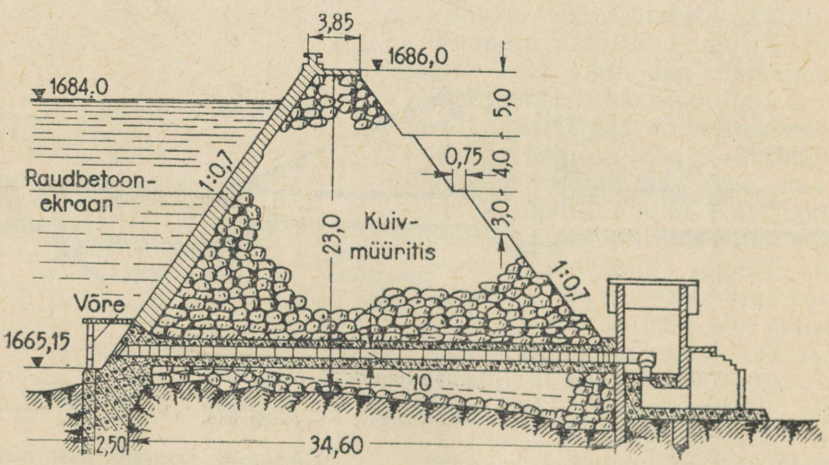
Torn- ja šahtveehaardega põhjalasud töötavad ka aeraatoritena (rikastavad vett õhuhapnikuga).

5. PUISTPAISUD

Kandevõimelistele pinnastele, nagu kalju ja klibu, võib rajada avata ja ka avaga (ülevooluga) kivipuistpaise. Puistpais ehitatakse, olenevalt paisu kõrgusest ja ehitamise viisist, kividest kaaluga 10 ... 100 kg. Heaks puistematerjaliks on tardkivimid ning settekivimitest kvartsiidid ja tugevad paekivid. Nõrgemad, uhtumist kartvad settekivimid ei sobi puistematerjaliks. Soovitatav on puistematerjal laduda, s. o. teha sellest nn. kuivmüüritis. Puistpaisu nõlvused kujundatakse 1 : 1,0 ... 1 : 1,5 ja kuivmüüritisest paisu nõlvused 1 : 0,5 ... 1 : 1,0 piires. Alatistes ehitistes tuleb kivipuiste pealispinnad laduda kuivmüüritisena.

Filtratsioonivoolu tõkestamiseks kasutatakse vett vähe läbilaskvast pinnasest, puidust, raudbetoonist või isegi metallist ponuuri, ekraani või diafragmat. Ponuur ja ekraan asetatakse survepoolsele nõlvale, diafragma aga paisu keskele. Ponuuri nõlvus valitakse vastavalt kasutatavale pinnaseliigile.

Puitekraan ehitatakse 4 ... 5 cm paksustest laudadest, mis on alt ja ülevalt seotud prussidega. Raudbetoonekraan tehakse ruudukujulistest raudbetoonplaatidest, mille külje pikkus on 3 ... 4 m ning minimaalne paksus 10 cm. Paisu harja minimaalseks laiuseks võetakse 2 m (vt. joon. 13-5).



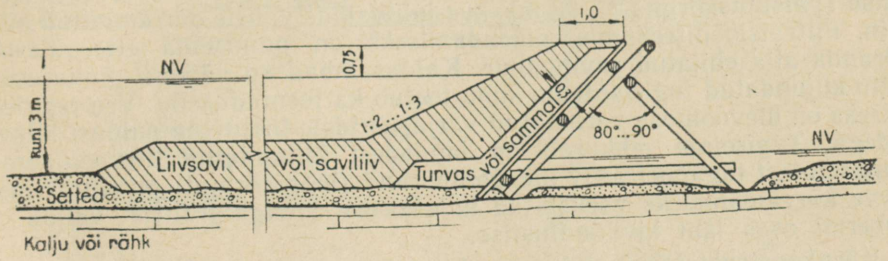
Joonis 13-5. Raudbetoonekraaniga kuivmüüritispais.

Puistpaisu ülevooluosa (ava) kaetakse tavaliselt 0,5 m paksuse raudbetoonplaadiga. Plaadid tehakse ruudukujulised, külje pikkusega 2 ... 5 m. Plaat varustatakse töö- ja pindarmatuuriga. Plaatidevahelised vuugid täidetakse bituumeniga. Plaatide algus ühendatakse kivipuistega ja ponuuriga betoonseina kaudu. Plaatide lõpp ühendatakse betoontugiseina kaudu ris-

bermiga. Plaatide lõpp kujundatakse kaarekujulise trampliinina, mille tõus on 5 ... 15°. Ülevooluosa nõlvus on 1 : 1,5 ... 1 : 2.

Ülevoolu taga kindlustatakse risberm kivipuistega (min. paksus 0,5 m) või kivisillutisega, kus kivide pealmise kihi läbimõõt on vähemalt 30 cm. Risbermi pikkus võetakse vastavalt hüdraulilisele arvutusele.

Puiste poorsus ei tohi kuni 15 m kõrgustel kivipuistpaisudel ületada 40%.



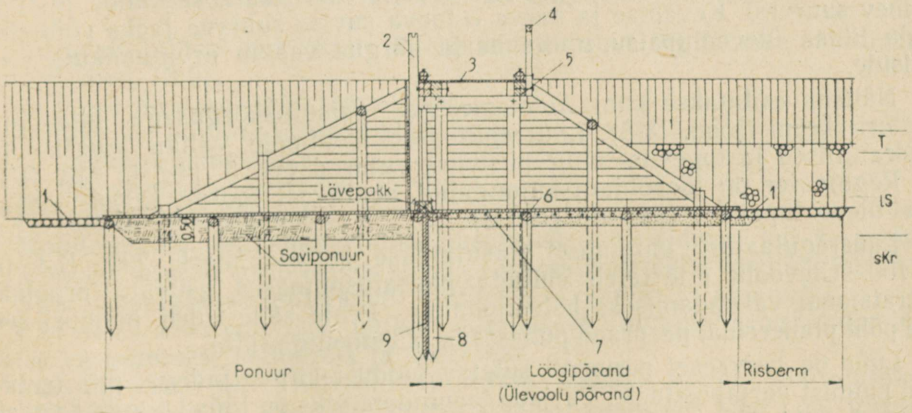
Joonis 13-6. Pukkidele toetuv puistpais.

Tühemeid ei tohi kuivmüüritises olla üle 25%. Ajutistes ehitistes kasutatakse puistematerjali vähendamiseks pukkidele toetuvaid puistpaise. Pukkide ühele küljele asetatakse laudsein, kuhu toetub paisu mulle. Laudseina ja mulde vahele asetatakse turba- või samblakiht.

6. PUITPAISUD

Puitpaisudeks nimetatakse paise, kus peamiseks ehitusmaterjaliks on puit. Puitpaisudel on järgmised põhielemendid:

a) flutbet, mis koosneb ponuurist, löögipõrandast ja risbermist;
b) kaldasambad;
c) vahesambad;
d) kontraforsid;
e) varjad ja varjade tõstemehhanismid ja
f) teenindussild.



Joonis 13-7. Puitpais (vaiflutbetil):

1 — kivikindlustis; *2* — varja post; *3* — teenindussild; *4* — silla käsipuu; *5* — silla kandetala; *6* — ülevoolu põrand; *7* — kahekordne kruusfilter; *8* — juhtvaiad; *9* — punnsein.

Olenevalt paisu pikkusest ja kõrgusest võivad ära jääda kontraforsid, vahesambad, varjad ja teenindussild.

Puitpaise kasutatakse väikese paisutuskõrguse (languse) puhul (max 6,5 m). Konstruktsiooni järgi jaotatakse flutbetid vaiflutbettideks (vt. joon. 13-7), kärgflutbettideks ja kontraforsflutbettideks (kaljualusel).

Kaldasambad ehitatakse samuti vai-, kärg- ja kontraforskonstruktsioonis.

Meie oludes esineb kõige rohkem madalsurvelist vaikonstruktsioonis paisu (paisutuskõrgus 2 . . . 3 m), kus juhtvaiade vahele on rammitud punnsein. Filtratsiooniteekonna pikendamiseks on punnseina ette, ülevoolu põranda alla ehitatud saviponuur. Kaldasambad on väikese pinnasesurve tõttu kujundatud tugiseintena, kuhu toetub ka teenindussild. Vee reguleerimiseks on ülevooluosa varustatud varjapostidele toetuvate puidust kilpvarjadega. Tugiseinte pikkuselt on laudadest kujundatud ülevoolupõrand. Punnseintest tagapool asuv ülevoolupõrand (löögipõrand) on filtratsioonisurve kõrvaldamiseks varustatud kahekordse filtriga. Filtrist väljub vesi risbermi osas läbi kivikindlustise.

Kärgkonstruktsioonis puitpaise ehitatakse paisutuskõrgusega 2 . . . 6,5 m. Suurema paisutuskõrguse puhul tuleb kasutada juba kallakkärgkonstruktsiooni.

Puitpaisu ehitusmaterjaliks kasutatakse peamiselt mändi, harvem kuuske ja nulgu ning eriti vastutusrikastes kohtades tamme.

7. LÜÜSREGULAATORID

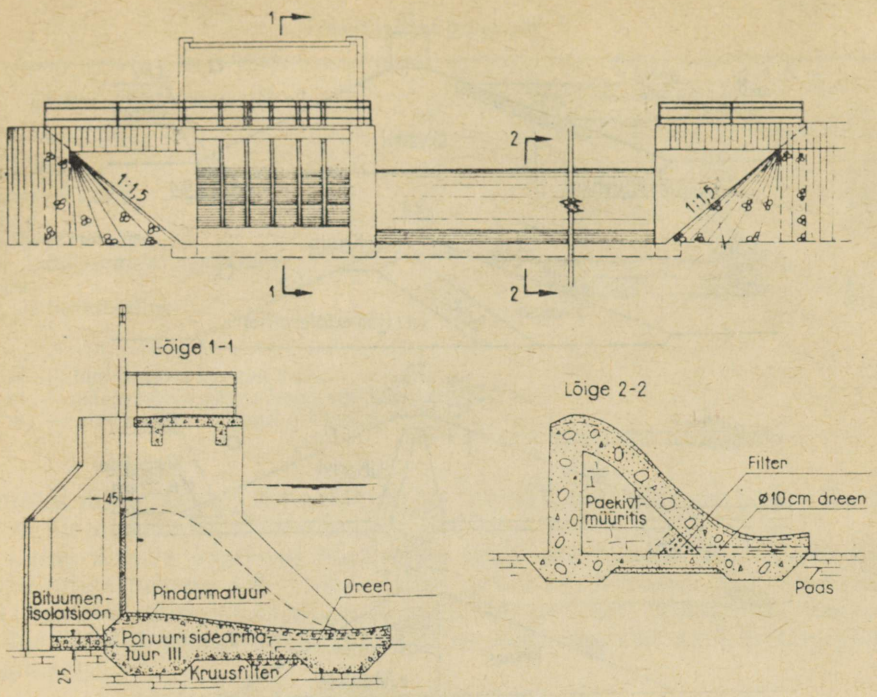
Madalaharjalisi ülevoolupaise nimetatakse lüüsregulaatoreiks. Lüüsregulaatorite ehitamise vajadus esineb näiteks seal, kus ristuvad maaparanduslikud (vee alandamise) ja vee-energeetilised (vee paisutamise) huvid. Meie oludes nõuavad maaparanduslikud huvid, et veeseis vegetatsiooniperioodi suurvee ajal ei ületaks arvutuslikku maksimaalset veeseisu. Madalvee ajal peab aga veeseis olema ettenähtust madalam. Vee-energia kasutamise huvides võib madalvee ajal tõsta lüüsregulaatoriga veeseisu arvutusliku maksimaalse tasemeni. Kui aga vooluhulk ületab tarvituse, tuleb lüüs avada ja liigvesi maha lasta. Harva esineva maksimaalse vooluhulga, mis tõstab veeseisu kuivendussüsteemides arvutuslikust kõrgemale, võib lüüsist läbi lasta ka arvutuslikust kõrgema veeseisu juures. Võttes ülaltoodut arvesse, on otstarbekohane lüüsregulaatorist läbi lasta keskmine ja tihti esinev suurvesi. Kevadise ja harva esineva suvise suurvee jaoks võib ehitada lihtsa ülevoolupaisu, mille harja kõrgus vastab arvutuslikule veeseisule.

Näitena esitatakse kuni kolmemeetrise paisutuskõrgusega lüüsregulaatori skeem (joon. 13-8). Lüüsregulaatori mõõtmete valiku aluseks on hüdraulilised ja tugevus- ning püsivusarvutused (vt. 5. ptk. ja MK IV).

Regulaator on jõepõhjani kujundatud avatavast lüüsist ja kõrvalasuvast ülevoolupaisust (pae-aluspinnal).

Lüüsregulaatori ehitamisel kasutatakse betooni mark 200, B-4 ja M-100. Ülevoolu ette tuleb ehitada paasaluspinnases asuvate pragude filtratsiooni vähendamiseks betoonponuur. Peale selle tuleb ponuuri ees jõe põhi planeerida, paepraod puhastada ja betooniga täita.

Lüüs on veevaesel perioodil suletav puidust kilpvarjadega, mis toetuvad puidust varjapostidele. Varjade teenindamiseks on lüüsil raudbetoonist teenindussild. Teenindussillale pääseb jõe paremalt kaldalt muldtammi ja parema kaldasamba kaudu. Teenindussillale ja kaldasambale tuleb ehitada käsipuud.



Joonis 13-8. Lüüsregulaator.

Filtratsioonisurve vähendamiseks on ülevoolu ja läve alla asetatud drenaaž, mis koosneb filtrist ja drenaažitorust. Lüüsi läveosas lastakse vesi filtrist välja kahe ava kaudu ülevooluplaadile ja ülevooluosas alumisse biefi, võimalikult madalale jõesängi põhja.

§ 13-2. MULDTAMMID (KAITSETAMMID)

1. MULDTAMMIDE LIIGITUS JA EHITUSMATERJALID

Sõltuvalt tammi ristlõikest ja ehitusmaterjalist liigitatakse muldtammid (vt. joon. 13-9):

a) ühest pinnaseliigist tammideks;
b) mitmest pinnaseliigist tammideks;
c) tuumaga tammideks;
d) diafragmaga tammideks ja
e) ekraaniga tammideks.

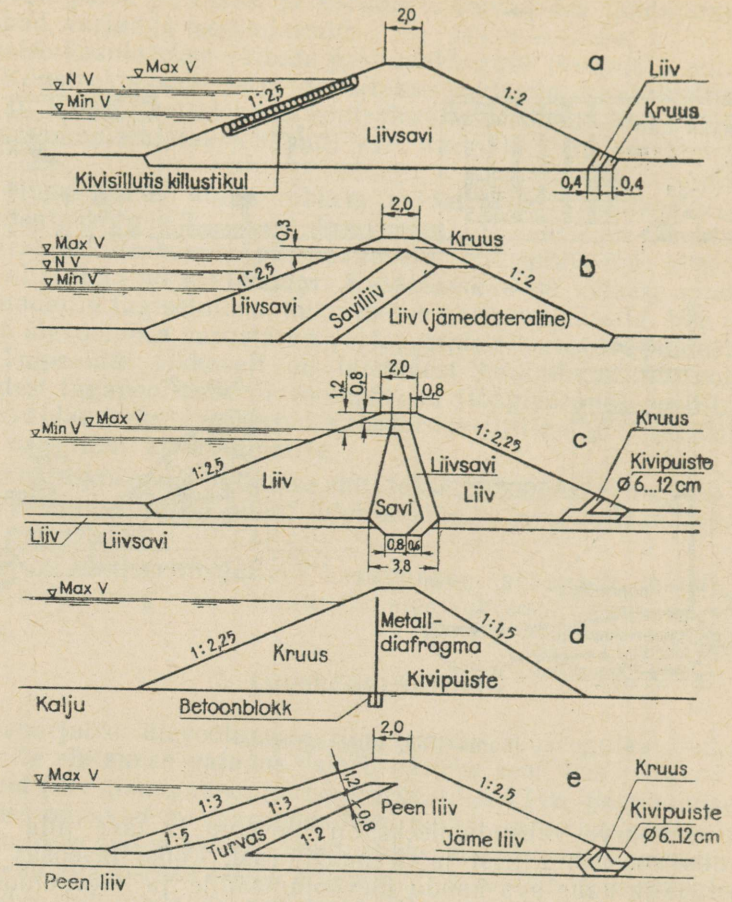
Muldtammide ehitusmaterjaliks kasutatakse nii sidusat kui ka pudedat pinnast. Pinnas peab olema püsiv ja võimalikult vähe vett läbi laskma.

S a v i kasutatakse muldtammi tuumaks, ekraaniks ja ponuuriks.

L i i v s a v i kasutatakse mulde ehitamiseks, liivapinnastest tammide juures ka tuumaks, ponuuriks ja ekraaniks.

S a v i l i i v a ja l i i v a kasutatakse tammi mulde ehitamiseks. Liiva kasutatakse ka drenaaži juures filtriks, kusjuures saue- ja tolmufraktsioone ei või kaalu järgi olla üle 5%.

K r u u s a, k i l l u s t i k k u ja k i v e kasutatakse drenaaži ehitamisel ja nõrgemate pinnasekihtide kaitseks.



Joonis 13-9. Muldtammid.

Turvast lagundusastmega üle 50% kasutatakse ekraani ja ponuuri ehitamiseks. Turvas asetatakse ekraani 0,2 . . . 0,3 m paksuste kihtidena (vähemalt kolm kihti).

Metalli ja raudbetooni kasutatakse diafragma ja ekraani ehitamiseks kõrgete muldtammide puhul.

2. MULDTAMMIDE PROJEKTEERIMINE

Muldtammi ristlõike projekteerimisel lähtutakse mulde ja aluse püsivusest. Muldtammi püsivus oleneb tammi ehitusmaterjalist. Muldtammi nõlvade püsivus oleneb tammi kõrgusest ja pinnase füüsikalistest ja mehaanilistest omadustest.

Väikeste muldtammide nõlvused võib valida tabelist 13-4.

Kõrgemate muldtammide ja nõrkade (ka saviste) pinnaste puhul tuleb kontrollida nõlvade püsivust lihkele (mööda silindripinda) ja aluse väljavalgumise võimalusi.

Muldtammi harja laius (minimaalselt 2 m) oleneb ehitamisviisist. Harja kõrgus üle normaalpaisutustaseme oleneb lainekõrgusest veehoidlas ja tagavarast. Viimane oleneb ehituse kapitaalsusklassist — IV klassi

Tabel 13-4

Muldtammi nõlvused

Tammi mulde materjal	$H < 4$ m		$H < 7$ m	
	m	m_1	m	m_1
Raske liivsavi	2,0	1,5	2,5	1,75
Tolmjas liivsavi	2,5	2,0	3,0	2,25
Saviliiv	2,75	2,25	3,0	2,5
Liiv, peeneteraline	3,0	2,5	3,25	2,75
Liiv, mitmesuguse terajämedusega	2,75	2,25	2,75	2,25
Liiv, jämedateraline	2,50	2,0	2,5	2,0

H — muldtammi kõrgus (m);
m — märja nõlva nõlvuskoefitsient ($m = \operatorname{ctg} \alpha$) ja
m_1 — kuiva nõlva nõlvuskoefitsient.

ehitistes minimaalselt 0,4 m üle laine arvutusliku kõrguse ehk vähemalt 0,7 m üle maksimaalse paisutustaseme.

Laine uhtuva tegevuse piirkonnas tuleb muldtammi nõlv kindlustada. Kivisillutise paksus (d) oleneb laine teekonna pikkusest (L) veehoidlas. Jää tegevuse piirkonnas tuleb kivisillutise paksust suurendada vastavalt looduslikele tingimustele. Eesti NSV oludes valitakse kivisillutise paksus järgmiselt:

kui $L = 1{,}0$ km, siis $d = 15$ cm
" $L = 2{,}0$ " " $d = 20$ "
" $L = 3{,}0$ " " $d = 25$ "
" $L = 5{,}0$ " " $d = 30$ "

Sõredast materjalist (liiv, kruus) muldtammi sisse tuleb ehitada pinnasest tuum või ekraan, mille minimaalne paksus ülemises osas on 0,8 m ja all 0,1 $H \geqslant 0{,}8$ m, kus H on survekõrgus (m). Pinnasest ponuuri minimaalne paksus on 0,5 m. Vähe armeeritud betoon- või raudbetoonekraani paksus on vähemalt 0,3 m.

IV klassi ehitistes peab ekraani kõrgus olema 0,5 m ja tuuma või diafragma kõrgus 0,3 m üle normaalpaisutustaseme. Läbikülmumise vältimiseks peavad savipinnastest ekraanid, tuumad ja ponuurid olema küllaldaselt paksu kattepinnasekihiga kaetud.

Muldtammi kallastega ühendamisel peab vältima kallaste väljauhtumise võimalust. Vajaduse korral tuleb mulle kaevata vajalikul määral kalda sisse.

Mulde alumisse nõlva tuleb ehitada drenaaž (või kruusfilter), mis juhib muldtammist läbifiltreeruva vee alumisse biefi. Drenaaž tuleb sufosiooni vältimiseks ümbritseda filtriga. Muldtammi depressioonikõver peab sisenema drenaaži allpool muldtammi läbikülmumise piirkonda.

Muldtammi alusest kooritakse huumuskiht ja muu orgaaniline materjal, välja arvatud turvas, mis võib jääda muldtammi alla, kuid sel juhul tuleb arvestada muldtammi vajumist ka turba arvel.

Looduslikust materjalist muldtammi ehitamisel tuleb asetada vettpidavamad pinnased survepoolse nõlva ja vettläbilaskvamad kuiva nõlva poole.

§ 13-3. VOOLUSÄNGIDE KINDLUSTAMINE

1. ÜLESANNE JA TÄHTSUS

Kuivendusvõrgu veejuhtmetele tuleb püüda projekteerida püsiv voolusäng, milles ei esineks uhtumist ega settimist. Sõltuvalt voolu kiirusest, pinnaseliigist ja muudest asjaoludest on püsiv voolusäng saavutatav sageli vaid kindlustamise teel.

Kraavide voolusängi kindlustamiseks on vajalikud küll suuremad esialgsed kapitaalmahutused, kuid ekspluatatsioonikulud vähenevad seetõttu tunduvalt.

Näiteks Tartu rajooni «Jüriöö» kolhoosi Kabina peakraavid on rajatud ebapüsivasse pinnasesse. Kahel esimesel aastal pärast kraavide kaevamist kulutati kraavinõlvadelt varisenud sette väljatõstmiseks kokku üle 1600 rubla, kuid suurvee ajal vajusid kraavid uuesti täis. 1957. a. kindlustati nõlvad mätaste ja hagupunutisega, mis maksis 1900 rubla. Pärast seda on kraavide korrashoiuks kulutatud ainult 50...70 rubla aastas. Seega on peakraavide edaspidine häireteta töö tagatud ning tehtud kulutused tasuvad end vähem kui kolme aasta jooksul.

Vastavalt põhjustele, mis võivad kutsuda esile voolusängi rikkeid, valitakse sõltuvalt objekti ehitustingimusist ja olemasolevaist ehitusmaterjalidest kindlustusviis.

Voolusängide kindlustuse põhiliikidena kasutatakse mätastust, kivikindlustist, hagupunutist, fašiine, lattkindlustist ja murukatet.

2. KINDLUSTISTE PÕHILIIGID

Mätastust kasutatakse voolusängi nõlvade kindlustamiseks sageli, sest materjal on kõikjal kättesaadav ning tööde teostamine lihtne ja odav.

Kindlustamiseks kasutatakse laus-, sein-, ruut- ja malelauakujulist mätastust (vt. joon. 13-10). Neist on levinum lausmätastus. Seinmätastust kasutatakse kiirema voolu puhul, samuti töötab seinmätastus teataval määral nõlvade toestusena. Ruut- ja malelauakujulist mätastust kasutatakse enamasti puistpinnasest nõlvade kindlustamiseks. Tavaliselt kombineeritakse mätastust koos teiste kindlustusliikidega (hagupunutis, kivisillutis jm.).

Mätastamiseks kasutatakse sõltuvalt kraavi nõlva laiusest mättalinte, pikkusega kuni 2,5 m, laiusega 40 cm ja paksusega 6...8 cm.

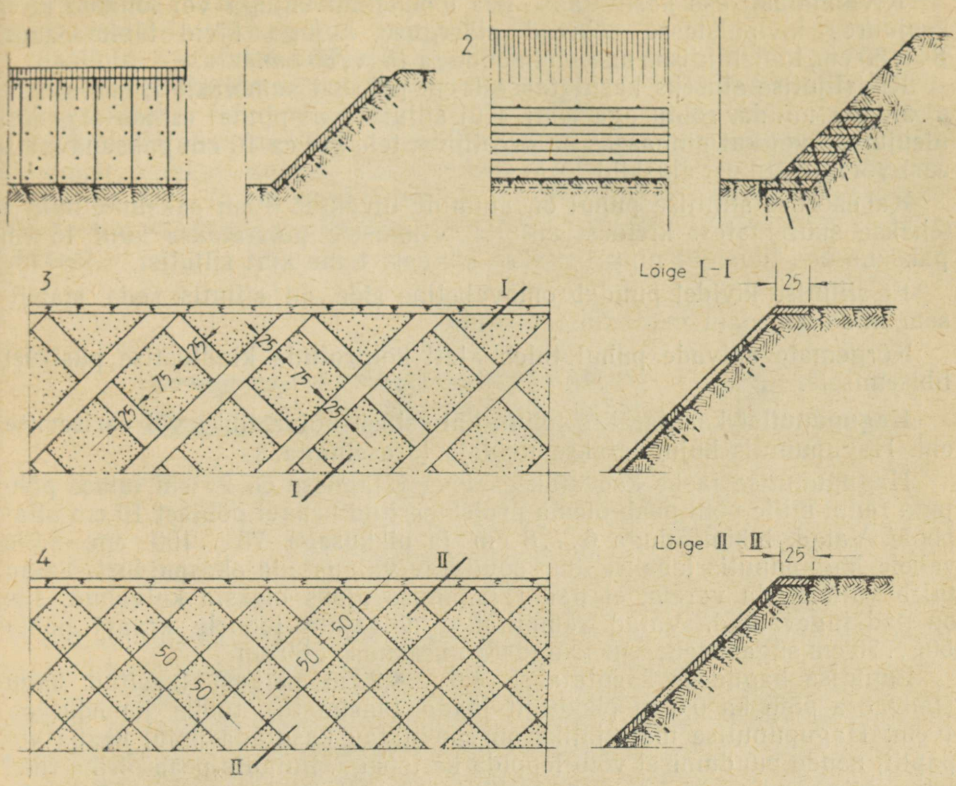
Kohustuslik on, et mättad asetataks nõlvale pikemate ribadena risti kraavisängiga, kusjuures neid paigaldataks suunaga ülalt (servalt) allapoole. Selline mätastamisviis suurendab tunduvalt tööjõudlust ja alandab ehitusmaksumust, samuti püsivad mättalindid nõlval kindlamalt ning hakkavad paremini kasvama kui tavaline, 25×40 cm mõõtmetega mätastest lausmätastus. Lintmätastusest tuleb loobuda ainult sel juhul, kui kraavi läheduses ei ole head rohukamarat. Selleks et saavutada mätaste tihedamat ühendust, tuleb mättaservad lõigata peitlitaoliselt viltu.

Kui mätastuse laius vastab mättalindi laiusele, siis asetatakse mättalint nõlvale paralleelselt kraavi sängiga.

Voolusängi nõlvad on vaja mätastada suvise madalvee tasemest kuni kevadise suurvee tasemeni (resp. kraavi servani).

Mätastust võib voolusängi kindlustamisel kasutada vaid siis, kui voolu kiirus ei ületa mätastusele lubatud kiirust (vt. tab. 5-25).

Kivikindlustis kuulub tugevamate ja vastupidavamate kindlustiste hulka ning sobib mineraalpinnastes kõigile voolusängiosadele. Kivikindlustis on kallis, eriti kui kive on vaja kaugemalt vedada.



Joonis 13-10. Nõlva mätastamise viise:
1 — lausmätastus; *2* — seinamätastus; *3* — ruutmätastus; *4* — malelauakujuline mätastus.

Maaparanduslikes ehitistes kasutatakse kivikindlustist:

a) suurema voolu kiirusega kraavilõikudes;

b) peeneteralistes ja tolmjates pinnastes paiknevate kraavide nõlvade ja põhja kindlustamiseks;

c) hüdrotehniliste ehitiste ponuuride, risbermide, astangute ja kärendike ehitamiseks ja

d) muldpaisude ja -tammide, truupide, sildade, piki- ja põiktammide (buunide) kindlustamiseks suure voolukiiruse puhul ning kaitseks lainete, jää ja ujuvesemete lõhkuva toime vastu.

Kivikindlustised jagunevad kivipuisteks ja kivisillutiseks.

Kivipuistet kasutatakse maaparanduses peaasjalikult muulide ja buunide ehitamiseks, samuti kaitsetammide veepoolsete nõlvade ja sillasammaste kindlustamisel.

Kasutatavamad kivisillutise tüübid maaparanduslikes ehitistes on:

a) ühekordne kivisillutis munakividest;

b) ühekordne kivisillutis ruudustikus, suurtest kividest;

c) ühekordne kivisillutis väikestest kividest suuremate vahekividega («rosinatega»);

d) ühekordne kivisillutis serviti sisselöödud kividega (pakelaaž);

e) ühekordne kivisillutis plaatjatest kividest;

f) kahekordne kivisillutis (kaks kihti kive);

g) ühe- või kahekordne kivisillutis hagupunutis-ruudustikus;

h) ühe- või kahekordne kivisillutis armeeritud betoonruudustikuga.

Kivikindlustiseks kasutatakse kas loodusliku kujuga või lõhatud kive, kusjuures kivipuistesse sobivad pikerguse kujuga kivid läbimõõduga 8...30 cm, kivisillutisse aga läbimõõduga 15...30 cm.

Kivisillutise aluseks kasutatakse 5 cm paksust samblakihti, mis ei tohi sisaldada mulda, rohtu ega lehti. Kui sillutataval pinnal esineb sagedasi üleujutusi, või kui pinnaseks on «vesiliiv», tehakse ca 10 cm paksune kruusast või killustikust aluskiht.

Kahekordse sillutise puhul on alumine liivakiht 8 cm paksune, millele tehakse suurematest kividest sillutis. Viimasele puistatakse kuni 15 cm paksune uus liivakiht ning laotakse kividest teine kiht sillutist.

Et sillutise kividel puudub omavaheline side, on sillutis seda stabiilsem, mida lamedam on kindlustatav nõlv.

Kõrgemate nõlvade puhul tuleb alati kontrollida kindlustise püsivust libisemisele.

Hagupunutist kasutatakse juhul, kui esineb nõlva lihke või varisemise oht. Hagupunutis kujundatakse madala taraseinana.

Hagupunutise jaoks kaevatakse nõlva jalamisse ca 25 cm laiuse põhjaga renn, mille põhi peab olema projekteeritud kraavi põhjast 10 cm allapoole. Vaiad, läbimõõduga 6...8 cm ja pikkusega 75...100 cm, mille vahele hagupunutis tehakse, on soovitatav valmistada okaspuidust. Vaiad tuleb valmistada varem, et nad rammimise ajaks oleksid kuivanud, siis on nad tugevamad. Vaiad rammitakse nõlvajala joonele kraavi põhja 50...70 cm sügavuselt, vahekaugusega keskmiselt 60 cm.

Punutise hagudeks kasutatakse 4,0...4,2 m pikkust laasitud hagu (ladvaosa võib ka 0,6 m pikkuselt jääda laasimata) tüüka jämedusega 4 cm. Hagupunutise materjaliks on soovitatav kasutada paju, haaba või paplit, nende puudumisel võib leppida ka lepaga. Punutis peab olema tihe, selle ehitamisel surutakse hagude teritatud tüükaotsad renni põhja (vaia taha).

Hagupunutis ehitatakse allapoole suvist keskmist veeseisu ning ta ulatub tavaliselt kraavi projekteeritud põhjast 15...20 cm ülespoole ja 10 cm allapoole.

Pärast hagupunutise valmimist asetatakse selle taha mättad, rohupool vastu punutist, ja renni tagasiaetav pinnas ning mättad tambitakse hoolikalt kinni.

Nagu eespool mainitud, kasutatakse ka kivisillutist hagupunutis-ruudustikus. Sellist kindlustist ehitatakse ülevoolu-ehitiste kaldanõlvade ja allavoolu asuvate osade kindlustamiseks kohtades, kuhu ei ulatu jäämineku purustav toime. Samuti on see kindlustisetüüp otstarbekohane sel juhul, kui hagu juurdub ja läheb kasvama. Seetõttu tuleb punutise ja samuti ka vaiade materjaliks valida hästi juurduvad pajuliigid ning hao tüükaotsad torgata pinnasesse. Vaiad olgu sel puhul värskelt raiutud ja nende koore vigastamise vältimiseks tuleb lüüa maasse augud, mis ulatuvad pooleni vaiade sisselöömise sügavusest. Ruutude küljepikkuseks on tavaliselt 0,8...1,0 m ja seinte kõrguseks 0,3 m.

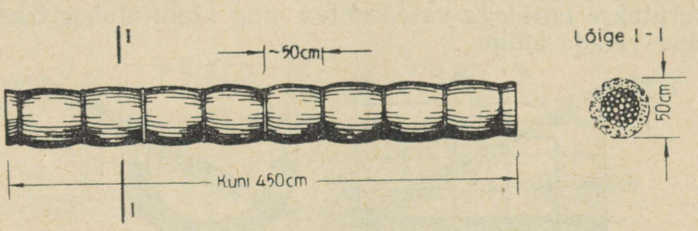
Fašiine kasutatakse nõlvajala (nõlvatalla) kindlustamiseks ebapüsivates pinnastes ning ka laiaks uhutud voolusängide kitsendamiseks, et vältida uhtmete settimist ja intensiivset taimekasvu.

Fašiin kujutab endast 10...30 cm läbimõõduga 2,5...4 m pikkust haokimpu, mis 50 cm tagant on seotud traadiga või pajuvitstest sidemetega.

Sõltuvalt materjalist jaotatakse fašiine harilikeks (kergeteks) ja rasketeks. Hariliku fašiini valmistamiseks kasutatakse ainult hagu.

Raskes fašiinis kasutatakse hagu kestaks, mis täidetakse kivi, kruusa või killustikuga (vt. joon. 13-11).

Fašiinid asetatakse nõlvajalamisse kaevatud renni, mille põhi peab olema kraavi projekteeritud põhjast 20 cm allpool. Fašiinide taha asetatakse mättad, rohupool vastu fašiini. Renni tagasiaetav pinnas ja mättad tambitakse hoolikalt kinni. Et vältida harilike (kergete) fašiinide libisemist pinnase survel, kasutatakse fašiinide kinnitamiseks vaiasid, pikkusega 60...75 cm ja jämedusega 4...6 cm, mis lüüakse vertikaalselt läbi fašiini kraavipõhja. Fašiinid paigaldatakse allapoole keskmist suvist veetaset.



Joonis 13-11. Raske fašiin.

Lattkindlustist kasutatakse samuti mittepüsivates pinnastes, et takistada nõlvade kokkuvarisemist.

See kindlustusviis sobib väikese vesikonnaga kraavide puhul, kus hagupunutis ja fašiinid võiksid suvel jääda kuivale. Nagu hagupunutis, nii kujundatakse ka lattkindlustis taraseinana.

Lattkindlustises kasutatakse samasuguseid vaiu mis hagukindlustiseski. Lattide jaoks kaevatakse nõlvajalamisse 25 cm laia põhjaga renn, kuhu surutakse tihedalt kokku 4...6 cm läbimõõduga latid. Pealmine latt kinnitatakse iga vaia külge ühe 4×100 mm naelaga. Lattkindlustis peab ulatuma kraavi projekteeritud põhjast 15...20 cm ülespoole ja 10 cm allapoole. Et vältida pinnase uhtumist läbi lattide vahel olevate pilude on vaja lattkindlustise taha asetada mättad, rohupool vastu kindlustist.

Murukate. Vaatlused on näidanud, et looduslik või külvi teel saadud murukate on küllaltki kindel kindlustis nõlva piirkonnas, kuhu ulatub suurvesi, mille kiirus ületab veidi (kuni 20%) antud pinnases lubatavat kiirust. Seega võib heinaseemne külvi lugeda kergemaks nõlvakindlustise liigiks ja kasutada teda peamise vahendina voolusängi nõlva ülemise osa uhtumise vältimiseks kevadise suurvee perioodil, juhul kui nõlv on lausmätastusega kindlustatud altpoolt kuni suvise suurvee tasemeni.

Paremaks heinaseemne külviajaks on varakevad (aprilli lõpp ja mai), millal mullas on rohkem niiskust. Soodsa ilmastiku puhul võivad häid tulemusi anda kuni juuli keskpaigani tehtud külvid.

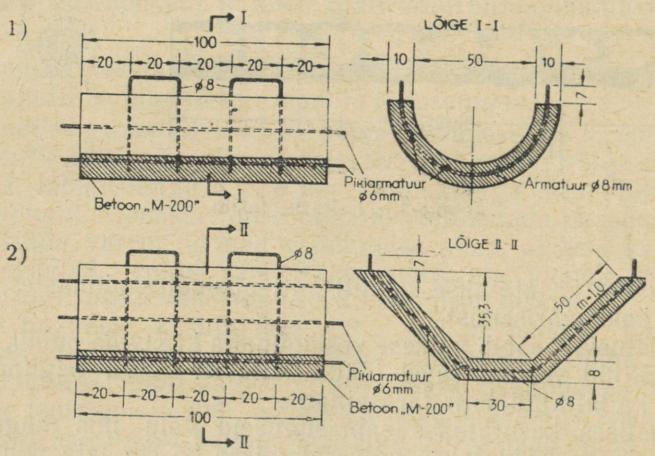
Voolusängi põhja kindlustamine on vajalik kraavi suure kalde puhul. Peale eespool nimetatud kivisillutise kasutatakse väiksemate voolu kiiruste puhul voolusängi põhja kindlustamiseks ka killustikku ja veerist keskmise läbimõõduga 40...75 mm. Seejuures on nõudeks, et materjal ei sisaldaks peeni osasid rohkem kui 15% üldmahust.

Juhul kui kraavis voolab pidevalt vesi, võib põhja kindlustamiseks kasutada ka **hagulaotist.** Nii veeriskindlustise kui ka hagulaotise paigaldamiseks on vaja kaevata kraavi põhi punutise vahel projekteeritud põhjast ca 8 cm võrra sügavamaks. Hagulaotis surutakse vastu kraavi põhja põikpuuga, mis kinnitatakse hagupunutise vertikaalvaiade külge. Hagulaotis puistatakse kruusaga üle kohe pärast paigaldamist.

Voolusängi põhja kindlustamiseks kasutatakse ka **hagumatte.** Hagumatt koosneb omavahel ühendatud harilikest kergetest fašiinidest (10... 15 cm läbimõõduga), mille valmistamiseks kasutatakse peenemat hagu. Hagumatid tehakse 1,2 m laiused ja 3...4 m pikkused, kusjuures fašiinid seotakse omavahel 0,5 m tagant traadiga kokku.

Kui veejuhtme põhi ei ole laiem kui 1,2 m, paigaldatakse hagumatt piki voolusängi ja kinnitatakse põikpuudega 1,5...2,0 m vahekaugustega vaiade külge. Suurema põhjalaiuse puhul asetatakse matid risti voolusängi ja mati otsad kaetakse nõlva kindlustisega.

Kui mätastus osutub mitteküllaldaseks, võib kasutada hagumatti ka nõlvade kindlustamiseks. Hagumatt asetatakse pikema küljega kallaku suunas, surutakse lattidega vastu nõlva ning kinnitatakse traadiga nõlva sisse löödud vaiade külge.



Joonis 13-12. Raudbetoonist detailid voolusängi põhja kindlustamiseks:
1) poolringikujulise ristlõikega; *2*) trapetsikujulise ristlõikega.

Voolusängi nõlvade ja põhja kindlustamine **monteeritavate betoon- ning raudbetoondetailidega** on levinud viimaseil aastail nii Nõukogude Liidus kui ka välismaal, eriti niisutuskanalitel. Raudbetoonist kindlustisi kasutatakse põhja ja nõlvajalami kindlustamiseks, nõlvade püsivuse tagamiseks ning filtratsioonikadude vähendamiseks.

Monteeritavate detailide kasutamisel on võimalik kindlustiselemente valmistada tehaseis ja polügoonidel ning kindlustise tegemist objektil mehhaniseerida, kusjuures saab tagada kindlustise kõrget kvaliteeti ja ekspluatatsioonikindlust.

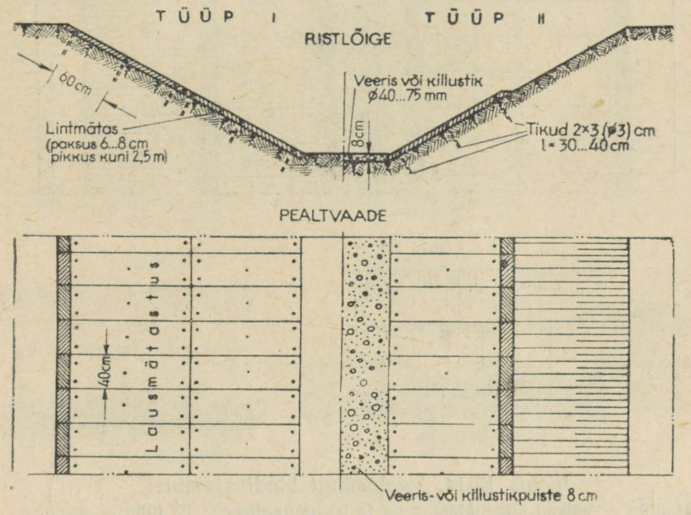
Voolusängi põhja kindlustamiseks on enam kasutamist leidnud raudbetoonist poolringi- ja trapetsikujulise ristlõikega künad (vt. joon. 13-12). Neid on sobivam kasutada kraavi suurte kallete puhul, kujundades nende abil voolurenni, või ebapüsivates pinnastes, kus kõvade kihtide läheduse tõttu ei ole võimalik rammida vaiu.

Tavaliselt kasutatakse kombineeritud kindlustusviisi: voolusängi põhi ja nõlvajalg kindlustatakse raudbetoonist künadega, nõlvad aga raudbetoonist plaatidega, millede mõõtmeiks väiksemate kraavide puhul on 50×50 cm ja paksuseks 6 cm. Samuti kasutatakse nõlvade kindlustamiseks kivisillutist.

3. VOOLUSÄNGI KINDLUSTISTE TÜÜBID

Kasutades eespool loetletud kindlustusviise, on võimalik kujundada mitmesuguseid nõlva, nõlvajala ja põhja kindlustise tüüpe. Joonistel 13-13... 13-19 on esitatud meie tingimustes sobivamaid pea- ja kogujakraavide voolusängi kindlustiste tüüpe.

Kraavi nõlva lausmätastus (I tüüp). Seda kindlustise tüüpi kasutatakse kraavidel, kus ei ole alalist voolu. Mättad asetatakse planeeritud nõlvale. Kui kraavi nõlval on pinnas püsiv kogu ulatuses, siis mätastatakse nõlv kevadise suurvee piirini. Kui suurvee piirist kõrgemal on pinnas ebapüsiv, mätastatakse nõlv kogu ulatuses kuni servani (vt. joon. 13-13).



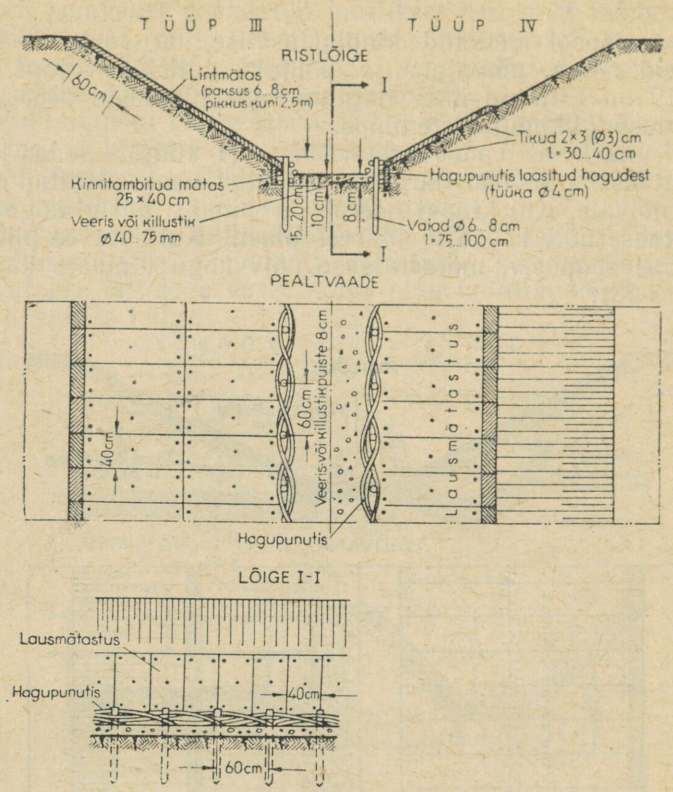
Joonis 13-13. Voolusängi kindlustamine:
I tüüp — nõlvad lausmätastusega; II tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.

Samadest põhimõtetest tuleb lähtuda ka alltoodud kindlustiste tüüpide nõlva mätastuse kõrguse määramisel.

Kraavi nõlva lausmätastus ja põhja kindlustus veeris- või killustikpuistega (II tüüp). Soovitatav kasutada suure kaldega kraavilõikude kindlustamiseks, kus pidevalt voolab vesi ning kus voolusängi sügavamal osal on suhteliselt püsiv pinnas (vt. joon. 13-13).

Kraavi nõlva mätastus ja nõlvajala kindlustus hagupunutisega ning põhja kindlustus veeris- või killustikpuistega (III ja IV tüüp). Kasutatakse nõlvajala kindlustamiseks mittepüsivates pinnastes, kuhu on võimalik rammida vaiasid. Kui on karta põhja uhtumist, on vaja kindlustada ka põhi. Veeris- või killustikpuiste paigaldamiseks kaevatakse kraavi põhi punutise vahel projekteeritust 8 cm võrra sügavamaks, sest põhja kindlustis ei tohi ulatuda projekteeritud põhjast kõrgemale. Soovitatav on, et väiksema läbimõõduga fraktsioonid asuksid kindlustise alumises kihis ja suuremad pealpool. Pärast veerise või killustiku paigaldamist kraavi põhja tihendatakse puiste tampimisega (vt. joon. 13-14).

Kraavi nõlva mätastus ja nõlvajala kindlustus



Joonis 13-14. Voolusängi kindlustamine:
III tüüp — nõlvad lausmätastusega ja hagupunutisega; IV tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.

lattidega ning põhja kindlustus veeris- või killustikpuistega (V ja VI tüüp; vt. joon. 13-15). Kasutatakse nõlvajala kindlustamiseks mittepüsivates pinnastes ja voolusängides, mis madalveeperioodil on kuivad. Suure kaldega kraaviosades tuleb ette näha põhja kindlustamine vastavalt III ja IV tüübi juures antud selgitustele.

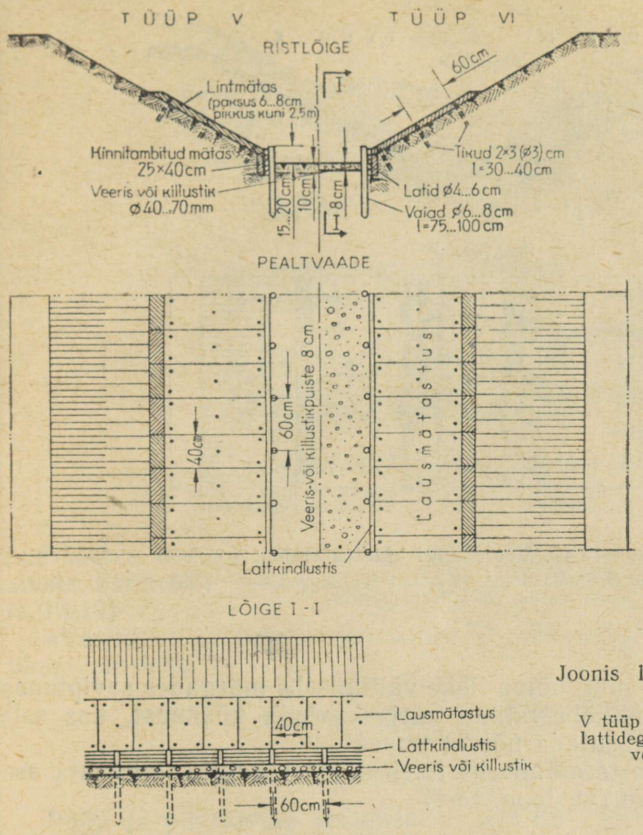
Kraavi nõlva mätastus ja nõlvajala kindlustus fašiinidega ning põhja kindlustus veeris- või killustikpuistega (VII ja VIII tüüp). Kasutatakse nõlvajala kindlustamiseks mittepüsivates pinnastes ja olemasoleva kraavi uhutud põhja kitsendamiseks soovitud mõõtmeteni, samuti ka seal, kus puudub sobiv materjal hagupunutiseks.

Kiire voolu puhul on vaja kindlustada ka kraavi põhi (vt. joon. 13-16).

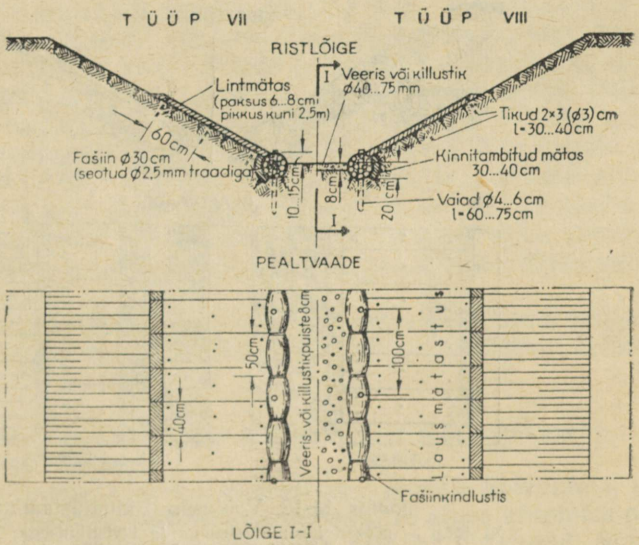
Kraavi nõlva mätastus ja nõlvajala kindlustus kahe fašiiniga ning põhja kindlustus veeris- ja killustikpuistega (IX ja X tüüp). Kasutatakse nõlvajala kindlustamiseks mittepüsivates pinnastes. Fašiinid töötavad teataval määral ka tugiseinana. Kui pinnas ei võimalda vaiade rammimist, kasutatakse raskeid fašiine, suurendades nende arvu vajaduse korral kolmeni.

Suure kalde puhul on vaja kindlustada ka kraavi põhi (vt. joon. 13-17).

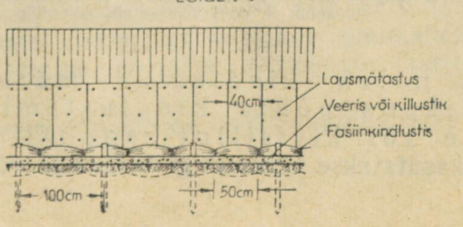
Kraavi nõlva kindlustus mätastuse ja kivisillutisega (XI tüüp). Seda kindlustistüüpi kasutatakse nõlvajala toetami-

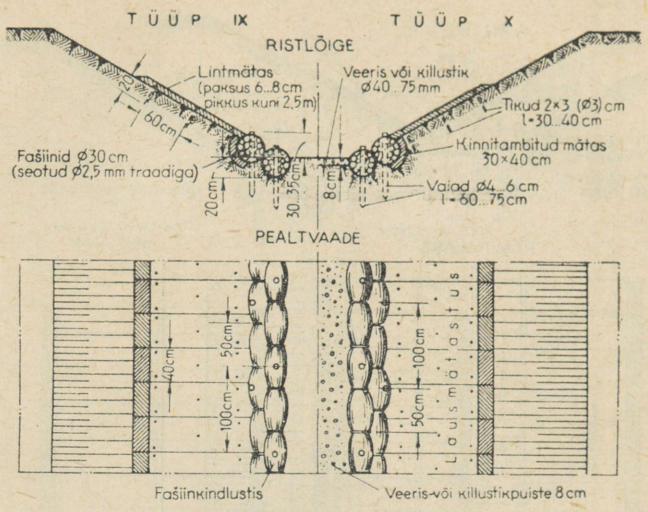


Joonis 13-15. Voolusängi kindlustamine:
V tüüp — nõlvad lausmätastusega ja lattidega; VI tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.



Joonis 13-16. Voolusängi kindlustamine:
VII tüüp — nõlvad lausmätastusega ja fašiiniga; VIII tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.

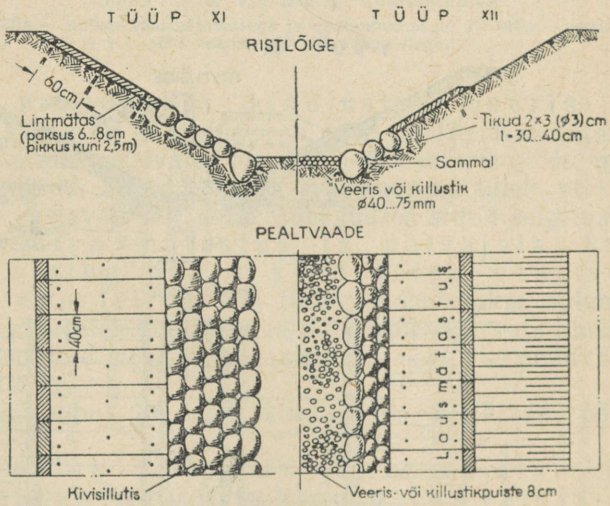




Joonis 13-17. Voolusängi kindlustamine:
IX tüüp — nõlvad lausmätastusega ja kahe fašiiniga; X tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.

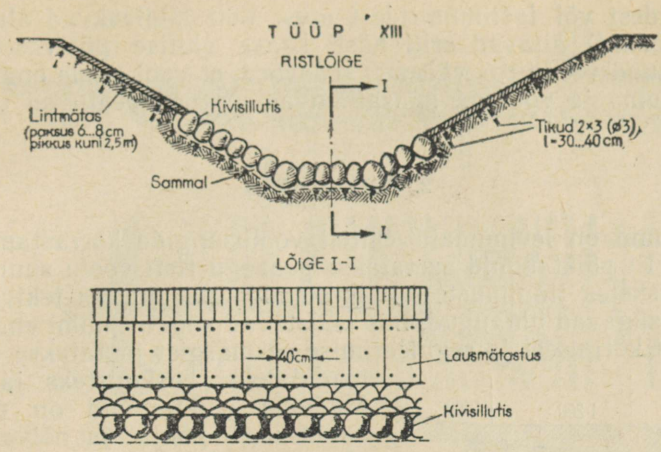
seks ja kindlustamiseks ning nõlva lihke vältimiseks märgades savipinnastes. Käesoleva kindlustistüübi valikul tuleb kaaluda küsimust, kas selle asemel poleks lihtsam kasutada nõlvadrenaaži.

Nõlva kivikindlustise toestamiseks tuleb nõlva jalamile tingimata asetada rida suuremaid kive (vt. joon. 13-18).



Joonis 13-18. Voolusängi kindlustamine:
XI tüüp — nõlvad lausmätastusega ja kivisillutisega; XII tüüp — sama + põhi veeris- või killustikpuistega.

Kraavi nõlva kindlustus mätastuse ja kivisillutisega koos põhja kindlustamisega veerispuiste, kivipuiste või kivisillutisega (XII ja XIII tüüp). Neid kindlustistüüpe kasutatakse voolusängi uhtumise vältimiseks kraavide vastu-



Joonis 13-19. Voolusängi kindlustamine:
XIII tüüp — nõlvad lausmätastusega ja kivisillutisega, põhi kivisillutisega.

tusrikastes osades, eriti suure kalde puhul ning truubi otsakute, sillaaluste, kärendike, astangute, nõlvade jms. kindlustamiseks (vt. joon. 13-18 ja 13-19).

«Vesiliiva» ja pehme savi puhul ehitatakse sillutis kruusast või killustikust aluskihil.

§ 13-4. PÕIK- JA PIKITAMMID

1. TAMMIDE ÜLESANNE

Põik- ja pikitamme kasutatakse ülemäära laiade looduslike voolusängide kitsendamiseks (vt. § 7-6).

Konstruktsiooni ja materjali järgi jagatakse põik- ja pikitammid rasketeks ning kergeteks. Raskete ehitiste materjaliks kasutatakse betoonblokke, gabioone, looduslikke kive, raskeid fašiine ja hagumatte, kuna kergetes ehitistes domineerivad hagupunutised ja harilikud fašiinid. Põik- ja pikitammid on sageli väga mahukad, mistõttu nende ehitamiseks kasutatakse tavaliselt odavaid ja ehituskoha läheduses leiduvaid materjale. Ehitusmaterjalid peavad olema vastupidavad vee uhtuvale ja keemilisele toimele, talvetingimustele ning jääminekule. Enamikul juhtudel rajatakse ehitised vahetult loodusliku voolusängi põhjale. Et viimane allub voolu erodeerivale toimele, siis on põik- ja pikitammide normaalseks tööks vaja, et konstruktsioon oleks:

a) elastne ja üksikud konstruktsioonielemendid küllaldaselt seotud, et ehitis täidaks oma ülesannet ka ehitise aluse võimaliku deformatsiooni puhul;
b) püsiv nihkele;
c) küllaldase vastupidavusega uhtumisele ning jää tegevusele;
d) konstruktsioonilt lihtne.

Konstruktsiooni elastsus saavutatakse sellega, et selle elemente ei seota jäigalt, vaid laotakse üksikute blokkidena selliselt, et aluse uhtumise puhul ehitis vabalt omakaalu tõttu deformeeruks ja täidaks uhtaugud. Siduvus suuremate elementide vahel saavutatakse nende omavahelise hõõrdega, milleks kergemad materjalid kaetakse raskemate kattematerjalidega (kivid, kruus jms.).

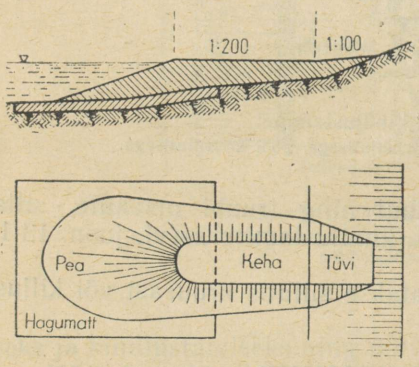
Uhutavate peeneteraliste pinnastega voolusängides tuleb tammide alla

teha fašiinidest või fašiinmattidest alus. Vett läbilaskvad alused (hagukonstruktsioonid) aitavad eriti hästi kaasa ehitise püsivusele. Hagude massi tunginud vee kiirus väheneb sedavõrd, et vool ei ole enam suuteline pinnast uhtuma ja vooluga kaasaliikuvad uhtmed peatuvad tammikehas.

2. PÕIKTAMMID

Põiktammid on levinumaid ehitisi voolusängide korrastamisel (reguleerimisel). Et põiktammid asetatakse peaaegu risti voolu suunaga, töötavad nad rasketes tingimustes. Põiktammide pea juures tekivad tugevad keerised ja sügavad uhtaugud, mis ohustavad sageli tammi enda püsivust.

Sõltuvalt kõrgusest ja reguleerimise eesmärgist jaotatakse põiktammid madalateks, keskmisteks ja kõrgeteks. Madalad põiktammid on ette nähtud voolusängi põhja ja nõlvakindlustiste aluse kaitseks, keskmised nõlvade kaitseks ja voolusängi reguleerimiseks suvise madalvee puhul ning kõrged voolusängi reguleerimiseks keskmise ja kõrge veeseisu puhul.

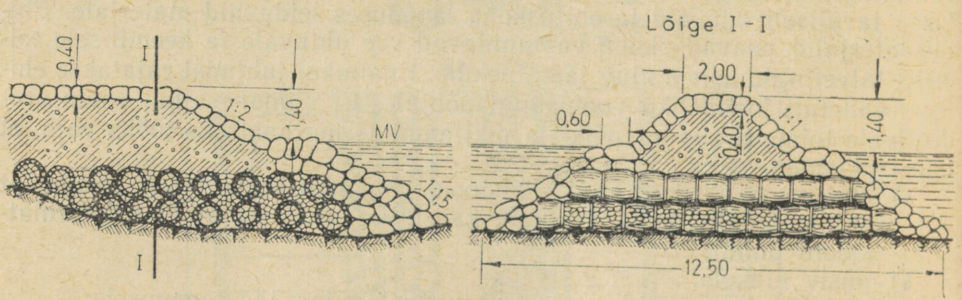


Joonis 13-20. Põiktamm elastsel aluskattel (hagumatil).

Põiktammide ristlõige on tavaliselt trapetsikujuline. Harjale antakse pikikalle 1:100 kuni 1:300, olenevalt tammi pikkusest, tõusuga peast kalda poole. Põiktammi tüvi peab ulatuma 2 . . . 4 m kalda sisse (vt. joon. 13-20). Tammi hari peab olema hästi kindlustatud uhtumise vastu.

Rasket tüüpi põiktammides kasutatakse enamasti fašiine, mis kaetakse kruusa ja kivipuistega. Suurema püsivuse ja parema ühenduse saamiseks voolusängi põhjaga kasutatakse mõnikord ka vaiasid (vt. joon. 13-21).

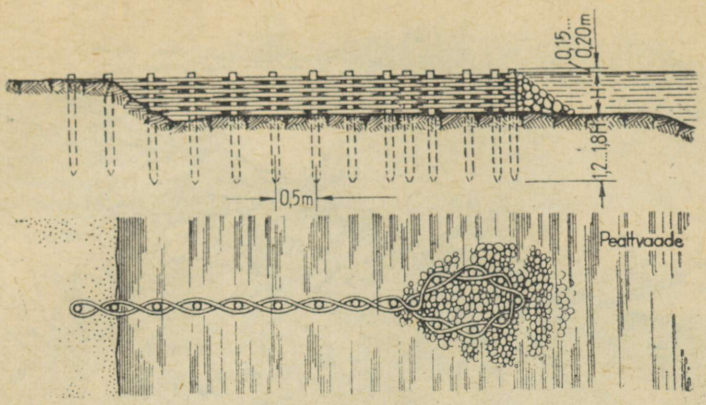
Enamkasutatavad kerget tüüpi põiktammid tehakse hagupunutisest. Väiksema sügavuse ja voolu kiiruse puhul kujutavad nad ühekordset hagu-



Joonis 13-21. Rasket tüüpi põiktammi konstruktsioon.

punutist laiendatud ümara päisega, mis puistatakse kive täis ning millele ka ümber tehakse kivipuiste (vt. joon. 13-22). Ühekordse hagupunutise ümberlükkamise vältimiseks võib asetada üle 3 . . . 6 vaia kaldtoed.

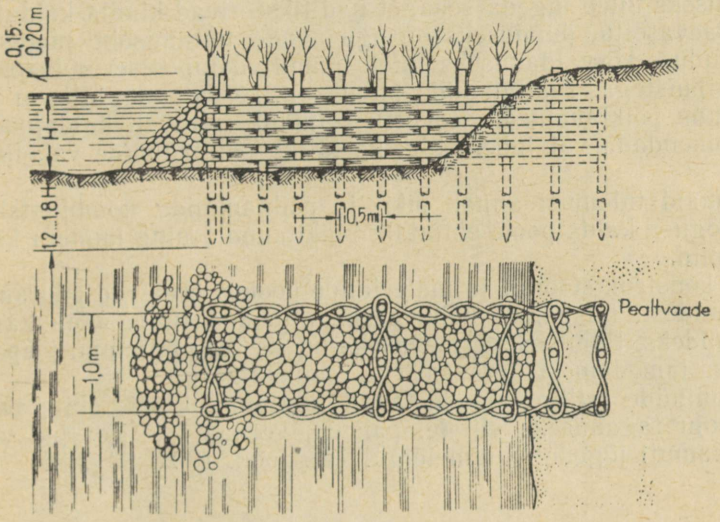
Tugevam konstruktsioon saadakse kahest paralleelselt asetsevast hagupunutisest, mis omavahel ühendatakse ristpunutistega, niiviisi tekki-



Joonis 13-22. Ühekordsest hagupunutisest põiktamm.

nud kärjed aga täidetakse kividega (vt. joon. 13-23) või hagude ja saviga või kruusaga või ainult fašiinidega.

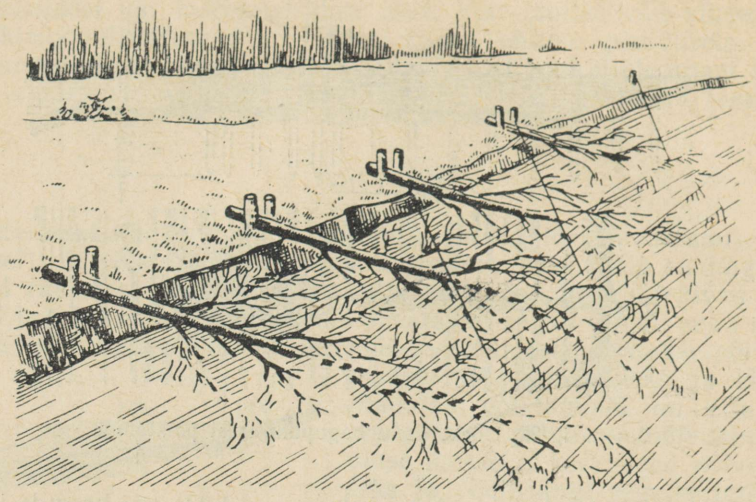
Vaiad rammitakse parvelt või sooja ilma ja madala veeseisu puhul vees seistes. Hagupunutist alustatakse kaldalt, põimides veepinnast ülespoole umbes 10 cm kõrguse riba. Kui selline riba on kuni fašiini peani valmis, surutakse ta hargiga vee alla, tihedalt vastu põhja. Teise riba punumist



Joonis 13-23. Kahekordsest hagupunutisest põiktamm.

alustatakse peast ja liigutakse kalda suunas. Punutises ei tohi esineda suuremaid vahesid kui 1,5 cm, milleks punutist tuleb tihendada käsirammiga. Punutiseks on soovitatav kasutada värskelt raiutud ja hästi juurduvat hagu.

Lihtsaimaks voolu reguleerimise vahendiks on laasimata puud, mis on langetatud vette põiki voolu suunda. Et puud jääksid alatiselt sellisesse asendisse, tuleb tüved kaldal kinnitada vaiade ja traadi abil (vt. joon. 13-24).



Joonis 13-24. Laasimata puutüvedest põiktamm.

3. PIKITAMMID

Pikitammid võivad asuda kas ühel või kahel pool voolusängi. Pikitammide eeliseks tuleb lugeda seda, et nad fikseerivad kindla kaldajoone ja ei ohusta laevasõitu, puuduseks on aga nende uhtumisoht nõgusal kaldal. Selle puuduse kõrvaldamiseks tuleb tammi voolupoolset nõlvaosa kindlustada kivipuistega. Pikitammide puhul on kaldajoone hilisem muutmine raske, kuna põiktammi on seevastu võimalik sõltuvalt kaldajoone kujunemisest pikendada või lühendada; ka täitub põiktammide vaheline ala kiiremini.

Paremaid tulemusi annab piki- ja põiktammide kombinatsioon, kus juures nõgusa kalda poole ehitatakse pikitammid ning kumera kalda poole põiktammid.

Oma konstruktsioonilt ja materjalide poolest erinevad pikitammid vähe põiktammidest, mispärast kõiki eespool toodud tüüpe võib kasutada ka pikitammideks. Põhiliseks erinevuseks on see, et pikitammi jõepoolne nõlv ehitatakse lamedam ja tugevam (vt. joon. 13-25).

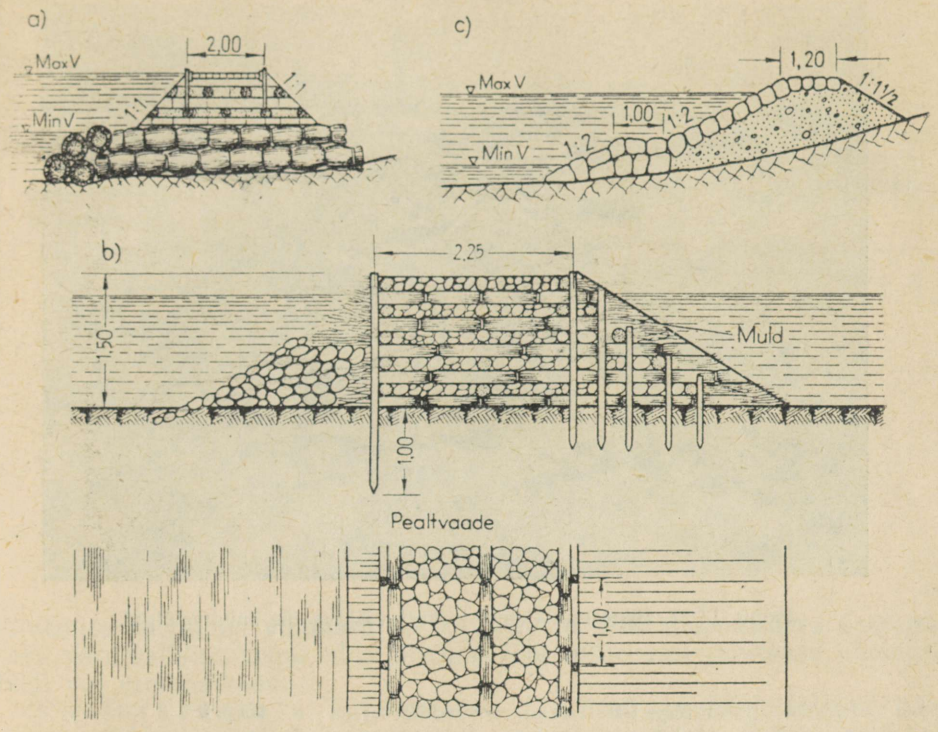
Pikitammide eriliigi moodustavad juhttammid, mis ehitatakse sujuva juurdevoolu tagamiseks sillale, paisule, veehaardele või jõe väljavoolul järvest, samuti jõgede suudmelõigul (vt. joon. 13-26 ja -27).

§ 13-5. ASTANGUD, KÄRENDIKUD, AKVEDUKTID

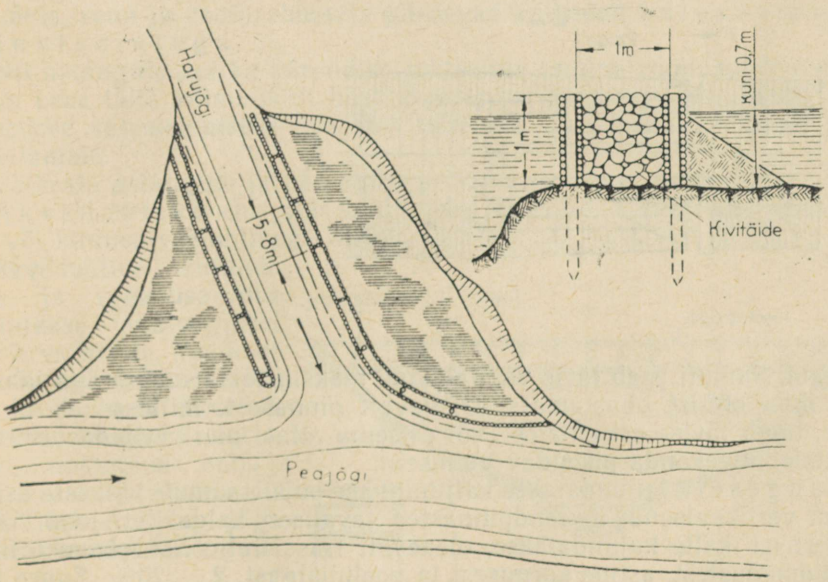
Astangud ja kärendikud (vt. § 5-10) omavad ühesuguseid konstruktiivseid elemente (vt. joon. 13-28 ja 13-29):

a) lävis;
b) langesein (astangul), renn (kärendikul);
c) voolurahustaja (energiakustutaja);
d) suue;
e) kaldasambad ja juhtseinad.

Lävis kujundatakse praktilise kujuga või laiaharjalise ülevooluna. Lävisele valitakse selline laius, et sellesse suubuvas kanalis oleks voolu kiirus madalvee ajal mudastumisest suurem ja suurvee ajal uhtumiskiirusest



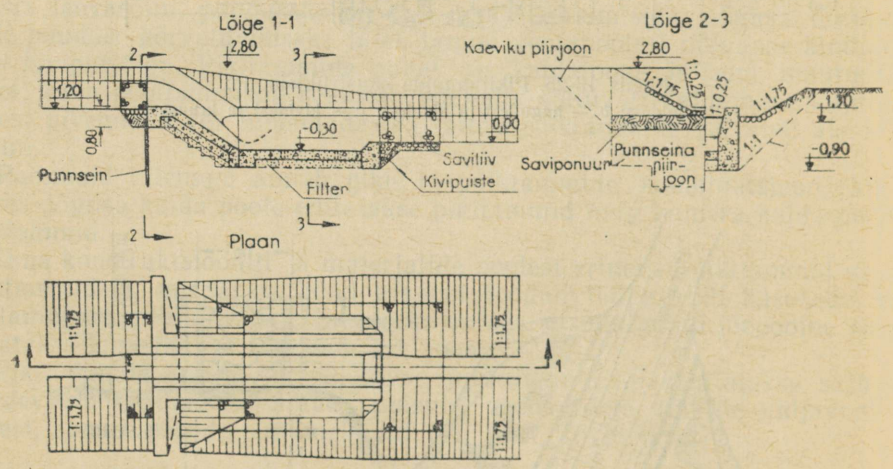
Joonis 13-25. Pikitammide konstruktsioone:
a — fašiinidest; *b* — hagudest ja kividest; *c* — kividest ja kruusast.



Joonis 13-26. Jõe suudmelõigu kindlustamine hagupunutisest juhttammidega.



Joonis 13-27. Pikitamm Peipsi järvest väljuva jõe suudmelõigul.

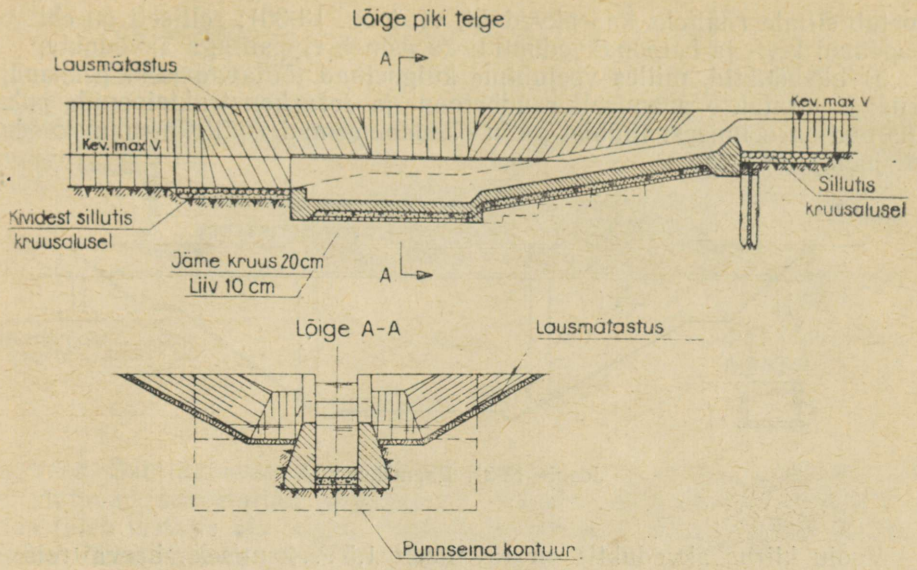


Joonis 13-28. Astang.

väiksem. Samuti peab lävis võimaldama maksimaalse vooluhulga läbilaskmist ilma ehitist ohustamata. Olenevalt pinnasest, millesse ehitis rajatakse, tuleb lävise esiseinaga (või esiseina alla) luua vettpidav rinne või filtratsiooniteekonda pikendav punnsein.

L a n g e s e i n kujundatakse kaljupinnase puhul, samuti väikeste astmete juures vertikaalsena, murendpinnastes tavaliselt kaldu (vt. joon. 13-28).

R e n n i kalle kujundatakse, olenevalt trassi reljeefist, pinnase filtratsiooniomadustest, astme kõrgusest ja vooluhulgast, 2...20%. Suure kalde puhul ehitatakse renn kunstliku karedusega. Väikesed rennid on tavaliselt vertikaalsete või vähe (kuni 15°) väljapoole kallutatud külgseintega. Jää



Joonis 13-29. Kärendik.

esinemise korral on viimased eelistatavamad. Filtratsioonisurve kaotamiseks varustatakse renni alus filtriga, läbi mille vesi juhitakse alumisse biefi või veelöögikaevu.

Voolurahustaja kujundatakse tavaliselt veelöögikaevuna, harvem veelöögiseinana ning ta kujutab endast tugiseinte vahele asetatud plaati. Filtratsioonisurve kõrvaldamiseks asetatakse veelöögikaevu plaadi alla filter ja vesi juhitakse plaadi peale. Veelöögikaev ehk veelöögisein kujundatakse vastavalt hüdraulilistele arvutustele (vt. § 5-9, p. 3).

Suue erilist kujundamist ei vaja. Kui suudmest väljuval veel on lubatavast suurem kiirus, tuleb kanal suudme piirkonnas kindlustada.

Lävis, renn ja voolurahustaja piirnevad külgedelt kaldasammaste ja juhtseintega.

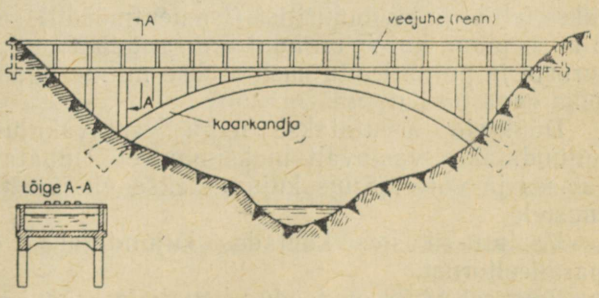
Nii astangute kui ka kärendike juhtseinte tagune ruum tuleb veelöögikaevu osas täita võimalikult hästi filtreeruva pinnasega (kruusaga). Pinnasesurve vähendamiseks jäetakse täitepind tugiseina ülemisest äärest madalamale.

Väikeste astangute ja kärendike puhul ehitatakse ainult juhtseinad.

Akveduktiks ehk sildveejuhtmeks nimetatakse üle oru ehitatud lahtise või kinnise veejuhtmega silda.

Akveduktide kujundamine ja tugevusarvutus teostatakse analoogiliselt silla arvutustele, kus koormusteks on tegelikult mõjuvad koormused. Akveduktid kujundatakse kivi-, betoon-, raudbetoon-, puit- ja isegi teraskonstruktsioonis. Silla tööskeemi järgi jagatakse akveduktid kahte tüüpi:

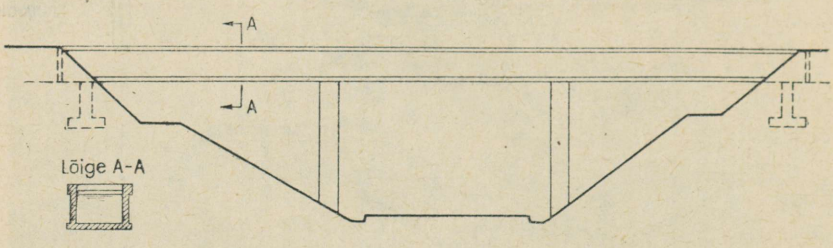
a) akveduktid, milles lahtine või kinnine veejuhe



Joonis 13-30. Kaarakvedukt.

toetub sillale (näiteks kaarakvedukt, vt. joon. 13-30); selliselt on ehitatud vanemad kivi- ja betoonakveduktid; ka esineb rippsillaga akvedukte;

b) akveduktid, milles veejuhtme külgseinad töötavad silla peakandjatena; kasutatakse peamiselt raudbetoon- ja teraskonstruktsioonide puhul, kus nad on eelmisest tüübist palju ökonoomsemad (näiteks raamakvedukt vt. joon. 13-31).



Joonis 13-31. Raamakvedukt.

Voolu kiirus akveduktis on tavaliselt 1,5 ... 2 m/sek., harva rohkem. Hüdroelektrijaama derivatsioonikanalites, kus püütakse langust võimalikult säästa, on kiirus väiksem.

Akvedukt ühendatakse kallastega lävise ja suudme kaudu. Akvedukti sektsioonide vuugid tihendatakse gudrooniga, metall- või kummitihenditega.

Üle kanalite ja jõgede ehitatavad akveduktid varustatakse veetaseme reguleerimiseks sageli akenülevooludega, mille kaudu liigvesi juhitakse akveduktist õhukeste jugadena kanalisse või jõkke. Akenülevoolud on šandooridega reguleeritavad.

§ 13-6. DÜÜKRID, SURVETORUD, SIFOONID

1. DÜÜKRID

Düükriga juhitakse ühe veejuhtme (kanali, kraavi, drenaažikollektori) vesi teise veejuhtme (kanali, jõe) või tee alt läbi.

Düükrite põhielemendid on lävis, survetoru ja suue.

Kuju järgi jagatakse düükrid šahtdüükriteks (vertikaalse lävise ja suudmega) ja kõverjoonelisteks düükriteks.

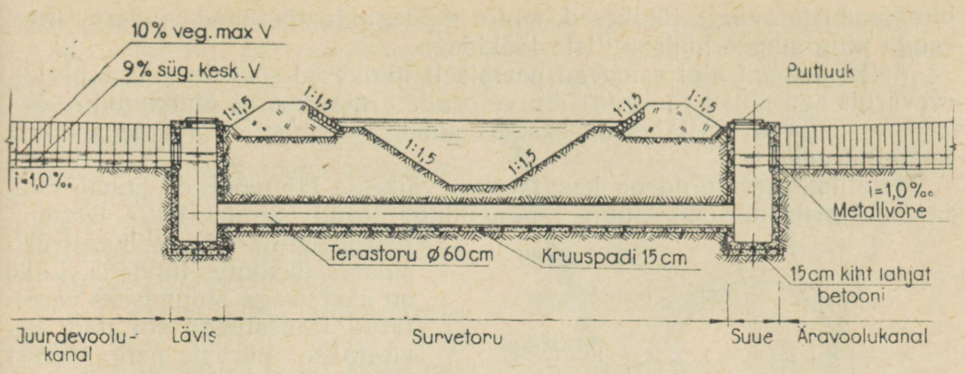
Esimesi kasutatakse väikese ehitussügavuse (3 ... 5 m) ja teisi suure ehitussügavuse puhul või erilistes ehitustingimustes.

Düükrite ehitusmaterjal valitakse vastavalt ehitise töörežiimile, ehitustööde teostamise tingimustele ja materjalide kättesaadavusele. Kasutatakse tellis- ja kivimüüritist (tsementmördil) survekõrguse (H) puhul kuni 3 m, betooni, kui H on kuni 5 m, raudbetooni, kui H on kuni 60 m, terastorusid ja puitu. Puitu kasutatakse mitmesuguse survekõrguse korral, eriti pika eaga on puitdüükrid suure survekõrguse puhul.

Düükreid arvutatakse nagu vastavakujulisi survetorusidki. Lävis kujundatakse vastavalt maksimaalsele lubatavale kiirusele ehitise ees, lävises ja võres. Suue kujundatakse vastavalt biefide ühendamise tingimustele.

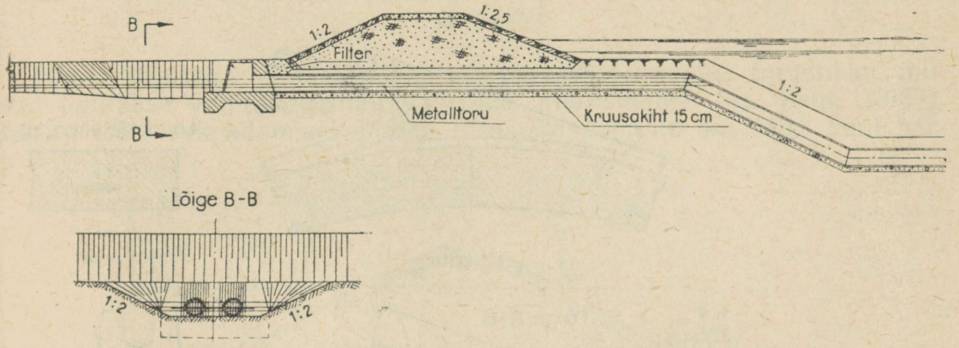
Vastutusrikastes kohtades kujundatakse düükrid vähemalt kahest paralleeltorust.

Joonisel 13-32 on toodud kanali ja kraavi ristumiskohta ehitatav šahtdüüker. Seal peab düüker läbi laskma nii keskmised kui ka harva esinevad



Joonis 13-32. Šahtdüüker.

suurveed. Šahtlävisesse ja suudmesse pääseb sisse puitluugi kaudu. Šahtid ulatuvad survetorust sügavamale, moodustades niiviisi settekaevud, mida tuleb teatava aja tagant puhastada. Ujuvate esemete düükrisse pääsemise tõkestamiseks on lävises metallvõre.



Joonis 13-33. Kõverjooneline düüker.

Joonisel 13-33 on toodud kõverjooneline düüker, mis juhib kanali vee jõe alt läbi. Düüker töötab keskmise ja väikese vee ajal ühe toruga, harva esineva suurvee ajal aga kahe toruga. Settimise vältimiseks düükris on lävise ette kujundatud kanali laiendus ja väike madal settebassein. Suurvee ajal tuleb aeg-ajalt düükril lasta töötada ühe toruga. Sel juhul suureneb vee langus düükri juures ning sellest sõltuvalt ka voolu kiirus düükris, mis uhub torru settinud peenmaterjali sealt välja. Ujuvate esemete torru pääsemise tõkestamiseks on lävises metallvõre. Kumbki on suletav šandooridega. (Drenaažidüükreid on kirjeldatud § 13-9.)

2. SURVETORUD

Hüdrotehnilistes ehitistes kasutatakse metallist, puidust ja raudbetoonist survetorusid.

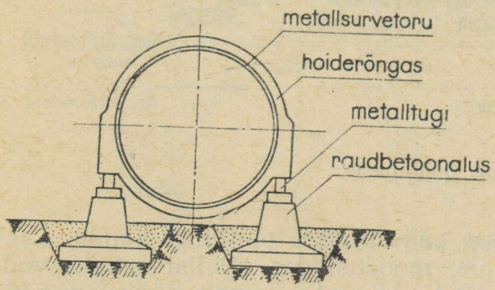
Metall- ja puittorud asetatakse tavaliselt tugedele, raudbetoontorud aga pinnasesse ilma eriliste tugedeta.

Otstarbe järgi jaotatakse survetorud: a) energeetilisteks (derivatsiooni-); b) melioratsiooni-(irrigatsiooni-) ja c) veevärgi-survetorudeks. Neist on energeetilised survetorud (hüdroelektrijaamade veehaarde ja tur-

biinikambrite vahel) lühikesed, suure kaldega ja töötavad väikese survekaoga ning suurte hüdrauliliste löökidega.

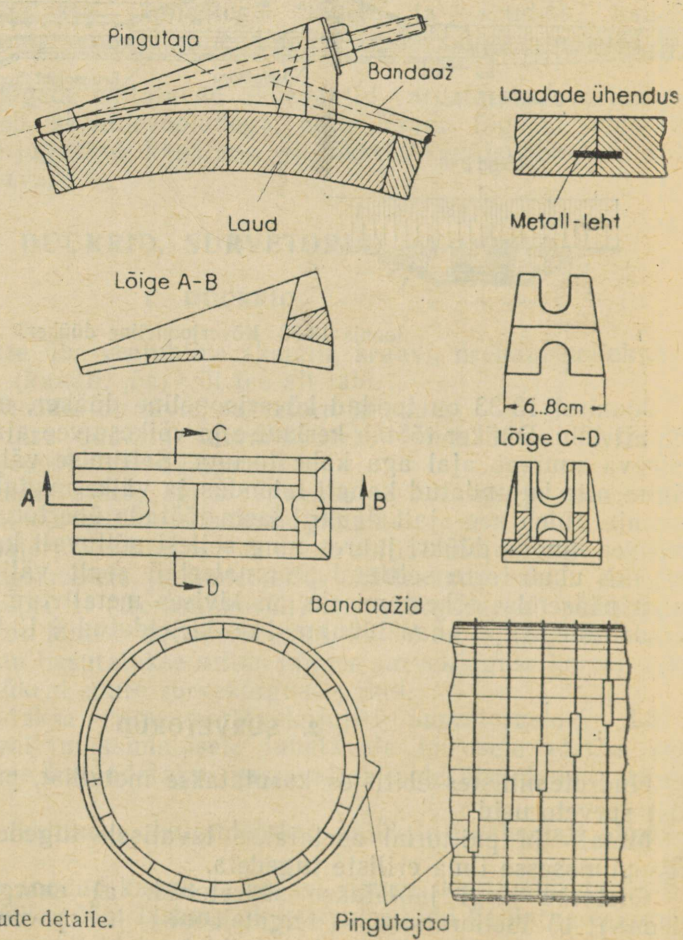
Melioratsiooni alal esinevad peamiselt lühikesed survetorud (düükrid), veevärgis aga pikad (võrgud). Survetorude armatuur: a) õhuklapid — õhu torusse ja torust väljalaskmiseks; b) siiber või sulg; c) kompensaatorid (metalltorudel).

Metallist survetorudena kasutatakse väikeste läbimõõtude puhul standardseid metalltorusid. Suure läbimõõduga torud valmistatakse lehterasest keevitus- või neetkonstruktsioonis üksikute lülidena. Lülid on üksteisega sidumiseks varustatud flanssidega või nad keevitatakse pärast paigaldamist kokku kohapeal. Metalltorude toed (v. a. ankurtoed) peavad võimaldama torul telje suunas nihkuda. Toed on asetatud betoonist või raudbetoonist alusele (vt. joon. 13-34).



Joonis 13-34. Metallsurvetoru raudbetoonalusel.

Puittorud ehitatakse laudadest. Sisesurve võtavad vastu

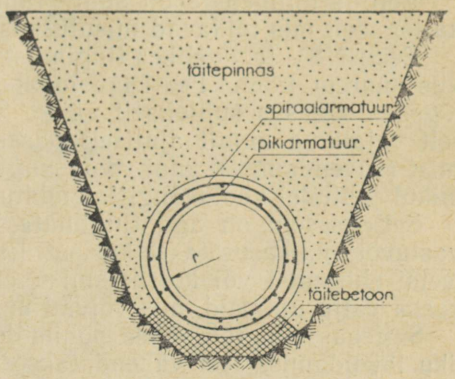


Joonis 13-35. Puittorude detaile.

ümber toru asetatud raudbandaažid. Puittoru asetatakse alati maapinnast kõrgemale betoon- või raudbetoontugedele, IV klassi ehitistes võib kasutada tugedeks ka müüritist. Tugede asetus peab võimaldama bandaažide kinnitamist (vt. joon. 13-35).

Raudbetoonist survetorusid valmistatakse kas muhvidega või kohapeal betooneeritavatena. Kohapeal valmistatavatele torudele betooneeritakse muhvid pärast 40 päeva möödumist torude betoneerimisest.

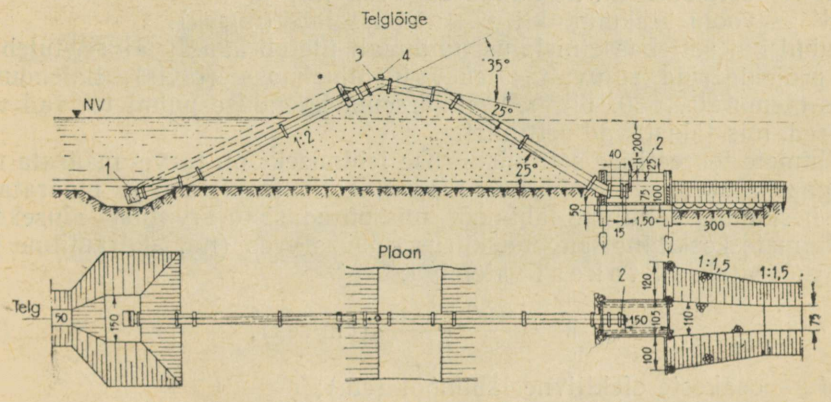
Torud varustatakse spiraalarmatuuriga, kus spiraali samm $s = 1{,}5$ toru seina paksusest, kuid mitte rohkem kui 17 cm. Jaotusarmatuur (piki toru telge) asetatakse spiraalarmatuuri vahele keskmiselt 15 cm pikkuse sammuga ning selle läbimõõduks võetakse umbes 0,6 spiraalarmatuuri läbimõõdust (vt. joon. 13-36).



Joonis 13-36. Raudbetoonsurvetoru täitebetoonalusel.

3. SIFOONID

Sifoon kujutab endast vertikaaltasapinnas kõverdatud torustikku, millega juhitakse vett kõrgemalt tasemelt madalamale (vt. joon. 13-37). Sifooni tööle rakendamiseks tuleb torustiku ülemine osa täita kuni har-



Joonis 13-37. Metallsifoon:
1 — veehaarde sulg; *2* — sifooni sulg; *3* — õhu ventiil; *4* — sifooni täiteava (õhukindla klapiga).

jani veega. Kui seejärel avatakse veehaarde ja suudme sulud, hakkab sifoon tööle. Sifoon lakkab töötamast niipea, kui harjaklapist lasta õhk torustikku.

Kõrgete paisude juures kasutatakse sifoonveelaske, mis haaravad vett ülemisest biefist (paisu eest) ja juhivad vee toru kaudu alumisse biefi.

Sifooni arvutatakse nagu vastavakujulist survetoru ja ühendatakse alumise biefiga vastavalt biefide ühendamise nõuetele.

§ 13-7. SETTEBASSEINID

Võitlus uhtmetega on suure tähtsusega niisutussüsteemidel ja samuti ka jõgedel, mis toidavad niisutussüsteeme.

Eesti NSV looduslikes tingimustes on vooluvee erodeeriv (uhtuv) tegevus suurem Lõuna-Eesti erosiooniohtlikes pinnastes. Üldiselt on Eesti jõgedes sogasus suhteliselt väike. Seetõttu on meil settebasseinid tavaliselt vajalikud ainult ajutiselt pärast veejuhtme kaevamist või reguleerimist (süvendamist), kuni voolusängi stabiliseerumiseni. Selleks piisab enamikul juhtudel voolusängi laiendatud ja süvendatud lõigust.

Settebassein on aga tingimata vajalik kuivendussüsteemis, kus veevastuvõtjana kasutatakse kurisut. Esimese suurveega pärast kuivendussüsteemi ehitamist või korrastamist, eriti kraavituse puhul, liigub vooluga kaasa palju uhtmeid, mis võivad ummistada kurisu neeluava.

Settebasseini töötamise põhimõte seisneb selles, et voolusängi kunstliku laiendamise teel vähendatakse selles voolu kiirust, mille tõttu veega kaasaliikuvad uhtmed setivad.

Settebasseini projekteerimisel vajatakse andmeid vooluhulga, uhtmete hulga ja nende mehaanilise koostise ning settimiskiiruse kohta, mille järgi määratakse settematerjali hulk ja selle kõrvaldamise vajadus.

Settebasseini ligikaudne laius (B) määratakse valemiga:

$$B = \frac{Q}{HV}\ (\text{m}), \tag{13-7}$$

kus Q — vooluhulk (m^3/sek);
H — settebasseini keskmine sügavus (m) ja
V — voolu keskmine kiirus settebasseinis (m/sek).

Juhul kui settebasseini laius tunduvalt ületab kanali laiuse, tuleb selle ette projekteerida sujuvalt laienev üleminekuosa (lävis). Laiendusnurk peaks olema 20 ... 30° piires, sest järsema laienduse puhul tekivad voolukeerised, mis takistavad settimist.

Uhtmete teoreetilise settimiskiiruse leidmiseks on tarvis määrata nende agregaatne koostis, kindlaks teha domineeriv fraktsioon ja määrata uhtmete keskmine efektiivne läbimõõt, mis on edasiste arvutuste aluseks.

Uhtmete keskmine langemiskiirus seisvas vees (nn. hüdrauliline jämedus) määratakse Stokes'i valemiga:

$$W = \frac{54d^2(\gamma - 1)}{\nu}\ (\text{cm/sek}), \tag{13-8}$$

kus d — osakeste efektiivne läbimõõt (cm);
γ — osakeste erikaal (g/cm^3) ja
ν — vee viskoossus ehk sitkuskoefitsient ($\nu \approx 0{,}01$).

Valemiga saadakse settimiskiirus seisvas vees; voolavas vees on see 1,2 ... 1,5 korda väiksem.

Voolu kiiruse vertikaalkomponent:

$$u = 0{,}2V, \tag{13-9}$$

kus V on voolu keskmine kiirus.

Et voolu kiirus settebasseinides on tavaliselt üsna väike (ca 0,05 m/sek), võib arvestada, et settimiskiirus on seal ligikaudu võrdne settimisega seisvas vees, mistõttu võib kasutada Stokes'i valemit.

Uhtmete settimiseks on nõutav, et

$$u \leqslant W, \tag{13-10}$$

kusjuures settebasseini arvutamisel võetakse arvesse ainult fraktsioonid läbimõõduga 0,05...0,1 mm.

Settebasseini pikkus määratakse tingimusest, et kõik uhtmed, mille osakeste läbimõõt on suurem valitud fraktsiooni läbimõõdust d, jõuaksid basseini põhja settida. Selleks on vaja täita tingimused:

$$\frac{L}{V} \geqslant t \text{ (horisontaalsuunas) ja}$$

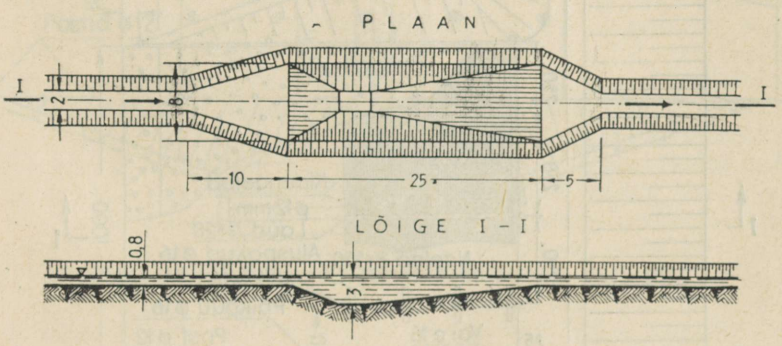
$$\frac{H}{W} \geqslant t \text{ (vertikaalsuunas),}$$

kus t — aeg, mille jooksul fraktsioonid setivad (sek);
L — settebasseini pikkus (m);
V — voolu keskmine kiirus settebasseinis (m/sek);
H — vee keskmine sügavus settebasseinis (m) ja
W — uhtmete keskmine langemiskiirus (m/sek).

Et settimisaeg (t) mõlemal juhul peab olema võrdne, siis

$$L = \frac{VH}{W} \text{ (m).} \qquad (13\text{-}11)$$

Ülaltoodud tingimustest nähtub, et settebasseini mõõtmed (ka jämedamate fraktsioonide jaoks) kujunevad suurteks. Ehitise pikkuse vähendamiseks võetakse valemis tavaliselt settimissügavuseks mitte H, vaid voolu keskmine sügavus veejuhtmes (vt. joon. 13-38).



Joonis 13-38. Settebassein peakraavil.

§ 13-8. JOOTMISKOHAD JA TULETÕRJE VEEVÕTUKOHAD

1. JOOTMISKOHAD

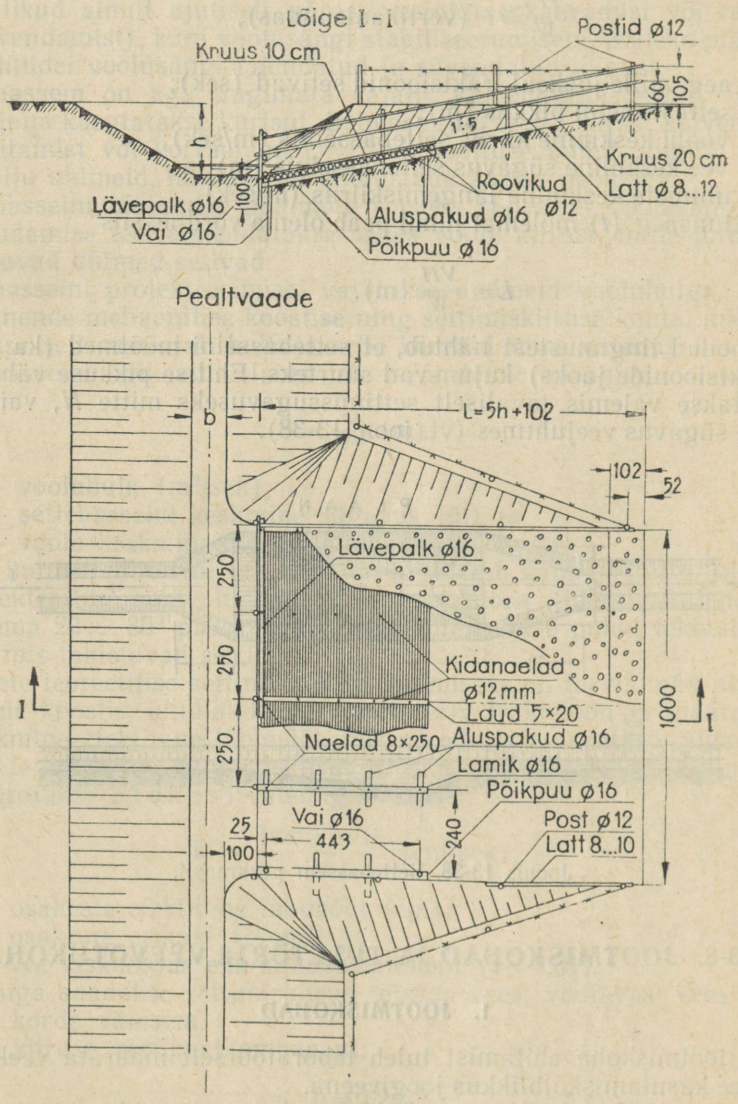
Enne jootmiskoha ehitamist tuleb laboratoorselt määrata veekogu või kraavi vee kasutamiskõlblikkus joogiveena.

Arvestades ühe karilooma ööpäevaseks veetarviduseks karjamaal 50...70 l, vajab 100-pealine kari 5...7 m³ vett päevas. Kui ehitada kraavile allapoole jootmiskohta vee kogumiseks ja veeseisu tõstmiseks 0,3 kuni 0,5 m kõrgune ajutine pais, võib jootmiskoha sajapealisele karjale rajada juba kraavidele, mille vooluhulk ei lange suvel alla 0,2 l/sek.

Siinkohal esitatakse mõned sobivad jootmiskoha tüübid, mille kaldpõhja alumine 5 m pikkune osa on ette nähtud kindlustada ühes variandis roovik-(palk-) kattega. Need jootmiskohad on projekteeritud sajapealise

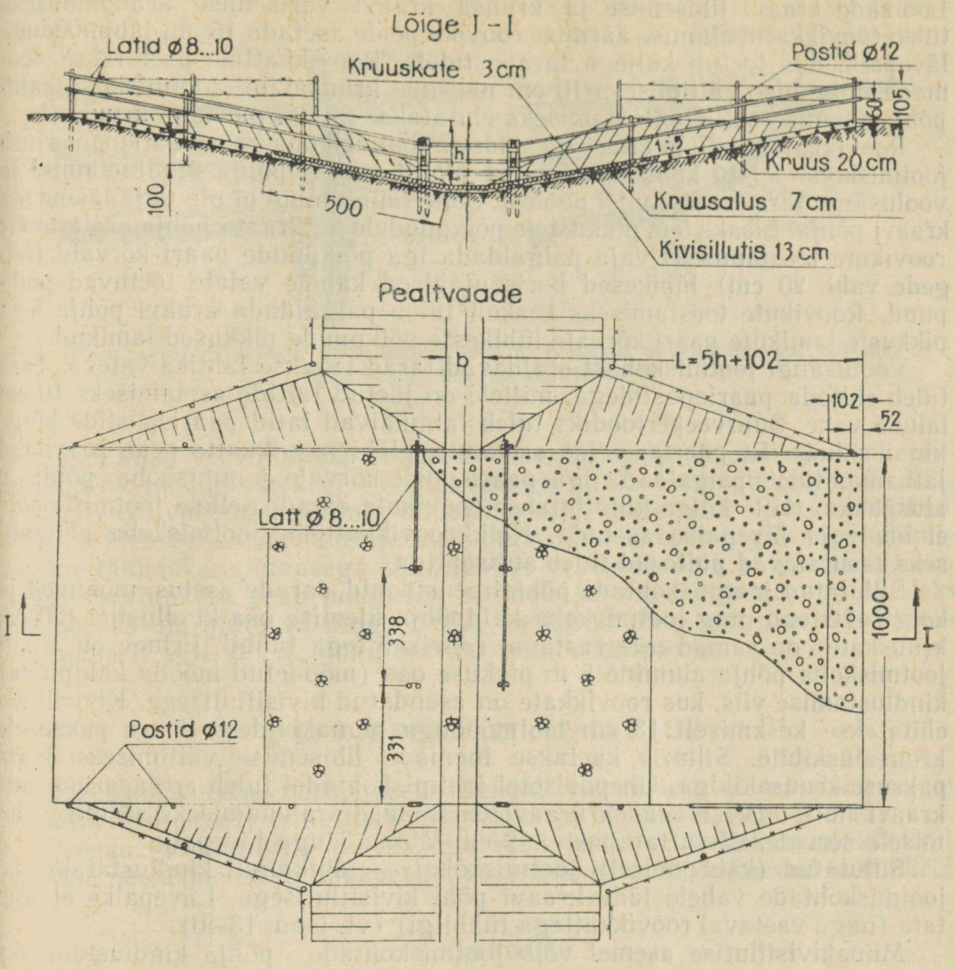
karja jaoks. Jootmiskoha laiuseks on võetud 10 m, kui loomad pääsevad koplist vabalt jootmiskohale, ja 25 m, kui kogu kari aetakse korraga jooma.

Et nimetatud jootmiskohtade konstruktiivne lahendus on enam-vähem ühesugune, erinevus ainult materjalides, on toodud joonised roovikkattega ühepoolse jootmiskoha RJ-10 (vt. joon. 13-39) ja sillutatud jootmiskoha-läbikäigu kohta (vt. joon. 13-40).



Joonis 13-39. Roovikkattega ühepoolne jootmiskoht (RJ-10).

10 m laiune läbikäigu võimalusega kahepoolne jootmiskoht koosneb kahest (mõlemal pool kraavi) kohastikku asetsevast ühepoolsest jootmiskohast, kusjuures nende vahele jääv kraavi põhi kindlustatakse, mis võimaldab loomi teisele poole kraavi ajada või ka kraavist läbi sõita.



Joonis 13-40. Sillutatud jootmiskoht-läbikäik (SJL-10).

Jootmiskohtade süvendid on ette nähtud kaevata ekskavaatoriga ja mullavallid laiali ajada buldooseriga. Et ühepoolsete jootmiskohtade puhul kraavi voolusängi vähem kitsendada, on vaja kraavi põhja laiendada 1,0 m võrra jootmiskohapoolsest äärest. Jootmiskoha põhja kindlustise ehitamiseks tuleb süvend kaevata projekteeritud põhjast 20 cm võrra sügavam.

Pärast süvendi põhja ja nõlvade käsitsi planeerimist tuleb roovikkattega jootmiskohtadel välja märkida vaiade, põikpuude, lamikute (kandetalade) ja aluspakkude asukohad ning kaevata kaevikud nende paigaldamiseks. 10 m laiuse roovikkattega jootmiskoha kaldpõhja alumise osa kindlustise tugielementideks on süvendi äärtele ja keskele paigaldatavad 16 cm läbimõõduga põikpuud, mis toetuvad igaüks kahele 1,5 m sügavuselt sisserammitud 16 cm läbimõõduga vaiale. Roovikute toestamiseks keskelt tuleb asetada põikpuude vahele 16 cm läbimõõduga lamikud ja surve vähendamiseks pinnasele nende alla 4 aluspakku.

Valmis alusele paigaldatakse 5 m pikkustest 12 cm läbimõõduga roovikutest kate, mida jätkatakse keskmise põikpuu kohal. Roovikute otsad kinnitatakse iga põikpuu külge 5 m pikkuse 5×20 cm ristlõikega laua abil.

Jootmiskoht piiratakse külgedelt ja kraavi poolt kaherealise latt-taraga.

Loomade kraavi libisemise ja kruusa kraavi varisemise ärahoidmiseks tuleb roovikkatte alumise äärmise rooviku peale asetada 16 cm läbimõõduga lävepalk, mis toetub küljega tarapostidele. Roovikkattele asetatakse loomade libisemise vältimiseks 10 cm paksune kruusakiht. Jootmiskoha kaldpõhja ülemise osa kindlustamiseks ehitatakse 20 cm paksune kruuskate.

Roovikkattega 10 m laiuse ülesõiduga jootmiskoha konstruktsioon erineb jootmiskoha RJ-10 konstruktsioonist ainult kraavi põhja kindlustamise ja voolusängi tarastamise viisi poolest. Selle tüübi puhul ei ole vaja laiendada kraavi põhja. Lisaks 5 m pikkustele põikpuudele on kraavi põhja asetatavate roovikute toestamiseks vaja paigaldada iga põikpuude paari kõrvale (telgede vahe 20 cm) lühikesed horisontaalsed kahele vaiale toetuvad põikpuud. Roovikute toestamiseks keskelt tuleb paigaldada kraavi põhja 5 m pikkuste lamikute paari kõrvale lühikeste põikpuude pikkused lamikud.

Voolusängi jootmiskohast eraldavad tarad tehakse lahtikäivatena. Tara tuleb ehitada paarispostidega, millele on jäetud lattide asetamiseks 10 cm laiune vahe. Suurveeperioodiks tuleb lahtikäivad latid paarispostide külge kinni siduda. Et paarispostide asetamisel läbi roovikkatte peab roovikuid jätkama, tuleb paigaldada iga paarisposti kõrvale jootmiskoha põhja 2 aluspakku, mille külge kinnitatakse roovikute otsad. Sellele jootmiskohale ei ole vaja lävepalke asetada. Kõik roovikkattega jootmiskoha ehitamiseks kasutatavad puitosad tuleb antiseptida.

Sillutatud jootmiskohtade põhidimensioonid, tarade asetus, mõõtmed ja konstruktsioon ning jootmiskoha kaldpõhja ülemise osa kindlustus (20 cm kruuskate) on samad mis vastaval roovikkattega tüübil. Erinev on ainult jootmiskoha põhja alumine 5 m pikkuse osa (mõõdetud mööda kaldpinda) kindlustamise viis, kus roovikkate on asendatud kivisillutisega. Kivisillutis ehitatakse keskmiselt 13 cm läbimõõduga munakividest 7 cm paksusele kruusaluskihile. Sillutis kaetakse loomade libisemise vältimiseks 3 cm paksuse kruusakihiga. Ühepoolsetel jootmiskohtadel tuleb asetada loomade kraavi libisemise ja kruusa kraavi varisemise ärahoidmiseks sillutise alumisele servale, vastu taraposte, 12 cm läbimõõduga lävepalk.

Sillutatud (kahepoolsel) jootmiskohal — läbikäigul kindlustatakse ka jootmiskohtade vahele jääv kraavi põhi kivisillutisega. Lävepalke ei asetata (nagu vastaval roovikkattega tüübilgi) (vt. joon. 13-40).

Munakivisillutise asemel võib jootmiskohtade põhja kindlustamiseks kasutada ka pakelaaži (serviti asetatud paekive) või kivikillustikku veejuhtmete süvendamisel lõhatud paest või varemete lammutamisel saadud kividest. Killustikukihi paksuseks tuleb võtta 20 ... 30 cm, see buldooseriga planeerida, tihendada ja katta umbes 10 cm paksuse kruusakihiga.

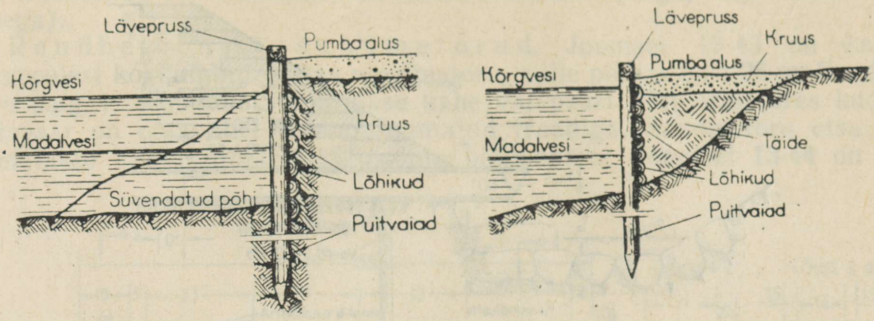
Kui sillutuskive on võimalik saada ja maapind ei ole liiga väikese kandevõimega (turvas, nn. vesiliiv, plastiline savi), tuleb igal juhul eelistada sillutatud jootmiskohti nende väiksema ehitusmaksumuse, pikema kasutuse, lihtsama ehitusviisi ja ehitustööde parema mehhaniseerimisvõimaluse tõttu.

Jootmiskohtade laiust võib vastavalt karja suurusele vähendada või suurendada.

2. TULETÕRJE VEEVÕTUKOHAD

Tulekahjude puhul takistab sageli tuletõrje edukat tegevust veepuudus. Eriti halvasti on sageli lahendatud tuletõrje veevarustus põllumajandushoonete juures. Kohtades, kus tarbevett saadakse kaevudest, on tule vastu võitlemine seotud suurte raskustega, sest harilikult on veehulk kaevudes väike ja veepind tihti sügaval (üle 6 meetri).

Soodne on tuletõrje veevõtukohti rajada looduslike veekogude ja peakraavide äärde. Selleks tuleb kohandada veekogusid ja rajada juurdepää-



Joonis 13-41. Tuletõrje veevõtukoha skeem (vasakul süvendamisega, paremal täitmisega ehitatud veevõtukoht).

suteed. Lihtsa veevõtukoha skeemid veekogu kalda süvendamise või täitmisega on toodud joonisel 13-41. Veekogu kaldale veevõtukohale lüüakse 4 meetri või vähemalt sõiduki laiuselt postid, mille taha laotakse lõhikud. Postide ülemised otsad ühendatakse omavahel läveprussiga ning lõhikute tagune täidetakse pinnasega. Juurdepääs veevõtukohale sillutatakse kruusaga. Veevõtukoht peab paiknema selliselt, et vee kõrgseisu ajal ei oleks juurdepääs üle ujutatud ning et seal ka madalaima veeseisu puhul oleks küllaldaselt vett, nii et sinna ulatuks pumba imivoolik.

§ 13-9. DRENAAŽI ARMATUUR

Drenaažisüsteemi normaalseks funktsioneerimiseks on vajalik vastav armatuur (drenaaži armatuuri vajadusest ja ülesannetest vt. § 6-12).

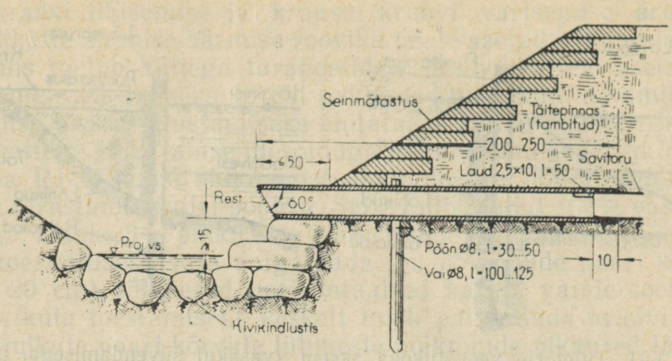
Drenaaži armatuuri koosseisu kuuluvad: suudmed, settekaevud, kontrollkaevud, neelukaevud ja imbkaevud, astangkaevud, allikakaevud ja düükrid.

1. SUUDMED

Suue on drenaažisüsteemi ja üksikdreeni ainsaks nähtavaks ja seetõttu välismõjudele alluvaks osaks. Seepärast peab ta olema küllalt vastupidav väliskeskkonna mehaaniliste ja meteoroloogiliste tegurite kahjustavale mõjule. Suudmest väljuv veejuga ei tohi tekitada rikkeid lahtises veejuhtmes. Et takistada väikeste loomade (konnade, vesirottide, hiirte jt.) sissepääsu suudmesse, varustatakse see vastava tõkkeseadmega (rest või klapp).

Savitorudrenaaži suudmetorud. Tavaliselt ehitatakse need puidust või betoonist suudmetoruna, mis on kindlalt kohale kinnitatud ning mille pikkus on enamasti 2,0 m (soovitatav 2,0...2,5 m). Suudmetoru tuleb juhtida kraavi 60...90°-se nurga all pärivoolu.

Puidust suudmetorud. Suudmetorud ehitatakse antiseptitud puidust kas $1\frac{1}{2}$...2″ paksustest laudadest või paksemaseinalistest freestorupooltest (vt. joon. 13-42). Suudmetoru tuleb paigaldada nii, et selle põhi (toru sisepinnal) oleks kas kollektori viimase toru põhjaga ühel tasemel või vähe allpool ning kalle ei oleks väiksem kollektori kaldest. Kollektori ots peab suudmetorusse ulatuma 8...10 cm pikkuselt ning selle edasinihkumise vältimiseks peab suudmetorul olema vastav sisselõige (õnar) või, veel parem, asetada suudmetoru kaanelaua alla risti torule ca 50 cm pikkune lauatükk, mis ühtlasi takistab ka suudmetoru tagumise otsa äravajumist ja paigaltnihkumist. Kollektori ühenduskoht suudmeto-



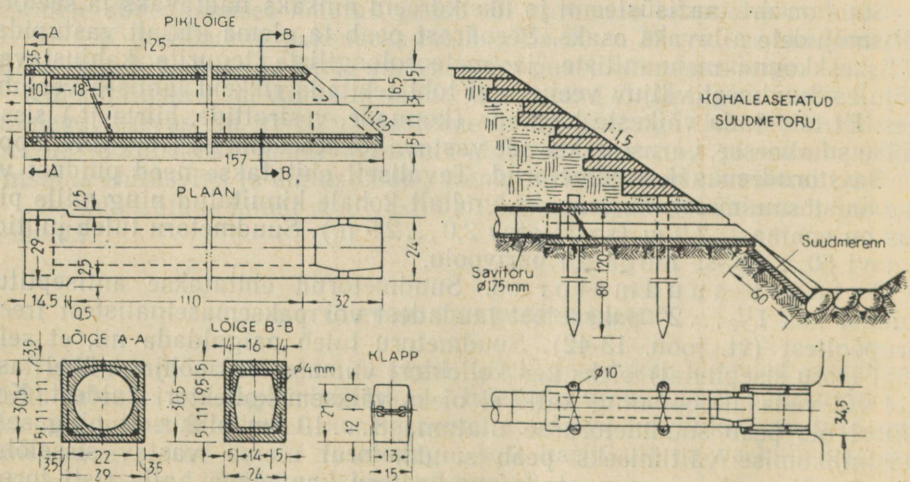
Joonis 13-42. Puidust suudmetoru savitorukollektorile (mineraalpinnases).

ruga tuleb hästi tihendada tõrvast ja lubjast valmistatud kiti või plastilise saviga, et vältida pinnase pääsemist suudmetorusse.

Suudmetoru esiosa tuleb varustada rangidega (2 vaia ja pöön), mis väldib suudmetoru äravajumist ja kõrvalenihkumist. Vee filtratsiooni vältimiseks mööda suudmetoru välispinda tuleb liivastes pinnastes tampida suudmetoru ümber savikiht; viimane kaitseb suudmetoru ka kiire mädanemise eest. Kui suudmetoru lõpeb nõlvakul, tuleb liivaste pinnaste puhul filtratsiooni tõkestamiseks tihendada kollektoritoru liidused 3 ... 4 m kauguseni suudmest.

Et kaitsta suudmetoru jää vigastuste ja muude mehaaniliste mõjude eest, ei tohi selle ots nõlvast välja ulatuda rohkem kui 0,4 ... 0,5 m (mööda detud kaanelauda mööda). Suudmetoru otsa tehakse kaitserest traadist või sobiva pikkusega naeltest. Rest on soovitatav asetada nii, et see ei takistaks uhtmete liikumist torust välja, s. t. paigutada traadid horisontaalselt või lüüa naelad läbi kaanelaua nii, et nende alumised otsad jääksid 1 ... 2 cm võrra põhjalaua sisepinnast kõrgemale.

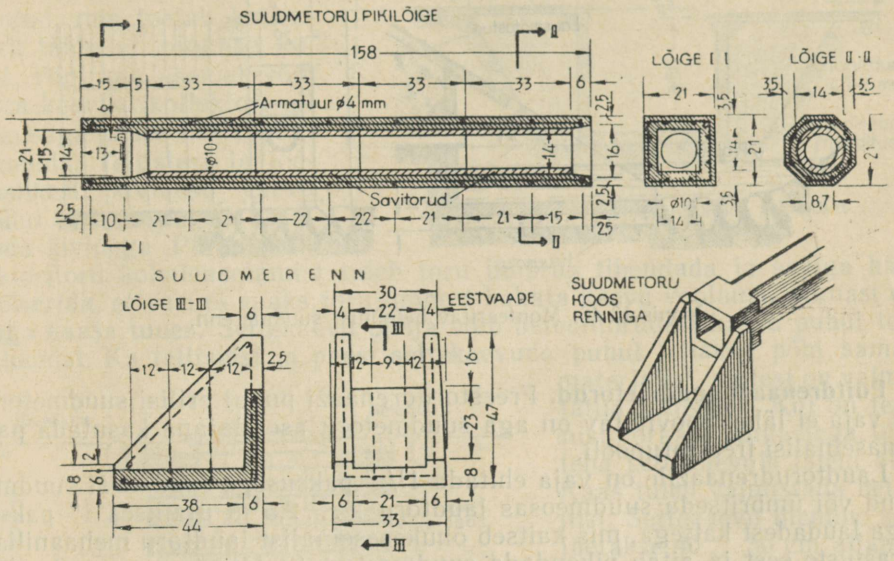
Suudmetoru otsa all tuleb kraavi põhi ja nõlv kindlustada kividega, et vältida uhtumist langeva vee mõjul. Kraavi nõlv tuleb suudmetoru piirkon-



Joonis 13-43. Raudbetoonist suudmetoru savitorukollektorile (Ø 175 mm).

nas mätastada (drenaažikaeviku kohal seinmätastusega, mujal lausmätastusega).

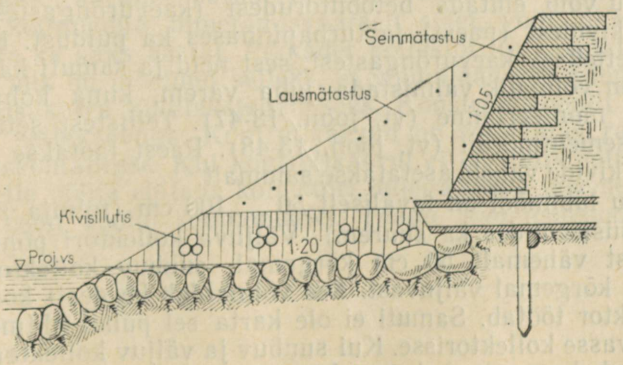
Raudbetoonist suudmetorud. Joonisel 13-43 on kahest torupoolest kokkumonteeritav suudmetoru, mille pikkus on 1,25 m. Suudmetoru paigalt nihkumist välditakse kahe vaiapaari abil, kusjuures kumbki vaiapaar on omavahel kõkku tõmmatud traadiga. Suudmetoru otsa alla asetatakse kaldasendisse erikujuline betoonplaat. Joonisel 13-44 on näi-



Joonis 13-44. Raudbetoonist suudmetoru savitorukollektorile (Ø 100 mm).

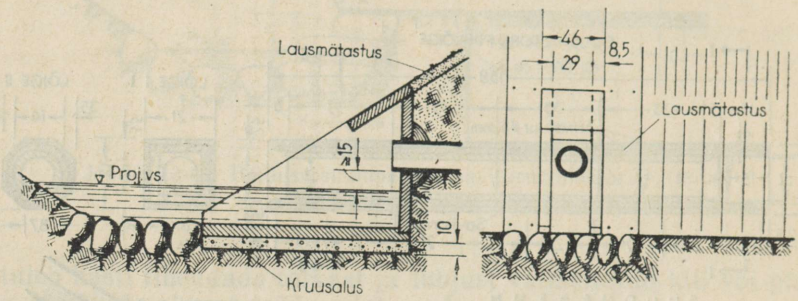
datud raudbetoonist monoliitne suudmetoru, pikkusega 1,6 m, mille sisemise vormina on kasutatud vastava läbimõõduga savitorusid. Kraavi põhja ja nõlva uhtumise vältimiseks kasutatakse selle toru juures erikujulist suudmerenni. Kaitseresti asemel on betoonist suudmetorud varustatud plekist klapiga, mis väljavoolava vee survel avaneb väljapoole. Betoonist suudmetorude paigaldamisel tuleb täita samu nõudeid mis puidust suudmetorude puhulgi.

Suudmete kaitseehitised. Drenaažisüsteemidel, mis suubuvad jõkke või peakraavi, milles esineb jääminek, parvetus või laevaliiklus, peavad suud-



Joonis 13-45. Suudmekraav.

med olema vigastuste eest eriti hästi kaitstud. Lihtsam on sel puhul suudmeid kaitsta suudmekraavi abil (vt. joon. 13-45). Suudmekraavi pikkus ei tarvitse olla üle 2,0 m. Selle põhi ja nõlvad tuleb kindlustada. Drenaažisuudmeid kaitstakse ka nõlva sisse ehitatud erilise betoonist monteeritava suudmerenniga (vt. joon. 13-46). Tugevam tuleb suue teha ka asulate läheduses.



Joonis 13-46. Monteeritav betoonist suudmerenn.

Puitdrenaaži suudmetorud. Freestorudrenaaži puhul erilisi suudmetorusid vaja ei lähe. Soovitatav on aga suudmetoru asendajana kasutada paksemaseinalisi freestorupooli.

Laudtorudrenaažile on vaja ehitada $1\frac{1}{2}''$ paksusega laudadest suudmetorud või ümbritseda suudmeosas laudtoru 2 . . . 2,5 m ulatuses 1″ paksusega laudadest kattega, mis kaitseb õhukeseseinalist laudtoru mehaaniliste vigastuste eest ja aitab pikendada suudme iga. Suudmetoru asemel võib ehitada ka laudtoru suudmeosa 2 . . . 2,5 m ulatuses paksematest ($1\frac{1}{2}''$) laudadest.

Frees- ja laudtorudrenaaži puhul ei ole lubatud kasutada suudmete väljaehitamisel range, sest need takistavad suudmetoru või suudmeosa vajumist turbapinnases ja võivad põhjustada süsteemi suudmeosas negatiivse kalde tekkimist.

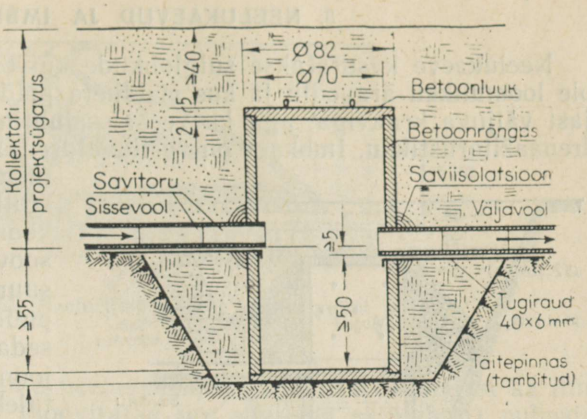
2. SETTEKAEVUD JA KONTROLLKAEVUD

Settekaevud ehitatakse kollektori kalde murdepunktidesse, kui kollektori kalle ja vee kiirus kollektoris murdepunktist allpool nii palju väheneb, et on karta veega kaasakantavate uhtmete settimist.

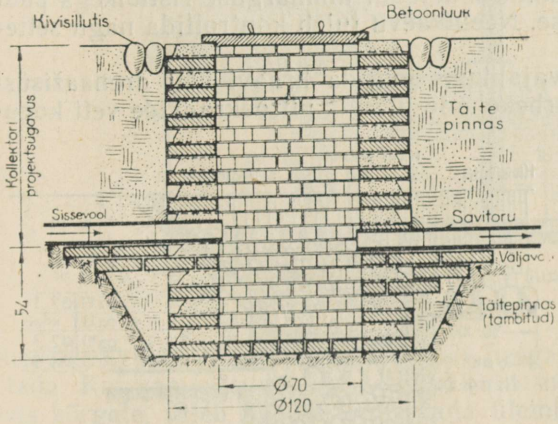
Settekaevu võib ehitada betoontorudest (kaevurõngastest), tellistest, looduslikest kividest (paest) ja turbapinnases ka puidust. Kõige lihtsam on ehitada settekaev kaevurõngastest, sest neid ja samuti ka kaevu põhja ning kaant on võimalik valmistada juba varem, kuna kohapeal toimub ainult kaevu monteerimine (vt. joon. 13-47). Tellistest settekaevud valmistatakse tsementmördil (vt. joon. 13-48). Paest laotakse kaevud kuivmüüritisena; kivide vahele asetatakse sammalt.

Settekaevu läbimõõt on tavaliselt 50 . . . 100 cm (tolmja pinnase puhul suuremates süsteemides ka suurem). Väljuva kollektori põhi peab olema kaevu põhjast vähemalt 50 cm kõrgemal, suubuv kollektor olgu veidi (5 . . . 10 cm) kõrgemal väljuvast. See võimaldab kergesti kontrollida, kas suubuv kollektor töötab. Samuti ei ole karta sel puhul uhtmete edasikandumist väljuvasse kollektorisse. Kui suubuv ja väljuv kollektor asuvad ühekõrgusel, tuleb kaevu keskele, suubuva toru otsa kohale, asetada serviti

kaitselaud, mis takistab vee otsest liikumist suubuvast kollektorist väljuvasse. Kaevu ümber tuleb pinnas allpool kollektoreid tihedalt kinni tampida. Suubuva ja väljuva kollektori alla tuleb asetada tugiraud, mis toetab kollektorit täidetud pinnase kohal. Tugiraua asemel võib täita kaeviku kollektori all kruusaga ja see hästi kinni tampida. Tellistest ja looduslikest kividest kaevu puhul võib tugiraua asendada kividega. Pärast kollektoritoru kohaleasetamist tuleb toru ümbrus tihendada ja saviga hästi isoleerida, et vesi ei saaks toru ümbert hakata kaevu voolama, pinnast endaga kaasa tuues. Settekaevu põhja võib betoontorudest kaevu puhul teha betoonist. Ka tellistest ja paest settekaevude puhul tehakse põhi samast materjalist, millest on valmistatud settekaev. Kui on tegemist nõrkade pinnastega, tuleb teha settekaevule laiem alus. Kaas tuleb valmistada betoonist. Settekaevu ülemine serv jäetakse 40 ... 50 cm allapoole maapinda. Settekaevu ei ole soovitatav ehitada kuni maapinnani sellepärast, et see takistaks esiteks põllutöid, teiseks võiks talvel jäätuda. Kaevu ülesleidmiseks looduses tuleb maapind kaevu kohalt katta teisevärvilise pinnasega (näiteks segada pinnasele kaevu kohal telliskillustikku, savitorukilde vm.) või tähistada kaevud tähistega.



Joonis 13-47. Betoonrõngastest settekaev.

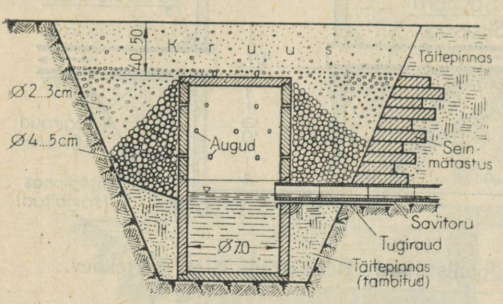


Joonis 13-48. Tellistest settekaev.

Settekaevu tuleb kontrollida kohe esimesel kevadel pärast drenaaži ehitamist. Kui on näha, et kaevu ei ole kogunenud nimetamisväärselt setet, võib hiljem kontrollimiste vahe olla ka kaks aastat. Pikkades kollektorites kasutatakse *kontrollkaeve*, mis on mõeldud selleks, et võimaldada juurdepääsu kollektorile selle seisukorra kindlakstegemiseks. Konstruktsioonilt on kontrollkaev sarnane settekaevuga. Kontrollkaevud on soovitatav rajada kollektori hargnemiskohtadesse. Kui kontrollkaevul ei ole täita settekaevu ülesannet, võib selle põhja ehitada kollektori teljega ühele tasemele ning teha kaevu põhja renn voolu suunamiseks (nagu kanalisatsiooni kontrollkaevus).

3. NEELUKAEVUD JA IMBKAEVUD

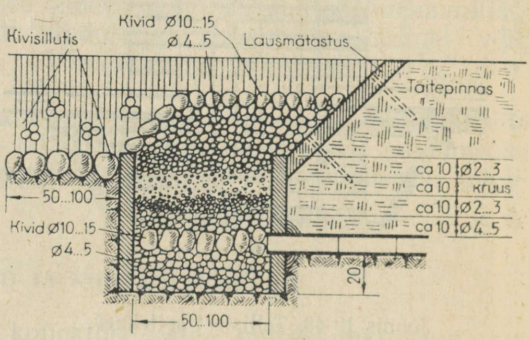
Neelukaeve kasutatakse sulglohkude kuivendamisel, kust pinnaveel ei ole loomulikku äravoolu ja kus ei taheta põldu rikkuda sügava, nõo põhjast väljuva kraaviga, aga ka vee sissejuhtimiseks lahtisest veejuhtmest drenaažitorustikku. Imbkaev on vertikaaldrenaaži puhul vajalik vee suunamiseks sügavamatesse pinnasekihtidesse. Nõgude vee kiiremaks koondamiseks neelukaevu on soovitatav ajada põllule kaevu suunas vesivaod. Uhtmete kinnipüüdmiseks tuleb kaev ümbritseda ja katta kruusfiltriga (vt. joon. 13-49). Kaevu läbimõõduks tuleb võtta vastavalt nõo suurusele ja settehulgale 0,7...1,0 m (rohumaadel on sette hulk väiksem kui põllul).



Joonis 13-49. Neelukaev nõgude kuivendamiseks.

Neelukaevu ehitamisel tuleb täita samu nõudeid mis settekaevudegi puhul. Betoontorudest neelukaevu puhul on otstarbekohane kaevu seinas ettenähtud augud teha juba betoontorude valamisel, asetades betooni ümmarguse ristlõikega puuklotsid, mis hiljem välja lüüakse. Neelukaevu tuleb kontrollida nagu settekaevugi.

Üksikutel juhtudel osutub vajalikuks juhtida kraavi vett drenaažisüsteemi. Näiteks ei ole alati otstarbekohane juhtida piirdekraavide vett kogujakraavi risti üle põllu kulgeva kraaviga. Parema lahenduse võib niisugusel kõrral anda piirdekraavide vee drenaažisüsteemi juhtimine. Sageli ei ole ka teekraavide vee ärajuhtimiseks muud võimalust.



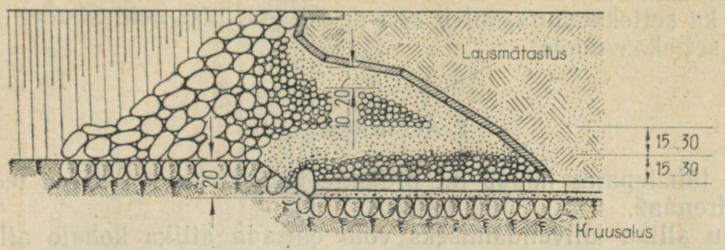
Joonis 13-50. Neelufilter madala kraavi puhul.

Enne vee drenaažitorustikku juhtimist tuleb vesi puhastada uhtmetest. Väikese vooluhulga ja väheste uhtmete korral (püsivad pinnased) aitab ainult filtrist (neelufiltrid). Joonisel 13-50 on toodud neelufiltri skeem madala kraavi (vooluhulk alla 6 l/sek) vee juhtimiseks drenaažitorustikku. Joonisel 13-51 toodud neelufiltrit saab kasutada sügavamate kraavide puhul (kraavi sügavus ulatub peaaegu drenaažitorustiku sügavuseni).

Neelufiltris on osutunud otstarbekohasemaks filtrikihtide selline paigutus, kus ülemine ja alumine kiht on suurema läbimõõduga materjalist, kuna peeneteralisemad filtrikihid asuvad keskel.

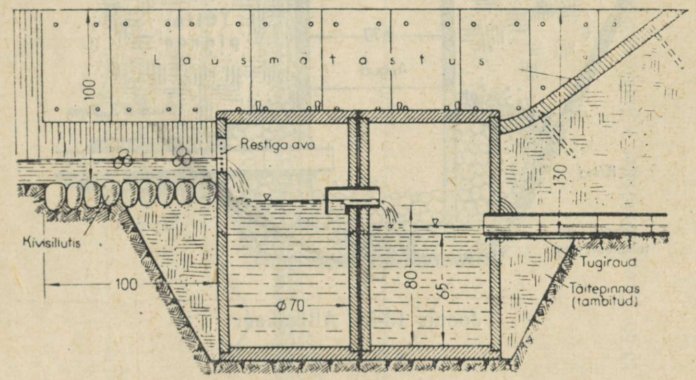
Vahetult pärast kaevamist on uhtmete liikumine kõige intensiivsem. Neelufiltrite kiire ummistumise vältimiseks tuleb filter algul katta samblaga või õlgedega, mida võib kinnitada laudade ja kivide abil. Kui uhtmeid jääb vähemaks, eemaldatakse kattekiht. Uhtmeterikkama vee puhul tuleb kasutada neelukaevu, mis koosneb filtrist ja settekaevust.

Suurema vooluhulgaga kraavide puhul on uhtmete eraldamine veest raskem. Sel juhul on parimaks vahendiks kaksiksettekaevu-kujuline neelu-



Joonis 13-51. Neelufilter sügava kraavi puhul.

kaev (vt. joon. 13-52). Selline neelukaev puhastab vee uhtmetest ka ilma filtrita, kui settekaeve tihti (soovitatav iga suurema saju järel) puhastatakse. Sissepääsuava ette tuleb panna rest, et ujuvad esemed ei pääseks

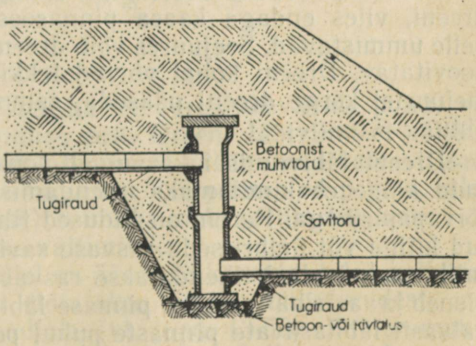


Joonis 13-52. Neelukaev suuremal kraavil.

kaevu. Kraavi lõpuosa tuleb sageli veega kaasatoodud rämpsust puhastada. Kui kaevudevaheline settelukk on ummistunud ja vesi tõuseb kraavis kõrgele, tuleb kiiresti puhastada ülemist ja kontrollida alumist settekaevu.

4. ASTANGKAEVUD

Astangkaeve tuleb kasutada seal, kus kollektori (resp. dreeni) trassil esineb järsk maapinna kalle (astang). Astangkaev on oma konstruktsioonilt sarnane settekaevuga, erinedes viimasest selle poolest, et ta läbimõõt võib olla palju väiksem. Seetõttu on teda hõlpus ehitada betoontorudest Ø 20...45 cm (vt. joon. 13-53). Kaevul peab olema kindel põhi betoonist, tellistest või looduslikest kividest. Setteruum võib olla väike, kuni 25 cm sügav. Kui maapinna kalle on



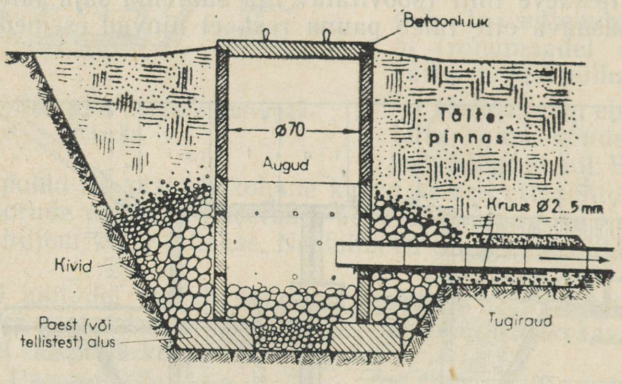
Joonis 13-53. Astangkaev.

suur, võib sellistest kaevudest ehitada kaskaadi. Kui selline kaev peab töötama ka settekaevuna, tuleb aga arvestada juba neid nõudeid, mis olid esitatud settekaevudele.

5. ALLIKAKAEVUD

Suurt tähelepanu nõuab nii projekteerimisel kui ka tööde teostamisel allikate drenaaž.

Üksiku allika kuivendamiseks võib ehitada allika kohale allikakaevu (vt. joon. 13-54), mis kogub vee endasse, kust siis vesi dreeniga üldisesse kuivendussüsteemi juhitakse. Allikakaevu võib ehitada betoontorudest, tellistest või paest. Vee paremaks pääsuks kaevu tuleb teha augud betoontoru seina.



Joonis 13-54. Allikakaev.

Suure toodanguga allika vesi tuleb juhtida omaette dreeniga lähemasse kogujakraavi, kasutades seejuures samasugust allikakaevu.

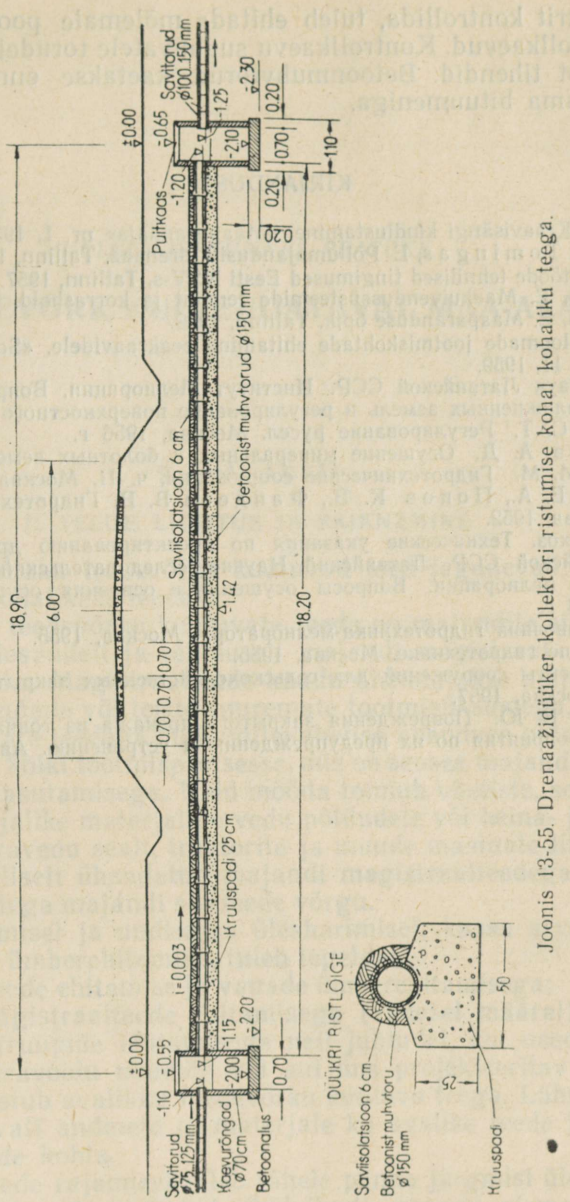
6. DREENIDE LÄBIVIIMINE TEEDE JA KRAAVIDE ALT

Dreenide läbiviimist teede või kraavide alt tuleb võimalust mööda vältida. Kui see aga möödapääsmatuks osutub, siis tuleb seda teha võimalikult vähestes kohtades, mida tuleb arvestada juba süsteemide kujundamisel. Läbiviimise kohad tuleb eritingimusi arvestades hoolikalt kindlustada.

Dreeni kraavi alt läbiviimisel esineb oht, et vesi filtreerub otse kraavist dreeni, viies endaga kaasa pinnaseosakesi, mis dreenis allpool settides selle ummistavad. Seejuures võib dreen hakata töötama surve all, mis ei ole soovitatav. Dreeni kohal võivad tekkida tühemed, mille kaudu on taimejuurtel kerge dreeni pääseda, samuti suurendab see dreeni külmumisohtu.

Dreeni läbiviimisel kraavi alt on dreenitorude liiduste lihtsaimaks, kuid kõige ebakindlamaks tihendamise mooduseks nende ümbritsemine tõrvapapiribaga. Parem on liidused tihendada tõrvast ja lubjast valmistatud kitiga või ümbritseda rasvase saviga. Ka võib kasutada muhvtorusid, mille muhvivahed tihendatakse rasvase saviga. Kindlustatava osa ulatus oleneb kraaviriba laiusest, pinnase läbilaskvusest ja dreeni sügavusest. Ka halvasti läbilaskvate pinnaste puhul peaks see olema vähemalt 10 m.

Tee alt läbijuhitud dreene ja kollektoreid tuleb kaitsta külmumise ja



Joonis 13-55. Drenaažidüüker kollektori ristumise kohal kohaliku teega.

võimalike mehaaniliste vigastuste, kuid ka tee ääres kasvavate puude või põõsaste juurte torudesse sissetungimise eest. Dreeni läbiviimisel väikese liiklusega tee alt ümbritsetakse dreen külmumise vältimiseks halvasti soojust juhtiva materjaliga (šlakk, puusüsi jms.). Kui pinnas on pehme, tuleb panna dreeni alla paksem laud (plank) suurema mehaanilise tugevuse saavutamiseks ning ebaühtlase vajumise vältimiseks.

Suurema liiklusega teede alt, millel on ääres teekraavid, tuleb kollektor läbi viia düükrina. Drenaažidüüker ehitatakse betoon-muhvtorudest, mis asetatakse 25 cm paksusele kruuspadjale (vt. joon. 13-55). Betoon-muhvtorud ümbritsetakse 6 cm paksuse saviisolatsiooniga. Selleks, et alati oleks

võimalik düükrit kontrollida, tuleb ehitada mõlemale poole teed betoontorudest kontrollkaevud. Kontrollkaevu suubuvatele torudele tehakse ümber tsementmördist tihendid. Betoonmuhvtorud kaetakse enne paigaldamist seestpoolt kuuma bituumeniga.

KIRJANDUST

1. Karus, G. Kraavisängi kindlustamine. «Maaparandaja» nr. 1, 1958.
2. Kuum, J. ja Tomingas, E. Põllumajanduslik drenaaž. Tallinn, 1959.
3. Maaparandustööde tehnilised tingimused Eesti NSV-s. Tallinn, 1957.
4. Tomingas, E. Maakuivendussüsteemide remont ja korrashoid. Tartu, 1947.
5. Tomingas, E. Maaparanduse õpik. Tallinn, 1949.
6. Vei, E. Kariloomade jootmiskohtade ehitamine peakraavidele. «Sotsialistlik Põllumajandus» nr. 11, 1959.
7. Академия Наук Латвийской ССР. Институт Мелиорации. Вопросы осушения избыточно-увлажненных земель и регулирование поверхностного стока. Рига, 1954.
8. Алтунин С. Т. Регулирование русел. Москва, 1956 г.
9. Брудастов А. Д. Осушение минеральных и болотных земель. Москва, 1955.
10. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, ч. II. Москва, 1955.
11. Замарин Е. А., Попов К. В., Фандеев В. В. Гидротехнические сооружения. Москва, 1952.
12. Литгипроводхоз. Технические указания по проектированию дренажа.
13. МСХ Латвийской ССР. Латвийский Научно-исследовательский Институт гидротехники и мелиорации. Вопросы осушения и освоения осушенных земель, I. Рига, 1958 г.
14. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора. Москва, 1955.
15. Справочник по гидротехнике. Москва, 1955.
16. Типовые проекты сооружений для сельскохозяйственных закрытых осушительных систем. Москва, 1957.
17. Шилейка В. Ю. Повреждения закрытого дренажа из гончарных и бетонных труб и мероприятия по их предупреждению и устранению. Автореферат, 1959 г.

NELJATEISTKÜMNES PEATÜKK

TEEDEVÕRK KUIVENDATAVAL MAA-ALAL

§ 14-1. TEED

1. TEEDE LIIGITUS JA PAIKNEMINE

Eesti NSV avalikku teedevõrku kuuluvad teed jagunevad: liidulisteks, vabariiklikeks ja kohalikeks teedeks.

Peale avalikku teedevõrku kuuluvate teede on majandite siseteed. Need jagunevad oma ülesandelt ja tähtsuselt majandi magistraal- ehk põhiteedeks ja põlluteedeks. Magistraalteede kaudu ühendatakse majandi keskus: a) farmide, osakondade või teiste suuremate tootmisüksustega, b) avalikku teedevõrku kuuluvate teedega majanditevahelise ühenduse pidamiseks. Põlluteed teenindavad kõiki tootmisprotsesse, mis on seoses majandi kõlvikute ja üksikute väljade kasutamisega. Neid mööda toimub väetiste, seemne, kütteõlide ja muude vajalike materjalide vedu põldudele või heina- ja karjamaadele ning saagi äravedu sealt, traktorite ja muude masinate liiklemine jne. Põlluteed on tavaliselt ühendatud majandi magistraalteedega ja moodustavad koos viimastega majandi siseteede võrgu.

Maa kuivendamisel ja uudismaa ülesharimisel, kaasa arvatud vanade kuivendusvõrkude ümberehitamine, tuleb tegelda:

a) uute põlluteede ehitamise ja vanade ümberehitamisega;

b) majandi magistraalteede ehitamisega (vähesel määral);

c) sildade ja truupide ehitamisega neil juhtudel, kui need ei rahulda kuivendusvõrgu äravoolu nõudeid või kui uus projekteeritav veejuhe või majandi sisetee ristub avalikku teedevõrku kuuluva teega. Lähtudes sellest, esitatakse järgnevalt andmeid ja materjale ka avalike teede ja nende sildade ning truupide kohta.

Majandi siseteede rajamisel tuleb tähele panna järgmisi üldnõudeid:

1) kõik kasutatavad maa-alad (kõlvikud) peavad olema varustatud vajalike juurdepääsuteedega;

2) teed ei tohi läbi lõigata ega poolitada põllumajanduslikke kõlvikuid, vaid peavad asuma nende piiridel;

3) teed peavad hõlbustama maa-alade intensiivset kasutamist, eriti traktorite ja muude mehhanismide liiklemist, maaharimis-, kultuuride hooldus- ja saagikoristustöid;

4) teed tuleb rajada võimalikult sirgetena ja lühimat trassi mööda, millega hoitakse kokku kulusid nii teede ehitamisel kui ka nende kasutamisel, käänakutel ei või teetrassi kõverusraadius olla alla 10 m;

5) põlluteed tuleb paigutada kõlvikute lühematele külgedele ja vajaduse korral projekteerida neile lisaks abiteid pikematele külgedele, mis hõlbustavad raskeid vedusid;

6) teedel peavad sobivates kohtades olema peale- ja mahasõidukohad; teede hargnemis- ja ristumiskohad peavad olema hästi ehitatud;

7) teed peavad päikesepoolselt küljelt olema avatud, sellega tagatakse teepinna kiirem tahenemine.

Kuivendataval maa-alal paigutatakse teed tavaliselt kraavide äärde, kasutades muldeks (vahel ühtlasi ka katteks) kraavist väljakaevatud pinnast.

Soovitatav on olemasolevaid teid ära kasutada nii palju kui võimalik, sest nende ümberehitamine on odavam kui uue tee ehitamine.

2. TEEDE TEHNILISI NÄITAJAID

Projekteeritava tee tüüp ja mõõtmed peavad vastama antud maa-ala tootmistingimustele. Selles suhtes tuleb arvestada järgmisi üldnõudeid:

a) teemulde kandejõud peab vastama sellel sõitvate traktorite, masinate, põllutööriistade ja mitmesuguste veokite täiskoormusele;

b) tee laius peab olema küllaldane maa-alal kasutatavate laiemate masinate ja põllutööriistade veoks;

c) karjateede laius peab võimaldama karja häireteta liiklemise.

Tabel 14-1

Tehnilisi näitajaid põllumajanduses kasutatavate teede projekteerimiseks

Tehnilised näitajad	Majanditevahelised teed			Majandite siseteed	
	Avalikud teed ja juurdesõiduteed		Kohalikud teed	Magistraalteed	Põlluteed
	IV kat.	V kat.			
1. Perspektiivne liikluse intensiivsus (autot/ööpäevas)	1000 ... 200	alla 200	100 ... 50	alla 50	—
2. Sõidutee laius (m)	6	6	3,5 ... 3	3	—
3. Mulde laius (m)	10	10	10	10 ... 8	6
4. Suurim pikikalle (‰)	70	90	90	100	100 ... 80
5. Vähim kõverusraadius (m)	125	60	60	25	10
6. Kattetüüp	Kerged ja lihtsad katted	Ülemineku-katted ja lihtsad katted	Ülemineku-katted	Ülemineku-katted. Pinnasteed lisanditega	Pinnasteed lisanditeta või lisanditega läbipääsmata kohtades

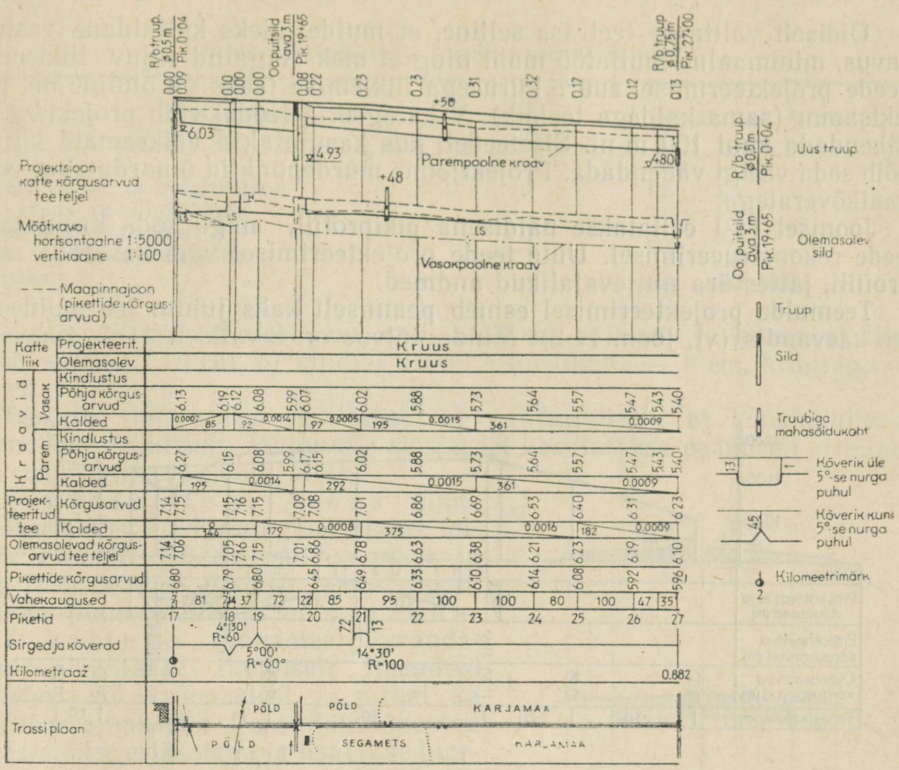
Märkus. IV ja V kat. teedel, intensiivsusega alla 100 auto ööpäevas, võib sõidutee laiust vähendada kuni 4,5 m-ni. Raskes maastikus on erandjuhtudel lubatud pikikallet suurendada 15 ... 20‰ võrra.

Avalikel teedel arvestatakse eraldusriba maksimaalset laiust järgmiselt: V kat. — 18 m, IV kat. — 19 m, III kat. — 22 m, II kat. — 33 m ja I kat. — 39 m.

3. TEEMULDE PIKI- JA RISTPROFIIL

Tee pikiprofiilile kantakse: maapinna või olemasoleva tee andmed (mustaga), tee projektjoon (punasega), andmed pinnase kohta, sillad, truubid, teekraavid, piketaaž, kilometraaž ja teetrassi plaan sirgestatud kujul (vt. joon. 14-1).

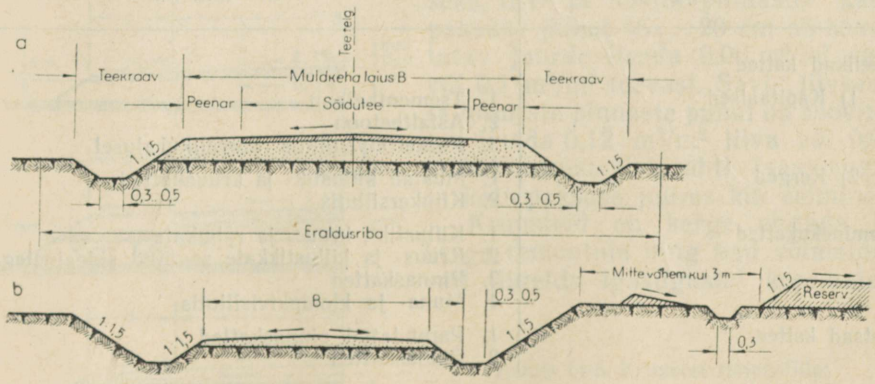
Tavaliselt märgitakse pikiprofiilile projektjoonena mulde serv. Võib ära



Joonis 14-1. Tee pikiprofiil ja leppemärke.

märkida ka teekatte tee teljel. Igal juhul tuleb teha vastav märge selle kohta, mis on projektjooneks valitud.

Pikiprofiil koostatakse enamasti selliselt, et vertikaal- ja horisontaalmõõtkavade suhe oleks kümnekordne, näiteks vertikaalmõõtkava 1:200 ja horisontaalmõõtkava 1:2000. Tavaliselt kasutatakse siseteede projektides pikiprofiili mõõtkavasid 1:100 ja 1:2000 või 1:5000. Mõõtkava valik oleneb projekteeritava tee pikkusest. Teetrassi plaan esitatakse topograafilistel kaartidel või plaanidel, mille mõõtkava oleneb samuti trassi pikkusest — pikema trassi puhul valitakse suurem vähendus.

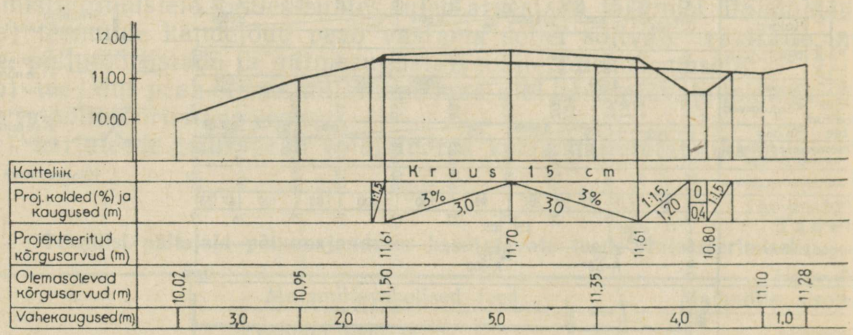


Joonis 14-2. Tee ristprofiile:
a — tee muldes; *b* — tee kaevandis (kaevikus)

Üldiselt valitakse teetrass selline, et muldel oleks küllaldane vastupidavus, minimaalne mullatöö maht ning et oleks tagatud sujuv liiklemine. Teede projekteerimisel suure kiirusega liiklemise jaoks on oluline nn. projektsamm (sama kaldega teelõik). V kategooria teedel võib projektsammu vähendada kuni 100 m-ni. Siseteedel, kus kasutatakse väiksemaid kiirusi, võib seda veelgi vähendada. Projektjoone murdepunktid ümardatakse vertikaalkõveratega.

Joonisel 14-1 esitatakse näidisena pikiprofiil, nagu seda kasutatakse teede rekonstrueerimisel. Uute teede projekteerimisel võib kasutada sama profiili, jättes ära mittevajalikud andmed.

Teemulde projekteerimisel esineb peamiselt kaks juhtu: tee muldes ja tee kaevandis (vt. joon. 14-2). Mulde nõlvus on tavaliselt 1:1,5. Kaevandi



Joonis 14-3. Tee ristprofiili näidis.

nõlvus on samuti tavaliselt 1:1,5, kuid olenevalt pinnasest ka 1:1,75 ja 1:2. Tee ristprofiilid esitatakse projektides mõõtkavas 1:100 (vt. joon. 14-3).

4. TEEKATE

Tabel 14-2

Põhilised teekattetüübid

Kattetüüp	Katte nimetus
Täielikud katted	
1) Kapitaalsed	1. Tsementbetoon 2. Asfaltbetoon 3. Parkettkivisillutis korralikul alusel
2) Kerged	1. Mustad killustik- ja kruuskatted 2. Klinkersillutis
Üleminekukatted	1. Killustik-, kruus- ja räbukate 2. Kruus- ja killustikkate segatud sideainetega 3. Pinnaskatted 4. Muna- ja klompkivisillutis
Lihtsad katted	1. Parandatud pinnaskatted 2. Pinnaskatted

Maaparanduses esinevad peamiselt ülemineku- ja lihtsad teekatted.

Tabel 14-3

Erinevaile teekatteile soovitatavad põikkalded

Katteliik	Põikkalle i %-des
Tsementbetoon ja asfaltbetoon	1,5 ... 2,0
Must kruus- ja killustikkate	2,0 ... 3,0
Kruus- ja killustikkate	2,5 ... 3,5
Muna- ja klompkivisillutis	3,0 ... 4,0
Pinnaskate	3,0 ... 4,0 (5,0)

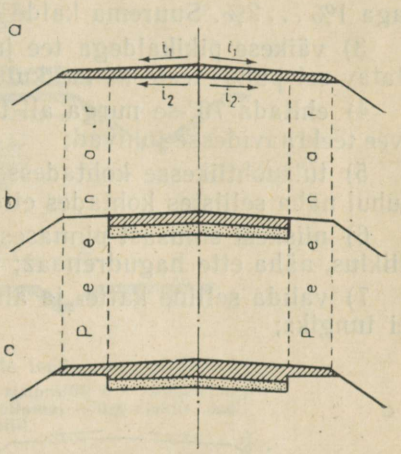
Katte paksusi: asfaltbetoon — 3 ... 4,5 cm, killustik ja kruus: a) liivalusel — 13 ... 15 cm, b) kindlal alusel killustikuga — 8 cm, kruusaga — 10 cm.

Teekatte ristprofiilid ehitatakse: a) sirbikujuliselt, b) künakujuliselt, c) poolkünakujuliselt. Majandite siseteedel kasutatakse peamiselt sirbitaolist ristprofiili (vt. joon. 14-4).

Pinnaskattega teeks nimetatakse sellist sõidurada, kus liiklus toimub vahetult mööda muldepinnast ja mis tihendatakse liikluse enda poolt. Teiseks pinnasteeliigiks on paranda-tud kattega pinnastee. Parandamiseks valitakse tavaliselt lisandeid kivistest või kruusastest ja vahel ka savistest pinnastest. Parandatav teepind kobestatakse eriäketega ja lisatakse juurde parandavat pinnast ning lõpuks komprimeeritakse (tihendatakse).

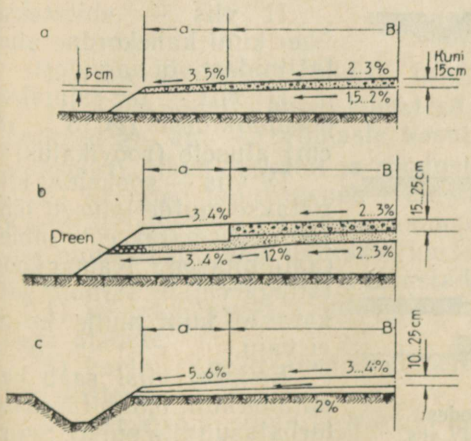
Kuivas seisukorras murukattega teed on kasutatavad kergetele veokitele.

Pinnaskattega teede puhul on tegemist peamiselt kahe pinnaseliigiga, nimelt liivase ja savisega. Esimene on raskesti kasutatav kuiva ilmaga, teine vihma ajal. Parimaks pinnaseliigiks on kruus. Et kruusale paremat sidusust anda, on soovitatav purustada mättaid ja puistata neid teepinnale.



Joonis 14-4. Teekatte ristprofiilide liigid:

a — sirbikujuline; *b* — künakujuline; *c* — poolkünakujuline.



Joonis 14-5. Kruustee ristprofiile:

a — sirbitaoline ristprofiil avalikel teedel; *b* — künatao'ine ristprofiil avalikel teedel; *c* — sirbitaoline ristprofiil majandite siseteedel.

Pinnasteede paremaks muutmiseks liiv- ja saviliivpinnastel katte paksuse puhul 15 ... 20 cm on soovitatav juurde lisada 0,06 m^3/m^2 savi või 0,1 m^3/m^2 turvast. Savi-, liivsavi- ja tolmjate pinnaste puhul on soovitatav lisada 0,12 m^3/m^2 liiva või 0,09 m^3/m^2 kruusa-kiviprahti (samasuguse kattepaksuse juures kui eelmine).

Kruusteid on kerge ehitada ja kerge remontida ning nad võimaldavad liigelda igasugustel koormatel,

vaatamata aastaajale. Tavaliselt ehitatakse kate sirbikujulisena paksusega 10...25 cm. Kui kruus ei ole küllalt sidus, siis tuleb talle lisada sidusat pinnast. Kruustee ehitamine algab aluse tegemisest. Aluse ettevalmistus sirbitaolise katte puhul algab pinnase planeerimisest. Pärast aluse profileerimist alus rullitakse 3...6-tonnise rulliga. (Vt. joon. 14-5.)

5. VEETÕRJE

Suurimaks teede kahjustajaks on vesi. Seepärast tuleb sademete vesi võimalikult kiiresti ära juhtida. Veetõrjeks on vajalik:

1) ehitada tee põikkaldega, mille suurus on 1 ... 5%, olenevalt teekattematerjalist;

2) kaevata vee ärajuhtimiseks teekraavid. Teekraavide sügavus on tavaliselt 0,4...1,0 m, põhja laius 0,2...0,6 m, nõlvus 1:1,5 (kui pinnase iseloom lamedamat nõlvust ei nõua), minimaalne kalle on 0,5%, tavaline aga 1%...2%. Suurema kalde puhul tuleb kraav kindlustada;

3) väikese pikikaldega tee juhib halvasti vett ära, seepärast on soovitatav sel puhul teele kunstlikult suurem pikikalle anda;

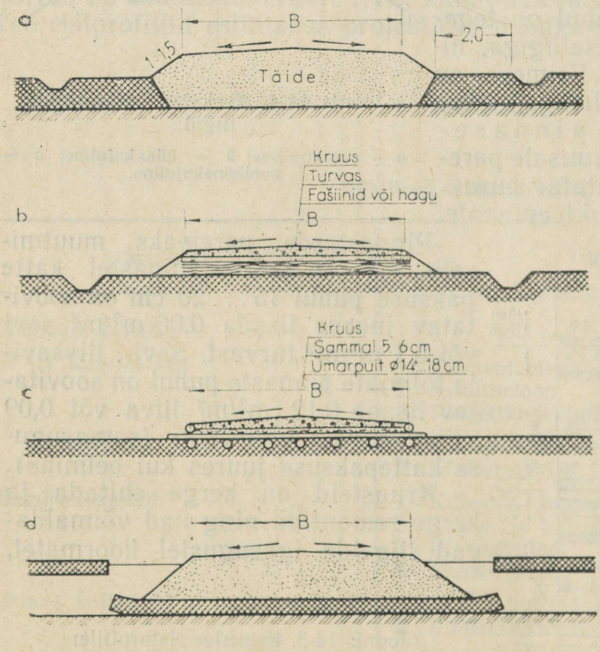
4) ehitada 70°-se nurga all tee teljega drenaažilehtrid, mis tee alusest vee teekraavidesse juhivad;

5) tuisuohtlikesse kohtadesse teid võimalust mööda mitte ehitada, igal juhul näha sellistes kohtades ette lumetõkked;

6) niiskest sidusast pinnasest värsketesse mulletesse, millel algab kohe liiklus, näha ette hagudrenaaž;

7) valida selline katte- ja alusmaterjal, mida mööda kapillaarvesi üles ei tungiks;

8) kattesse mitte lasta tekkida löökauke.



Joonis 14-6. Teede rajamise viise soodes:
a — I viis; *b* — II viis; *c* — III viis; *d* — IV viis.

6. TEEDE RAJAMINE SOODES

Soodes rajatakse teed neljal viisil (vt. joon. 14-6):

I viis — eemaldatakse turvas ja ehitatakse mulle mineraalpinnasele;

II viis — ehitatakse ühe- kuni kahekordne alus fašiinidest või hagudest;

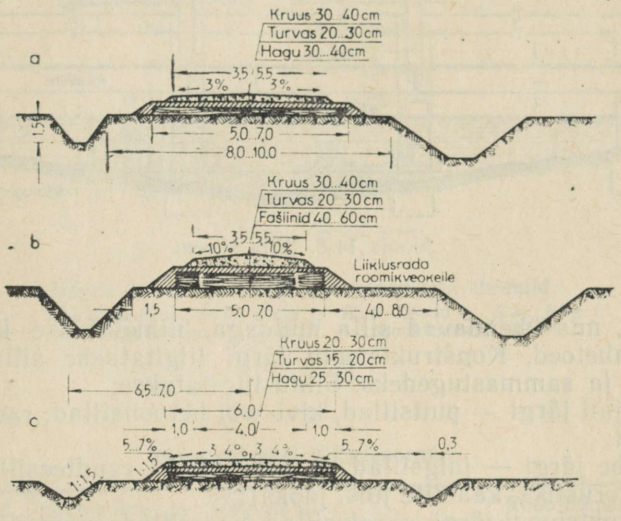
III viis — tee rajatakse peenpalkidest (Ø 16...18 cm) alusele (roovikalus);

IV viis — sookamar lõigatakse mulde laiuselt läbi ja koormatakse mineraalpinnasega. Kamar koos täitega vajub. Täitmist jätkatakse, kuni mulle enam ei vaju.

Esimest viisi saab kasutada kuni 0,5 m tüsedate turbalasundite puhul. Suur-

te magistraalteede puhul on kasutatud kuni 2,0 m tüseda turbakihi eemaldamist. Teist viisi kasutatakse sügavama või kobeda turba puhul, kolmandat viisi kasutatakse vesistes ja kobeda turbaga kohtades ning neljas viis leiab kasutamist üleujutatud ja pehmetes soodes.

Üldiselt tuleb teede rajamisel soistel pinnastel pidada soovitatavaks fašiinidest või hagudest alust paksusega 20...60 cm; haod on soovitatav katta turbaga paksusega 10...30 cm ning teha kate kruusast, paksusega harjal 20...40 cm (vt. joon. 14-7).



Joonis 14-7. Soodele ehitatavate teede ristprofiile:
a — Oidremaa sovhoosis ehitatud teede ristprofiil; *b* — sobivamaks osutunud tee ristprofiil; *c* — «Eesti Põllumajandusprojekti» poolt kasutatav ristprofiil.

Tee ekspluateerimisel tuleb jälgida, et augud kruuskattes kohe täidetaks, vastasel korral võib hagudest või fašiinidest alus puruneda. Purustatud alusega tee laguneb kiiresti. Teekraavi ja mulde vahele on soovitatav jätta 2 m laiune perv. Perve laius ei tohi olla väiksem kui kraavi sügavus.

7. KARJATEED

Karjateede projekteerimisel tuleb arvestada järgmisi nõudeid:

1) ei ole soovitatav, et karjateed ristuksid muude teedega, eriti magistraalteedega, ega ka viimaste kasutamine karjateedena, sest kari segab transporti, rikub teekatet ja soodustab haiguste levikut;

2) karjatee laius oleneb loomaliigist, loomade arvust ja pinnasest. Karjatee laius peab tagama loomadele vaba läbipääsu, näiteks 100-pealise piimakarja jaoks valitakse karjatee laiuseks tavaliselt 8... 12 m;

3) karjateed tuleb alati tarastada;

4) karjatee asukoht tuleb valida võimalikult kuiva ja kandva pinnasega aladele;

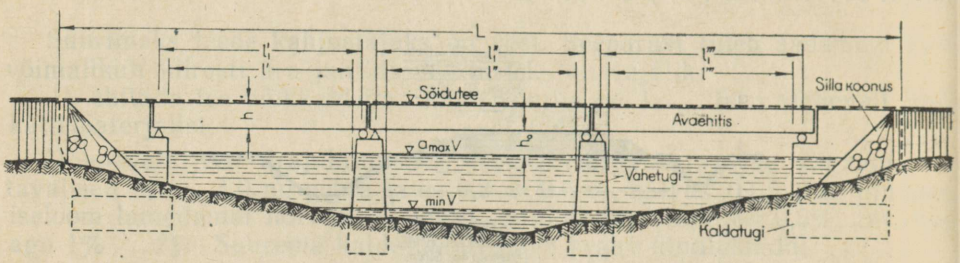
5) karjatee peab olema puhastatud võsast, kändudest ja muudest takistustest;

6) karjateede sillad ja truubid peavad olema korras ja varustatud käsipuudega.

§ 14-2. SILLAD

1. SILDADE LIIGITUS

Sild on veejuhet sildav (ületav) konstruktsioon, mis koosneb avaehitisest ja tugedest (vt. joon. 14-8). Silda, millel on ainult kaks tuge, nimetatakse üheavaliseks ja rohkem kui kahe toega silda mitmeavaliseks. Äär-



Joonis 14-8. Silla skeem.

misi tugesid, mis ühendavad silla muldega, nimetatakse kaldatugedeks, teised on vahetoed. Konstruktsiooni järgi liigitatakse sillatugesid vai-, raam-, laag- ja sammastugedeks. Sildu liigitatakse:

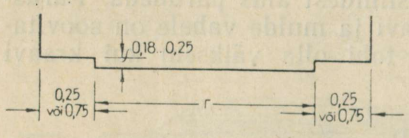
1) materjali järgi — puitsillad, kivi- või betoonsillad, raudbetoonsillad ja raudsillad;

2) otstarbe järgi — jalgsillad, maanteesillad, raudteesillad, sillad eriotstarbeks (torustike, kaablite jms. jaoks);

3) konstruktsiooni järgi — talasillad, kaarsillad, raamsillad, rippsillad.

2. SILDADE GABARIIDID

Silla sõidutee laius oleneb tee tehnilisest kategooriast. Silla gabariit märgitakse tähega «*Г*» ja arvuliselt väljendab ta silla sõidutee laiust, mis on IV ja V kat. teedel 6 ja 7 m ning siseteedel 4,5 m. Tavaliseks kõnnitee laiuseks sildadel on 0,75 m (vt. joon. 14-9).



Joonis 14-9. Silla gabariidi skeem.

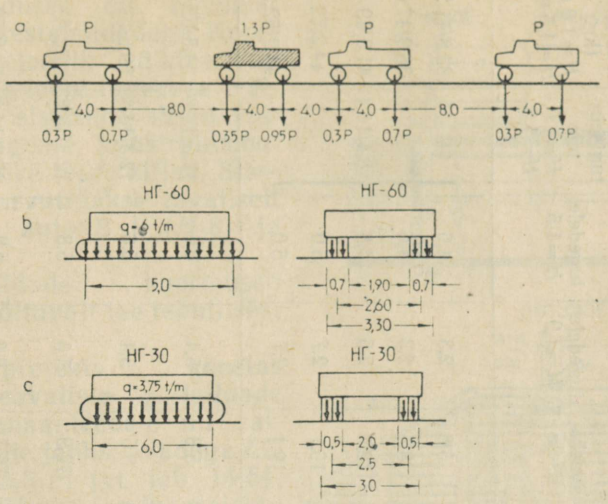
Silla ehituskõrguseks on avaehitise alumise serva ja sõidutee kõrguse vahe. Mida väiksem on silla ehituskõrgus, seda madalam on pealesõidumulle.

3. KOORMUSED (JÕUD) SILLAL

Koormused jagunevad põhi- ja lisakoormusteks. Põhikoormuse moodustavad silla omakaal, pinnasesurve, liikuv koormus ja inimeste kaal (vt. joon. 14-10). Lisakoormuse annavad tuul, pidurdusjõud, jääsurve, hõõrdejõud tugiosades jt.

Jalgsildadel arvestatakse inimeste koormuseks 400 kg/m^2. Tuule surve suuruseks avaehitisele ja vahetugedele kuni 20 m kõrguseni loetakse Eesti NSV territooriumil 56 kg/m^2.

Jääsurve lõikeservata tugedele: jää esimesel nihkumisel 112 *Kb*, jäämineku kõrgperioodil 75 *Kb*. Lõikeservaga tugedele: jää esimesel nihkumisel 75 *Kb*, ja jäämineku kõrgperioodil 50 *Kb*, kus *K* — jää paksus (m), *b* — toe laius (m). Jääsurve on rakendatud 0,4 m allapoole veepinda.



Joonis 14-10. Normatiivsete koormuste skeemid:
a — rataskoormused *H*-13, *P*=13 t; *H*-10, *P*=10 t; *H*-8, *P*=8 t;
b — roomikkoormus *НГ*-60; *c* — roomikkoormus *НГ*-30.

Tabel 14-4

Normatiivseid liikuvkoormusi

Rataskoormused (normaalne ja kõrgendatud)						Roomikkoormused			
Koormuse elemendid	Mõõtühik	*H*-10		*H*-8		Koormuse elemendid	Mõõtühik	*НГ*-60	*НГ*-30
		norm.	kõrg.	norm.	kõrg.				
Koormuse kaal	t	10,0	13,0	8,0	10,4	Veoki kaal	t	60	30
Surve:						Surve roomiku			
tagateljele	„	7,0	9,5	5,6	7,6	1 m-le	„	6	3,75
esiteljele	„	3,0	3,5	2,4	2,8	Roomiku:			
Kasti laius	m	2,7	2,7	2,7	2,7	toetumispikkus	m	5	4
Telgede vahe	„	4,0	4,0	4,0	4,0	keskmete kaugus			
Rataste vahe	„	1,7	1,7	1,7	1,7	üksteisest	„	2,6	2,5
Tagaratta laius	„	0,3	0,4	0,3	0,3	Roomiku			
Esiratta laius	„	0,15	0,2	0,15	0,15	laius	„	0,7	0,5

4. PUITSILLAD

Maaparanduses on puitsillad kõige levinumad, sest kohapeal leidub pea alati nende ehitamiseks materjali. Puitkonstruktsioonil on sillaehituses omad paremused ja puudused.

Peamised paremused: materjal on kerge, hõlpsasti transporditav ja kergesti töödeldav, konstruktsioonid on lihtsad ning neid on võimalik ehitada igal aastaajal. Peamised puudused: kõduneb võrdlemisi lühikese ajaga, pole eriti tugev, suuremate avade puhul kujuneb konstruktsioon keerukaks ja korrashoiukulud on suured.

Tabel 14-5

Maanteedel kasutatavad üheavalised puitsillad
(koormusele *H*-10 ja *HT*-60, gabariidile *I*-7)

Tugede liik	Ava (m)	Arvutuslik ava (m)	Silla pikkus (m)	Ehituskõrgus (cm)	Ristlõike läbimõõt (cm)					Puitu (tm)				Metalli (kg) $H=1{,}0$ m $H=1{,}5$ m
					ladepuud	talad	sadulpalgid	postid, vaiad $H=1{,}0$ $H=1{,}5$	alumised raampuud	avaehitisele	tugedele $H=1{,}0$	tugedele $H=1{,}5$	tugiseintele $H=1{,}0$ $H=1{,}5$	
Vaitugedega sillad	2,0	2,3	3,0	46,0	14	23	22	22/27	—	5,8	2,3	4,6	8,4/11,4	33,8/41,9
	3,0	3,3	4,0	49,5	14	26	22		—	8,5	2,3	4,6		38,9/47,0
	4,0	4,3	5,0	52,5	16	26	24		—	12,9	2,5	4,8		41,3/49,4
	5,0	5,3	6,0	55,0	16	28	26		—	16,7	2,7	5,0		44,2/52,3
	5,5	5,8	6,5	57,2	16	30	26		—	19,1	2,7	5,0		44,2/52,3
Raamtugedega sillad	2,0	2,3	3,3	46,0	14	23	22	22/22	20	5,8	5,4	5,6	12,3/14,8	54,5/62,0
	3,0	3,3	4,3	49,5	14	26	22	22/22	20	8,5	5,4	5,6	12,3/14,8	59,6/67,1
	4,0	4,3	5,3	52,5	16	26	24	22/22	20	12,9	5,6	5,8	12,3/14,8	62,0/69,5
	5,0	5,3	6,3	55,0	16	28	26	24/24	20	16,7	6,6	6,9	12,3/14,8	64,9/72,4
	5,5	5,8	6,8	57,2	16	30	26	24/24	20	19,1	6,6	6,9	12,3/14,8	64,9/72,4

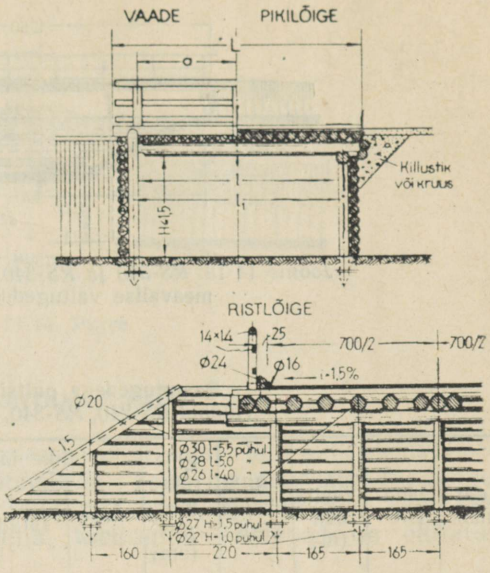
Märkus. *H* — kõrgus voolusängi põhjast kuni avaehitise alumise servani.

Maaparanduses on tegemist peamiselt väikeste sildadega. Koormused ja teeliik dikteerivad silla konstruktsiooni tugevuse. Näiteks majandi siseteede sillad võivad olla nõrgema konstruktsiooniga kui avalike teede sillad. Siseteede sillad arvutatakse tavaliselt koormustele: auto 8 t (*H*-8) ja traktor 12 t.

Maanteesildade koormused määratakse sõltuvalt tee tehnilisest kategooriast.

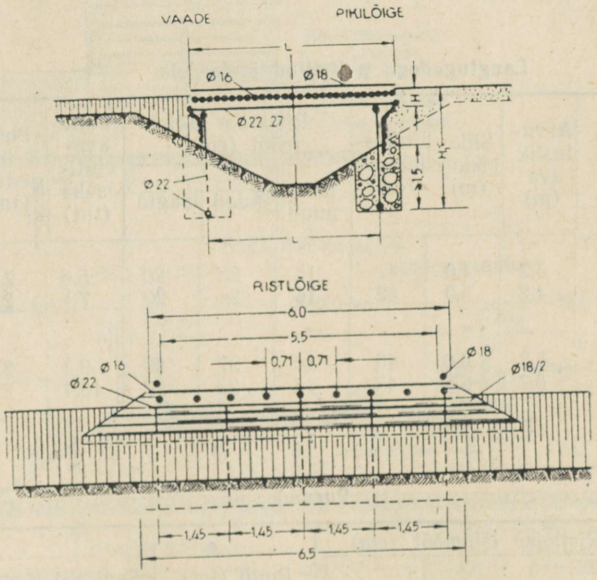
«Sojuzdorprojekt» koostas 1954. a. üheavaliste puitsildade tüüpprojekti maanteedele nii vaikui raamtugede jaoks, avadega 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 5,5 m (vt. tab. 14-5).

«Eesti Põllumajandusprojekt» koostas korduvalt kasutatavad üheavaliste puitsildade ja purrete projektid siseteede jaoks (vt. tab. 14-6, -7, -8 ja joon. 14-12, -13, -14).

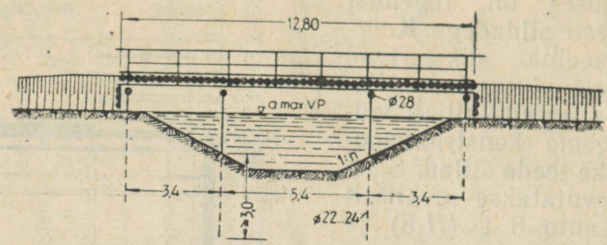


Joonis 14-11. Maanteedel kasutatavad vaitugedega puitsillad (sillad *T*-7, avadega 5,5; 5,0; 4,0; 3,0 ja 2,0 m).

Nende sildade avaehitisi võib kasutada ka mitmeavaliste sildade ehitamiseks. Tugedeks võivad olla nii raam- kui ka vaitoed. Vaiadeks (ka postideks) on sobivad palgid Ø 22 . . . 24 cm.



Joonis 14-12. Raamtugedega puitsildade skeem siseteedele (tüübid *RS*-240, *RS*-340, *RS*-440 ja *RS*-540). Märkus. Antud avaehitised sobivad ka laagtügedega sildadele.



Joonis 14-13. *RS*-540 ja *RS*-340 avaehitistest koosnev kolmeavalise vaitugedega silla skeem.

Tabel 14-6

Raamtugedega puitsillad siseteedele
(tüübid *RS*-240, *RS*-340, *RS*-440 ja *RS*-540)

Koormus	Gabariit	Arvutuslik ava (m)	Silla pikkus (m)	Ehituskõrgus (cm)	Ristlõike läbimõõt (cm) ladepuud	talad	sadulpalgid	postid	Puitu avaehitiseks (tm)	Puitu tugedeks (tm)	Sepiseid ja polte (kg)	Naelu (kg)
H-8 (auto 8 t)	*Г*-5,5	2,4	3,0	38	16	22	22	22	4,1	3,5	25,4	9,8
		3,4	4,0	41	16	23	24	22	5,7	3,5	26,4	10,9
Traktor (12 t)		4,4	5,0	42	16	24	24	22	7,3	3,5	26,4	11,9
		5,4	6,0	46	16	27	26	22	9,4	5,1	26,4	14,1

Tabel 14-7.

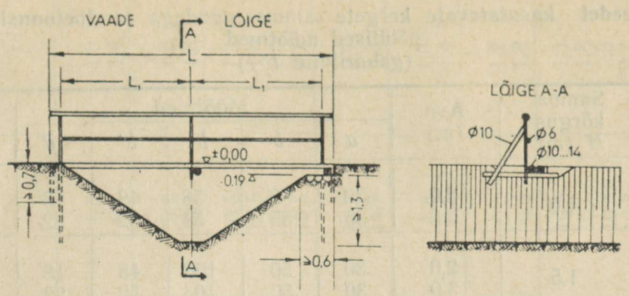
Laagtugedega puitsillad siseteedele

Koormus	Gabariit	Arvutuslik ava (m)	Silla pikkus (m)	Ehituskõrgus (cm)	Ristlõike läbimõõt (cm) ladepuud	talad	laagid	Puitu avaehitiseks (tm)	Puitu tugedeks (tm)	Sepiseid ja polte (kg)	Naelu (kg)
H-8 (auto 8 t)	*Г*-5,5	3,2	4,0	41	16	23	20	5,6	2,0	8,9	8,1
		4,2	5,0	42	16	24	20	7,1	2,0	9,3	9,1
Traktor (12 t)		5,2	6,0	46	16	27	20	9,3	2,0	10,2	10,1
		5,7	6,5	47	16	28	20	10,4	2,0	10,2	10,7

Tabel 14-8

Purded

Purde pikkus (m)	Ristlõike läbimõõt (cm) talad	tugipakud	käsipuud	Puitu (tm)	Sepiseid (kg)	Naelu (kg)
3,0	10	10	10	0,22	0,78	0,51
4,0	12	12	10	0,32	1,56	0,72
5,0	12	12	10	0,38	1,56	0,72
6,0	14	14	10	0,54	2,34	0,94
7,0	14	14	10	0,61	2,34	0,94

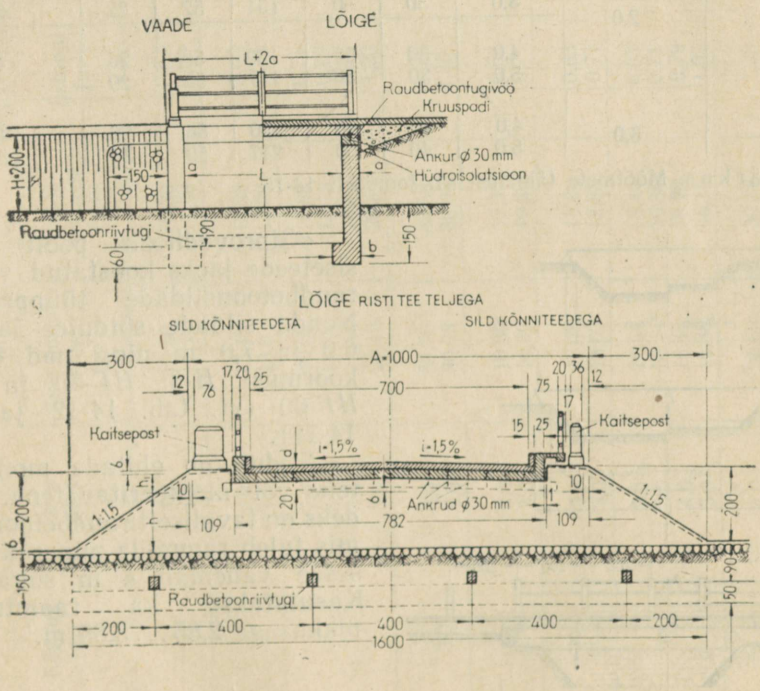


Joonis 14-14. Purre.

5. RAUDBETOONSILLAD

Viimasel ajal on väikeste sildadena kasutamist leidnud üheavalised kergete sammastugedega raudbetoonsillad. Toed on neil sildadel betoonist ja avaehitised raudbetoonist. Sillaavad on 2, 3, 4 ja 5 m. Selliseid sildu on ehitatud ka mitmeavalistena, kusjuures vahetoed on ehitatud monoliitsetena.

«Sojuzdorprojekt» koostas 1956.—57. a. kergete sammastugede ja raudbetoon-avaehitiste tüüpprojektid avalikku teedevõrku kuuluvate teede jaoks (vt. tab. 14-9, -10, -11 ja joon. 14-15).



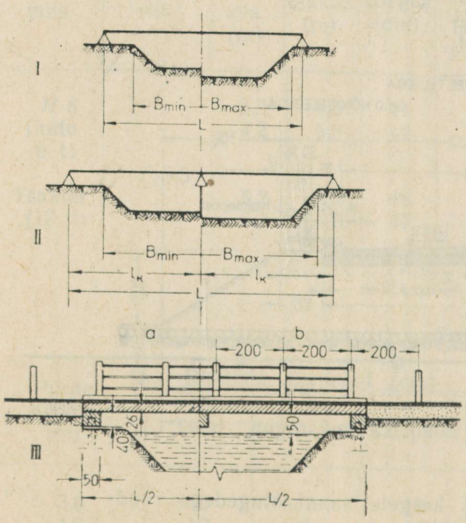
Joonis 14-15. Maanteedel kasutatav kergete sammastugedega raudbetoonsild.

Tabel 14-9

Maanteedel kasutatavate kergete sammastugedega raudbetoonsildade põhilised mõõtmed
(gabariidile *Г*-7)

Koormus	Samba kõrgus *H* (m)	Ava (m)	Mõõtmed					Avaehitise pikkus (m)
			a	*b*	*h*	*h'*	*d*	
H-13 *НГ*-60	1,0	2,0	30	50	58	48	18	2,6
		3,0	35	55	54	52	22	3,6
	1,5	2,0	30	50	108	48	18	2,6
		3,0	30	50	104	52	22	3,6
	2,0	2,0	35	55	158	48	18	2,6
		3,0	35	55	154	52	22	3,6
		4,0	35	55	150	56	26	4,6
		5,0	40	60	147	59	29	5,6
	3,0	4,0	45	60	250	56	26	4,6
		5,0	40	60	247	59	29	5,6
H-10 *НГ*-60	1,0	2,0	30	50	58	48	18	2,6
		3,0	30	50	54	52	22	3,6
	1,5	2,0	30	50	108	48	18	2,6
		3,0	30	50	104	52	22	3,6
	2,0	2,0	30	50	158	48	18	2,6
		3,0	30	50	154	52	22	3,6
		4,0	30	50	150	56	26	4,6
		5,0	30	50	147	59	29	5,6
	3,0	4,0	40	60	250	56	26	4,6
		5,0	40	60	247	59	29	5,6

Märkus. Mõõtmete tähistust vt. jooniselt 14-15.



Joonis 14-16. Siseteede raudbetoonsillad:
I — üheavalise silla skeem; II — kaheavalise silla skeem; III — raudbetoonsilla pikilõige: *a* — üheavaline sild; *b* — kaheavaline sild.

«Giprovodhozi» poolt on ka siseteede jaoks koostatud väikeste raudbetoonsildade tüüpprojektid. Nende sildade sõidutee laius on 6,0 ja 7,0 m ning nad taluvad koormusi *H*-8, *НГ*-30 ja *H*-10, *НГ*-60 (vt. tab. 14-12 ja joon. 14-16).

Sildu võib ehitada monoliitsetena või monteeritavatena. Tugedeks on tavaliselt raudbetoonvaiad, mis tuleb rammida mineraalpinnasesse vähemalt 4 m sügavuselt. Kasutatakse ka raamtugesid, pikkusega 2,85...3,85 m.

6. TÄIENDAVAID PROJEKTEERIMISALUSEID

Väikeste sildade avade määramine. Aasta maksimaalne voolu-

Tabel 14-10

Betoonist kerged sambad väikeste sildade jaoks (gabariidile *Г*-7)

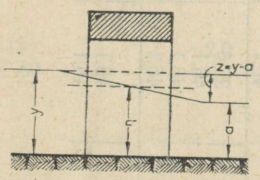
Koormus	Kõrgus (m)	Ava (m)	Betooni sillale: ilma kõnniteedeta (m³)	Betooni sillale: kõnniteedega (m³)	Patjadeks ja riivtugedeks: betooni (m³)	Patjadeks ja riivtugedeks: armatuuri (kg)	Tugiosadeks: ruberoidi (m²)	Tugiosadeks: rauda (kg)	Puitu raketiseks (tm)	Puitu tugistikuks (tm)
Н-13 ja *НГ*-60	1,0	2,0	10,50	10,30	0,63	68,8	2,67	36,0	6,8	1,0
		3,0	11,76	11,56	0,79	90,3	2,67	46,1	6,8	1,4
	1,5	2,0	13,48	13,28	0,63	68,8	2,67	36,0	9,5	1,2
		3,0	13,03	12,83	0,71	90,3	2,71	46,1	9,5	1,8
	2,0	2,0	19,08	18,88	0,71	68,8	2,67	36,0	10,5	1,3
		3,0	18,93	18,73	0,79	90,3	2,71	46,1	10,5	1,8
		4,0	18,83	18,63	0,87	111,9	2,87	46,1	10,5	2,3
		5,0	21,15	20,95	1,23	135,7	2,91	46,1	10,5	2,7
	3,0	4,0	33,78	33,58	1,11	134,2	3,05	46,1	14,7	2,7
		5,0	30,28	30,08	1,38	163,9	3,05	46,1	14,7	3,3
Н-10 ja *НГ*-60	1,0	2,0	10,50	10,30	0,63	68,8	2,67	36,0	6,8	1,0
		3,0	10,40	10,20	0,71	90,3	2,67	46,1	6,8	1,4
	1,5	2,0	13,48	13,28	0,63	68,8	2,67	36,0	9,5	1,2
		3,0	13,03	12,83	0,71	90,3	2,71	46,1	9,5	1,8
	2,0	2,0	16,64	16,44	0,63	68,8	2,67	36,0	10,5	1,3
		3,0	16,54	16,34	0,71	90,3	2,71	46,1	10,5	1,8
		4,0	16,48	16,28	0,79	111,9	2,87	46,1	10,5	2,3
		5,0	16,38	16,18	1,07	135,7	2,91	46,1	10,5	2,7
	3,0	4,0	30,38	30,18	1,03	134,2	3,05	46,1	14,7	2,7
		5,0	30,28	30,08	1,38	163,9	3,05	46,1	14,7	3,3

Märkus. Raketise puitmaterjal on antud ühe samba kohta, tugistiku jaoks aga kogu silla kohta.

hulk tuleb määrata I kategooria teedel 1%-lise tõenäosusega ja II—V kategooria teedel 2%-lise tõenäosusega.

IV ja V kategooria teedel on väikeste puitsildade puhul (pikkusega kuni 10 m) lubatud silla ava arvutada 4%-lise tõenäosusega aasta maksimaalse vooluhulga alusel. Siseteedel võetakse puitsildade puhul aluseks tavaliselt 10%-lise tõenäosusega aasta maksimaalne vooluhulk. Edasi määratakse voolu sügavus ja kiirus.

Ava määramisel on tegemist kahe juhuga: uputamata ja uputatud ülevooluga (vt. joon. 14-17). Täisnurkse ristlõike puhul:



Joonis 14-17. Tähistuse skeem silla ava arvutamisel.

$$\eta = 0{,}1v^2.$$

Kui $\eta > a$ (uputamata ülevool), siis

$$y = 1{,}5\eta \text{ ja } b = \frac{gQ}{\mu v^3}.$$

Kui $\eta < a$ (uputatud ülevool), siis

$$y = 0{,}05\,v^2 + a \text{ ja } b = \frac{Q}{\mu a v},$$

kus v — kiirus (m/sek);

g — 9,81 m/sek²;

b — ava suurus (m);

Q — vooluhulk (m³/sek).

Tabel 14-11

Väikeste sildade monteeritavad raudbetoon-avaehitised
(koormusele *H*-18 ja *HK*-80, *H*-13 ja *HГ*-60, *H*-10 ja *HГ*-60)

Ava (m)	Ploki paksus (m)	Ploki pikkus (m)	Ploki kaal (t): keskm. plokk	Ploki kaal (t): äärm. plokk	Ploki kaal (t): kõnnitee plokk	Plokkide arv avaehitises (tk): keskmisi	Plokkide arv avaehitises (tk): äärmisi	Plokkide arv avaehitises (tk): kõnnitee	Betooni ja raudbetooni kulu avaehitisele (m³): kõnniteedega sillal	Betooni ja raudbetooni kulu avaehitisele (m³): kõnniteedeta sillal	Armatuuri kulu avaehitisele (t): kõnniteedega sillal	Armatuuri kulu avaehitisele (t): kõnniteedeta sillal
2,0	18	26	1,20	1,66	0,47	6	2	2	5,34	4,98	0,67 / 0,60	0,59 / 0,52
3,0	22	3,6	2,03	2,60	0,63	6	2	2	8,48	8,00	1,20 / 0,97	1,09 / 0,86
4,0	26	4,6	3,04	3,77	0,78	6	2	2	12,19	11,59	1,95 / 1,70	1,81 / 1,56
5,0	29	5,6	4,13	5,00	1,00	6	2	2	16,21	15,45	2,66 / 2,66	2,49 / 2,49

Märkus. Lugejas on armatuuri kulu avaehitisele koormuste *H*-18 ja *HK*-80 ning *H*-13 ja *HГ*-60 puhul. Nimetajas on armatuuri kulu avaehitistele koormuste *H*-10 ja *HГ*-60 puhul.

Pärast üldava leidmist järgneb üksikutesse avadesse jaotamine (üksikasjaline hüdrauliline arvutus on antud § 5-11).

Sõidutee kõrguse määramine. $H = y +$ tagavara tehniliste tingimuste (TT) järgi + avaehitise kõrgus.

Tabel 14-12

Põhilisi näitajaid siseteedel kasutatavate monteeritavate raudbetoon-tüüpsildade kohta
(koormusele *H*-8 ja *H*-30, gabariidile *Г*-7)

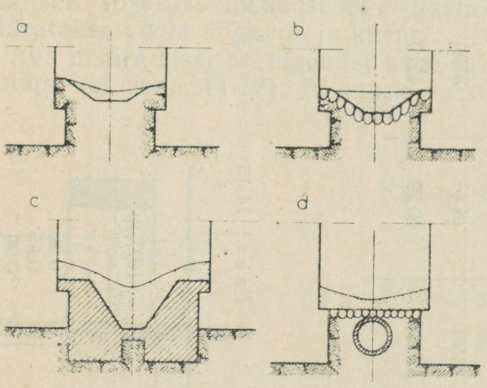
Skeem	Silla pikkus (m)	Konstruktiivseid andmeid						Töö mahte				
		Ehituskõrgus (m)		Avad (m)		Elemendi max kaal (t)	Kandeava l_k	Sillad vaitugedel		Sillad raamtugedel		Tsementsegu (m³)
		üldine	plaadi paksus	B_{min}	B_{max}			betooni (m³)	armatuuri (kg)	betooni (m³)	armatuuri (kg)	
I	5,0	0,39	0,26	2,38	3,38	3,20	—	16,94	2100	18,59	1550	4,00
I	6,0	0,39	0,26	3,38	4,38	3,83	—	19,00	2600	21,65	2050	4,80
I	7,0	0,39	0,26	4,38	5,38	4,46	—	20,90	3000	22,55	2450	5,60
II	10,0	0,39	0,26	5,38	8,38	3,20	5,0	30,35	3560	32,36	2730	8,00
II	12,0	0,39	0,26	8,38	10,38	3,80	6,0	34,45	4550	36,46	3720	9,60
II	14,0	0,39	0,26	10,38	12,38	4,46	7,0	38,20	5350	40,29	4510	11,20

Tabel 14-13

μ väärtused

Läviste tüüp	Avad		
	4,0 m	6,0 m	10,0 m
Erilised voolujoonelised kivistlävised	0,95	0,95	0,96
Portaallävised	0,85	0,85	0,85
Koonused	0,90	0,90	0,90

Tagavarad TT järgi on järgmised:
0,25 m — perioodiliselt töötavatel veejuhtmetel;
0,50 m — teistel veejuhtmetel;
0,75 m — jääminekuga veejuhtmetel arvates jääminеku kõrgperioodi nivoost.



Joonis 14-18. Sillaaluse süvendus- ja kindlustusviise:
a — süvend kindlustiseta; *b* — süvend kivikindlustisega; *c* — süvend ja kindlustus tugimüüridega; *d* — süvend ja raudbetoontoru paigaldamine sillaalusesse.

Sillaaluse süvendamine ja kindlustamine. Sillaaluse süvendamisel on põhinõudeks, et sild ei satuks süvendamise tõttu varisemisohtu. Mida suurem on silla ava, seda ohutum on süvendus. Sillaalust süvendatakse peamiselt kolmel viisil:

1) süvendit ei kindlustata (voolu kiirus jääb lubatud piiridesse);

2) süvend kindlustatakse mätastuse, kivide või betooniga (voolu kiirus on lubatavast suurem);

3) süvendamisega üheaegselt ehitatakse kindlustavad konstruktsioonid (tugiseinad, sammaste alla täiendavad ehitised, riivtoed, paigutatakse avasse raudbetoontoru jne.).

Süvendi põhi peab olema sellisel kõrgusel, et samba vundament (tald) ei satuks külmumise ega varisemise ohtu.

Sageli ehitatakse avasse raudbetoontoru, mis on mõeldud väikeste vooluhulkade läbilaskmiseks. Kevadise maksimaalse vooluhulga puhul töötavad ava ja toru koos (vt. joon. 14-18).

§ 14-3. TRUUBID

Truup on torukujuline konstruktsioon vee läbilaskmiseks teemuldest, mis mullet ei katkesta ja mille minimaalne kate on 0,5 m. Truubid on mõeldud väikese vooluhulga läbilaskmiseks.

Katkestamata mulle truubi peal võimaldab ühe ja sama teekattematerjali kasutamist ning vähendab liikluse dünaamilist mõju.

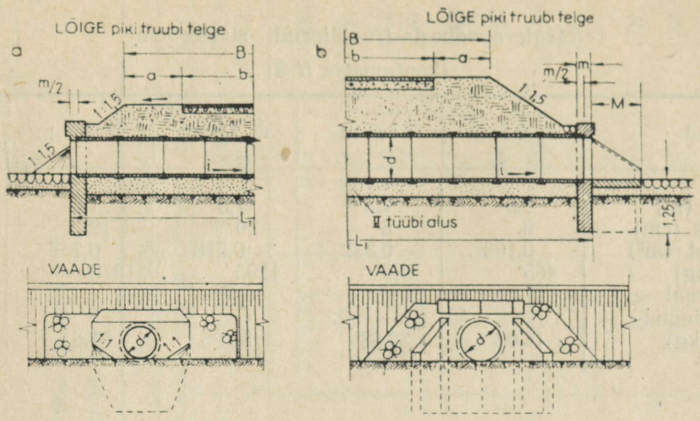
Truup võib olla ümmarguse, ovoidaalse, nelinurkse ja kolmnurkse ristlõikega. Truubi ehitusmaterjaliks on: kivi, betoon, raudbetoon, puit ja harva ka raud (raudtoru muldes).

Levinumad on ümmargused raudbetoontorudest truubid läbimõõduga 0,5, 0,75, 1,0 ja 1,25 m ning toru pikkusega 1,0 m.

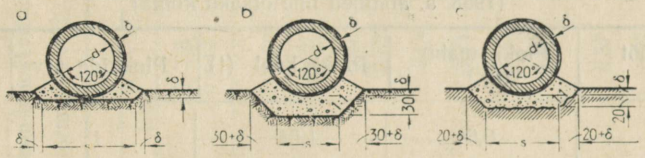
«Sojuzdorprojekt» on koostanud (1954. a. ja 1958. a.) torutruupide tüüpprojektid (vt. tab. 14-15, -17, -18 ja joon. 14-19, -20, -21, -22). Torutruubid läbimõõduga 0,5 m on mõeldud teekraavide jaoks, kuid neid võib kasutada ka kohalikel ning siseteedel. Torud 0,5 m on ühekordse armatuuriga, kuna suurema läbimõõduga torud on kahekordse armatuuriga.

«Rosgiprovodhoz» on (1957. a.) spetsiaalselt maaparandusobjektide siseteede jaoks koostanud torutruupide tüüpprojektid, milles esinevad truubi läbimõõdud 0,6, 0,8, 1,0, 1,2 ja 1,5 m (vt. tab. 14-16).

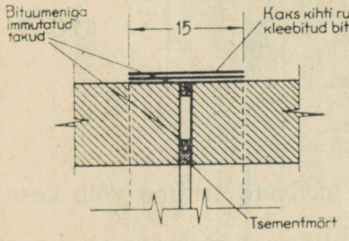
«Eesti Põllumajandusprojekt» koostas korduvalt kasutatavad projektid raudbetoontruupide kohta (vt. tab. 14-19, -20 ja joon. 14-23). Neis on ette nähtud ehitada truubid «Sojuzdorprojekti» poolt esi-



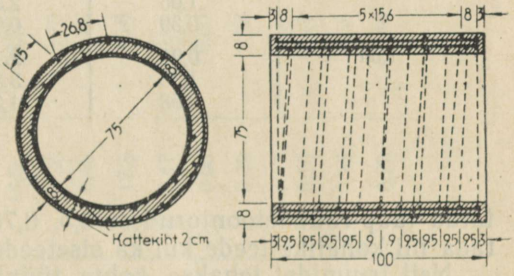
Joonis 14-19. «Sojuzdorprojekti» raudbetoontruupide tüübid:
a — portaalotsakuga (kasutatakse truupide puhul ∅ 0,5 . . . 0,75 m); *b* — tiibmüüridega (kasutatakse truupide puhul ∅ 1,0 . . . 1,5 m).



Joonis 14-20. Truubi alused:
a — I alusetüüp, kasutatav rähksetes, kruusa- ja liivapinnastes; *b* — II alusetüüp, kasutatav savi-, liivsavi- ja savililvpinnastes; *c* — III alusetüüp, kasutatav kaljupinnastes.



Joonis 14-21. Raudbetoontruubi torude liidus.



Joonis 14-22. Raudbetoontoru armatuur «Sojuzdorprojekti» andmeil (1954. a.).

Tabel 14-15

«Sojuzdorprojekti» truubitorud maanteedele

(koormusele *H*-13, *НГ*-60 ja *H*-18, *НК*-80)

Näitajad	∅ 0,5 m	∅ 0,75 m	∅ 1,0 m	∅ 1,25 m	∅ 1,50 m
Toru pikkus (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Seina paksus (cm)	8	8	9	10	12
Betooni maht (m^3)	0,15	0,21	0,31	0,42	0,60
Toru kaal (kg)	374	540	795	1103	1570

Tabel 14-16

«Rosgiprovodhozi» truubitorud siseteedele

(koormusele *H*-8)

Näitajad	Ø 0,6 m	Ø 0,8 m	Ø 1,0 m	Ø 1,2 m	Ø 1,5 m
Toru pikkus (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Seina paksus (cm)	6	8	10	12	14
Betooni maht (m^3)	0,186	0,332	0,518	0,747	1,084
Toru kaal (kg)	465	830	1295	1870	2710
Armatuuri kaal koos sidumistraadiga (kg)	14,09	30,63	50,95	51,61	73,45

Tabel 14-17

«Sojuzdorprojekti» monteeritavad betoonist otsakute plokid

(1958. a. andmed ühe otsaku kohta)

Toru läbimõõt (m)	Ploki maht (m^3)	Ploki kaal (t)	Plokkide arv	Plokkide maht (m^3)
0,5	0,64	1,54	1	0,64
0,75	1,23	2,96	1	1,23
1,0	0,62	1,49	2	3,14
	0,73	1,75	2	
	0,22	0,53	2	
1,25	0,79	1,90	2	4,46
	1,05	2,52	2	
	0,39	0,94	2	
1,50	0,91	2,18	2	5,74
	1,38	3,31	2	
	0,58	1,39	2	

tatud tüüp-raudbetoontorudest 0,5, 0,75 ja 1,0 m. Neid truupe võib kasutada nii kohalike teede kui ka siseteede jaoks.

Neil truupidel tehakse kahte tüüpi otsakuid: a) seinmätastusest ja b) kuivmüüritisest.

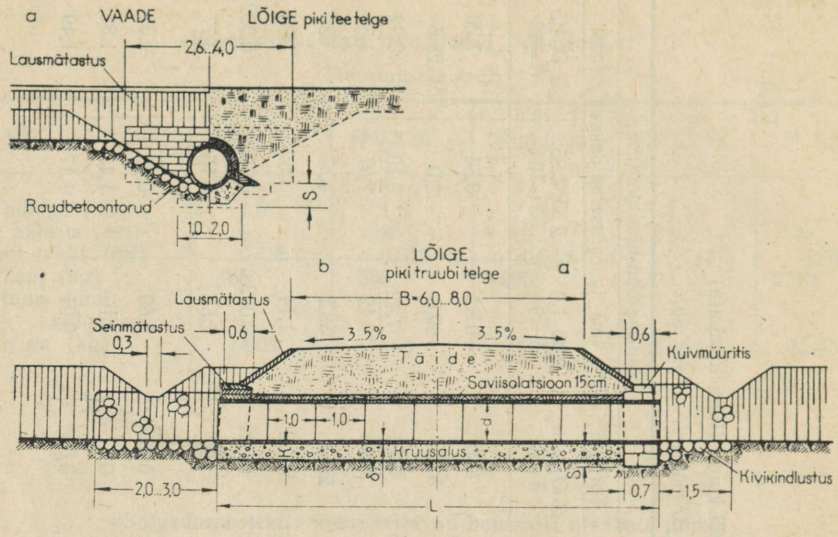
Kohalike teede truupidel on kaks kruusaluse (padja) tüüpi: I tüüp — 0,30 m paksune ja II tüüp — õhuke külgalus.

Tabel 14-18

Materjalide kulu 1 m raudbetoontruubi ja raudbetoon-binokkeltruubi kohta (ilma otsakuta)

(«Sojuzdorprojekti» 1958. a. tüüpprojekti järgi koormusele *H*-13, *НГ*-60 ja *H*-18, *НК*-80)

Materjali nimetus	Mõõt-ühik	Raudbetoontruup					Raudbetoon-binokkeltruup			
		Toru läbimõõt (m) ja toruseina paksus (cm)					Toru läbimõõt (m) ja toruseina paksus (cm)			
		Ø 0,5 δ=8	Ø 0,75 δ=8	Ø 1,0 δ=9	Ø 1,25 δ=10	Ø 1,5 δ=12	2 Ø 0,75 δ=8	2 Ø 1,0 δ=9	2 Ø 1,25 δ=10	2 Ø 1,5 δ=12
Betoon	m³	0,15	0,21	0,31	0,42	0,60	0,42	0,62	0,84	1,20
Armatuur	kg	4,0	18,6	34,9	51,0	64,3	37,2	69,8	102,0	128,6
Liiduste isolatsioon, selleks:	m / m²	2,07 / 0,31	2,86 / 0,46	3,70 / 0,56	4,55 / 0,69	5,46 / 0,82	5,72 / 0,86	7,42 / 1,12	9,10 / 1,37	10,92 / 1,64
a) bituumenit	kg	11,2	12,8	16,6	20,4	24,4	25,6	33,2	40,7	48,7
b) takku	kg	0,33	0,47	0,57	0,76	0,93	0,9	1,14	1,52	1,86
c) tsementmörti	m³	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
d) ruberoidi	m²	0,71	0,99	1,28	1,58	1,89	1,97	2,56	3,15	3,77
Liiv-, kruus- või killustikalus, I tüüp	m³	0,06	0,10	0,19	0,27	0,37	0,32	0,60	0,80	1,01
II „	m³	0,16	0,35	0,55	0,75	0,97	0,77	1,16	1,48	1,87
III „	m³	0,17	0,29	0,46	0,61	0,79	0,60	0,91	1,17	1,49



Joonis 14-23. Raudbetoontorutruupide skeem kohalike ja siseteede jaoks (tüübid TM, TK, STM ja STK):
a — kuivmüüritisest otsakutega; *b* — mätastest otsakutega.

Tabel 14-19

Põhilisi näitajaid kohalikel teedel kasutatavate raudbetoontruupide kohta
(mulde laius 7,5 m)

Truubi tähistus	Truubi mõõtmed			Tööde mahud ühe truubi kohta					
	läbimõõt (m)	kõrgus *H* (m)*	Pikkus *L* (m)	raud-betoon-torusid (m^3/m)	kruusalus (m^3)**	sein-mätas-tus (m^2)	savi-isolat-sioon (m^3)	kuiv-müüri-tis (m^3)	jätku-de iso-leeri-mine (m^2)
TM 50 I-150	0,5	1,5	10,0	1,5 /10,0	2,3/0,9	6,0	2,1	—	2,9
TM 50 I-200	0,5	2,0	11,0	1,65/11,0	2,6/1,0	6,0	2,4	—	3,2
TM 75 I-150	0,75	1,5	10,0	2,1 /10,0	4,6/1,5	8,0	2,7	—	4,0
TM 75 I-200	0,75	2,0	11,0	2,31/11,0	5,1/1,7	8,0	3,0	—	4,5
TK 75 I-150	0,75	1,5	10,0	2,1 /10,0	4,0/1,3	—	2,7	5,3	4,0
TK 75 I-200	0,75	2,0	11,0	2,31/11,0	4,5/1,5	—	3,0	5,3	4,5
TM 100 I-180	1,0	1,8	10,0	3,1 /10,0	7,2/2,8	12,0	3,5	—	5,5
TM 100 I-220	1,0	2,2	11,0	3,5 /11,0	8,0/3,1	12,0	4,0	—	6,0
TK 100 I-180	1,0	1,8	10,0	3,1 /10,0	6,5/2,6	—	3,5	7,5	5,5
TK 100 I-220	1,0	2,2	11,0	3,5 /11,0	7,2/2,8	—	4,0	7,5	6,0
BTM 100 I-180	2×1,0	1,8	10,0	6,2 /20,0	13,0/3,6	15,0	13,0	—	10,0
BTM 100 I-220	2×1,0	2,2	11,0	6,9 /22,0	14,3/4,0	15,0	14,3	—	11,5
BTK 100 I-180	2×1,0	1,8	10,0	6,2 /20,0	11,2/3,1	—	13,0	9,5	10,0
BTK 100 I-220	2×1,0	2,2	11,0	6,9 /22,0	12,5/3,5	—	14,3	9,5	11,5

* Toru põhja ja sõidutee kõrguse vahe.
** Mahud aluse I tüübi kohta (lugejas) ja II tüübi kohta (nimetajas).

Siseteedel kasutatakse väikeste vesikondade puhul betoonist muhvtorutruupe. Sobivamad läbimõõdud on 0,3 ja 0,4 m. Nendel truupidel peab olema kate vähemalt 0,6 m. Muhvtorutruupide konstruktsioon on samasugune kui raudbetoontruupidel.

Tabel 14-20

Põhilisi näitajaid siseteedel kasutatavate raudbetoontruupide kohta

(mulde laius 6,0 m)

Truubi tähistus	Truubi mõõtmed			Tööde mahud ühe truubi kohta					
	läbimõõt (m)	kõrgus H (m)*	pikkus L (m)	raudbetoontorusid (m³/m)	kruusalus (m³)	seinmätastus (m²)	saviisolatsioon (m³)	kuivmüüritis (m³)	jätkudeisoleerimine (m²)
STM 50/170	0,5	1,7	9,0	1,35/9,0	1,8	6,0	1,9	—	2,6
STM 50/200	0,5	2,0	10,0	1,5/10,0	2,0	6,0	2,1	—	2,9
STM 75/150	0,75	1,5	8,0	1,7/8,0	3,7	8,0	2,1	—	2,8
STM 75/200	0,75	2,0	9,0	1,9/9,0	4,1	8,0	2,4	—	3,2
STK 75/150	0,75	1,5	8,0	1,7/8,0	3,0	—	2,0	5,3	2,8
STK 75/200	0,75	2,0	9,0	1,9/9,0	3,5	—	2,3	5,3	3,2
STM 100/180	1,0	1,8	8,0	2,5/8,0	5,8	12,0	2,7	—	4,2
STM 100/220	1,0	2,2	9,0	2,8/9,0	6,5	12,0	3,1	—	4,8
STK 100/180	1,0	1,8	8,0	2,5/8,8	4,8	—	2,7	7,5	4,2
STK 100/220	1,0	2,2	9,0	2,8/9,0	5,5	—	3,1	7,5	4,8
STM 2×100/180	2×1,0	1,8	8,0	5,0/16,0	10,4	15,0	8,6	—	8,5
STM 2×100/220	2×1,0	2,2	9,0	5,6/18,0	11,7	15,0	10,0	—	10,0
STK 100/180	2×1,0	1,8	8,0	5,0/16,0	8,6	—	8,6	9,5	8,5
STK 2×100/220	2×1,0	2,2	9,0	5,6/18,0	10,0	—	10,0	9,5	10,0

* Toru põhja ja sõidutee kõrguse vahe.

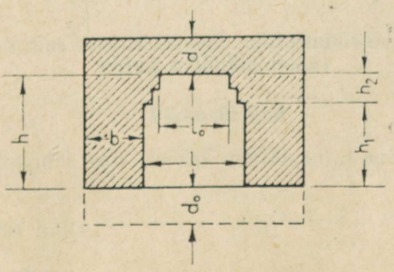
Kohtades, kus leidub paasi, on otstarbekohane kasutada siseteedele kuivmüüritisena laotud kivitruupe (vt. tab. 14-21 ja joon. 14-24). Kuivmüüritise vuugid täidetakse sambla või kanarbikuga. Nendel truupidel peab olema kate vähemalt 0,6 m.

Tabel 14-21

Andmeid paekivist kuivmüüritis-truupide kohta

(tähistused vt. joon. 14-24)

l (m)	h (m)	b (cm)	l_0 (m)	d (cm)	d_0 (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)
0,3	0,3	40	0,3	15	20	—	—
0,4	0,4	40	0,4	15	20	—	—
0,5	0,4	40	0,3	15	20	30	15
0,75	0,6	60	0,4	15	25	35	25



Joonis 14-24. Kuivmüüritisest truubi skeem.

KIRJANDUST

1. Гибшман Е. Е. Мосты. Москва, 1957.
2. Краткий справочник по малым мостам и трубам. Москва, 1956.
3. Кропотов И. И. Мосты и трубы. Москва, 1958.
4. Крутецки Е. В., Поливанов Н. И., Славуцкий А. К. Дороги и мосты. Москва, 1957.
5. Нормы и технические условия проектирования автомобильных дорог. Москва, 1955.
6. «Росгипроводхоз». Типовые проекты сооружений на осушительных системах. Трубчатые переезды из железобетона. Москва, 1957.
7. «Росгипроводхоз». Типовые проекты сооружений на осушительных системах. Трубчатые переезды из дерева. Москва, 1957.
8. Справочное руководство для дорожного мастера. Москва, 1954.
9. Справочник инженера дорожника. Москва, 1958.
10. Справочник по проектированию строительства и эксплуатации городских дорог, мостов и гидротехнических сооружений. Том I, Мосты. Москва, 1953.
11. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 73. Круглые железобетонные трубы отверстием 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и 1,5 м. Москва, 1958.
12. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск I. Мосты деревянные балочные. Москва, 1954.
13. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 29. Бетонные облегченные опоры малых мостов. Москва, 1956.
14. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 31. Железобетонные пролетные строения малых мостов. Москва, 1957.

MATEMAATILISI JA FÜÜSIKALISI TEATMEID

1. KONSTANTE

Matemaatilisi konstante

$\pi = 3{,}14159265$
$\pi^2 = 9{,}86960440$
$\sqrt{\pi} = 1{,}77245385$

$$e = \lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2{,}71828183$$

$\ln e = 1{,}000000$
$\log e = 0{,}43429448$

Füüsikalisi konstante

$g = 9{,}80616$ m/sek² (merepinnal 45-ndal laiuskraadil)

$\sqrt{2g} = 4{,}42945$
1 kW = 102 kgm/sek = 1,361 hj
1 hj = 75 kgm/sek = 736 W = 0,736 kW
1 atm (füüsikaline) = 760 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhk 1 cm² kohta 0° C temperatuuri juures = 1013,25 mb = 1,0333 kg/cm² = 10,33 m kõrguse veesamba rõhk 1 cm²-le.
1 at (tehniline) = 735,5 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhk 1 cm² kohta = 0,968 atm = = 1,000 kg/cm² = 10,000 m kõrguse veesamba rõhk 1 cm²-le

Vee kalkusühik

1 nõukogude kalkuskraad = 1 mg-ekv ehk 20,04 mg Ca või 12,16 mg Mg 1 l vee kohta (= 2,804 saksa, = 5,005 prantsuse, = 3,511 inglise kalkuskraadi)

2. MÕÕTÜHIKUTE VÕRDLUSI

(Klambrites on toodud võrdlus meetrisüsteemi mittekuuluvate ja vanade, varem kasutusel olnud mõõtühikutega)

Pikkusühikud

1 m = üks kümnemiljondik osa Pariisi meridiaani veerandist (= 3,281 jalga = 0,469 sülda) = 1,094 jardi
1 dm = 0,1 m
1 cm = 0,01 m (= 0,394 tolli)
1 mm = 0,1 cm
1 mikron (μ) = 0,001 mm
1 km = 1000 m (= 0,937 versta = 468,696 sülda) = 0,621 inglise miili = 0,540 meremiili
(1 penikoorem = 7 versta = 7,468 km)

(1 verst = 500 sülda = 1,067 km)
(1 süld = 3 arssinat = 7 jalga = 2,134 m)
(1 arssin = 16 verssokit = 28 tolli = 71,119 cm)
(1 verssok = 4,445 cm)
(1 jalg = 12 tolli = 30,48 cm)
(1 toll = 10 liini = 2,54 cm)
(1 küünar = 21 tolli = 53,34 cm)
(1 lõuna-eesti maamõõdu küünar = 2 jalga = 60,959 cm)
(1 jard = 3 jalga = 0,914 m)
(1 inglise miil = 1760 jardi = 1,609 km)
(1 meremiil = 1,853 km)

Pindalaühikud

1 m^2 (= 10,764 ruutjalga = 0,22 ruutsülda = 1,196 ruutjardi)
1 cm^2 (= 0,155 ruuttolli)
1 km^2 = 100 ha (= 0,879 ruutversta = 0,386 ruutmiili)
1 ha = 100 aari = 10000 m^2 (= 0,915 tiinu = 2196,76 ruutsülda = 2,691 riia vakamaad = = 5,492 tallinna vakamaad)
(1 tiin = 2400 ruutsülda = 2,94 riia vakamaad = 6 tallinna vakamaad = 1,093 ha)
(1 tallinna tündrimaa = 1200 ruutsülda = 3 tallinna vakamaad = 1,45 riia vakamaad = = 0,546 ha)
(1 tallinna vakamaa = 400 ruutsülda = 0,167 tiinu = 0,49 riia vakamaad = 0,182 ha)
(1 riia tündrimaa = 35 kapamaad = 14000 ruutküünart = 1,40 riia vakamaad = 0,520 ha)
(1 riia vakamaa = 25 kapamaad = 10000 ruutküünart = 40000 ruutjalga = 0,34 tiinu = 2,04 tallinna vakamaad = 0,372 ha)
(1 kapamaa = 1600 ruutjalga = 400 ruutküünart = 148,64 m^2)
(1 ruutküünar = 4 ruutjalga = 0,372 m^2)
(1 aaker = 4840 ruutjardi = 0,405 ha)
(1 ruutjard = 9 ruutjalga = 0,836 m^2)
(1 ruutmiil = 640 aakrit = 2,590 km^2)
(1 ruutjalg = 144 ruuttolli = 929,0 cm^2)
(1 ruuttoll = 6,451 cm^2)

Ruumalaühikud

1 m^3 (= 35,316 kuupjalga = 0,103 kuupsülda = 1,308 kuupjardi)
1 cm^3 (= 0,061 kuuptolli)
(1 kuupsüld = 343 kuupjalga = 9,712 m^3)
(1 kuupjard = 27 kuupjalga = 0,765 m^3)
(1 kuupjalg = 1728 kuuptolli = 0,028 m^3)
(1 kuuptoll = 16,387 cm^3)
1 hektoliiter (hl) = 10 dekaliitrit (dl) = 100 liitrit (l)
1 liiter = 10 detsiliitrit = 1000 cm^3 (= 0,813 toopi = 0,22 gallonit)
(1 vaat = 40 pange = 491,97 l)
(1 pang = 10 toopi = 12,299 l)
(1 toop = 4 kortlit = 1,23 l)
(1 setvert = 8 setverikku = 3 riia vakka = 6 tallinna vakka = 209,91 l)
(1 setverik = 8 karnitsat = 26,238 l)
(1 karnits = 2,67 toopi = 3,279 l)
(1 riia vakk = 6 külimittu = 54 toopi = 66,416 l)
(1 tallinna sälitis = 24 tündrit = 72 vakka)
(1 tallinna vakk = 3 külimittu = 36 toopi = 6 matti = 44,277 l)
(1 kvart = 8 bussélit = 290,79 l)
(1 bussél = 8 gallonit = 36,37 l)
(1 gallon = 4 kvarti = 4,547 l)

Kaaluühikud

1 g = 1 cm^3 puhta vee kaal temperatuuriga +4° C
1 kg = 1000 g (= 2,442 vene naela = 2,205 inglise naela)
1 t = 1000 kg (= 61,046 puuda)
(1 kaal = 10 puuda)
(1 puud = 2 punda ehk leisikat = 40 naela = 16,381 kg)
(1 nael = 32 loodi = 96 solotnikku = 409,528 g)

1 nõukogude tsentner = 100 kg
(1 saksa, šveitsi, taani tsentner = 50 kg)
(1 inglise tsentner = 50,80 kg)

3. ALGEBRALISI ANDMEID

Astmed

$x^a \cdot x^b = x^{a+b}$
$x^a : x^b = x^{a-b}$
$(x^a)^b = x^{ab}$
$x^a \cdot y^a = (xy)^a$
$x^a : y^a = (x : y)^a$
$\frac{1}{x^m} = x^{-m} = \left(\frac{1}{x}\right)^m$
$x^0 = 1$
$1^n = 1$
$0^n = 0$
$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$
$(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$
$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$

Juured

$\sqrt[n]{x} = x^{\frac{1}{n}}$
$\sqrt[m]{xy} = \sqrt[m]{x} \cdot \sqrt[m]{y}$
$\sqrt[n]{x : y} = \sqrt[n]{x} : \sqrt[n]{y}$
$\sqrt[n]{x^m} = x^{\frac{m}{n}}$
$\sqrt[a]{\sqrt[b]{x}} = \sqrt[ab]{x} = x^{\frac{1}{ab}} = \sqrt[b]{\sqrt[a]{x}}$

Logaritmid

Mingi arvu (b) logaritm (c) on astendaja, millega on vaja astendada alus (a), et saada see arv (b):

$$\log_a b = c; \quad a^c = b$$

Kümnend- ehk Briggs'i logaritmidel on aluseks arv 10 ja logaritmi märk on «log» Loomulikkude ehk naturaallogaritmide aluseks on arv e, mille suurus on

$$e = \lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

ja mille märk on «ln».

$\log 10 = 1$
$\log 10^2 = 2$
$\log 10^3 = 3$
$\vdots$
$\log 10^n = n$

$\log 1 = 0$
$\log 0{,}1 = -1$
$\log 0{,}01 = -2$
$\log 0{,}001 = -3$
jne.

Logaritmide omadusi

$$\log (a \cdot b \cdot c) = \log a + \log b + \log c$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

$$\log a^m = m \log a$$

$$\log \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \log a$$

Näiteid logaritmide rakendamise kohta arvude astendamisel ja juurimisel

Astendamine

Astendada $(4{,}93)^4$; $\log 4{,}93^4 = 4 \log 4{,}93 = 4 \cdot 0{,}69285 = 2{,}77140$.
Logaritmide tabelist saab sellele logaritmile vastava arvu 590,74; seega $(4{,}93)^4 = 590{,}74$.
Astendada $(0{,}00583)^3$; $\log (0{,}00583)^3 = 3 \log 0{,}00583 = 3 \cdot \overline{3}{,}76567 = 3 \cdot (-2{,}23433) =$
$= -6{,}70299 = \overline{7}{,}29701$.
Logaritmide tabelist leiame sellele vastava arvu 0,00000019815.
Seega $(0{,}00583)^3 = 0{,}00000019815 = 198{,}15 \cdot 10^{-9}$.

Juurimine

Juurida $\sqrt[3]{23{,}9}$; $\log (23{,}9)^{\frac{1}{3}} = \frac{1}{3}\log 23{,}9 = \frac{1}{3}\cdot 1{,}37840 = 0{,}45947$.

Logaritmide tabelist leiame sellele logaritmile vastava arvu 2,8806; seega $\sqrt[3]{23{,}9} = 2{,}8806$.

Juurida $\sqrt[5]{45967{,}48}$; $\log (45967{,}48)^{\frac{1}{5}} = \frac{1}{5}\log 45967{,}48 = \frac{1}{5}\cdot 4{,}66245 = 0{,}93249$.

Logaritmide tabelist leiame sellele logaritmile vastava arvu 8,5614; seega $\sqrt[5]{45967{,}48} = 8{,}5614$.

Juurida $\sqrt{0{,}0009765}$; $\log (0{,}0009765)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}\log 0{,}0009765 = \frac{1}{2}\cdot \bar{4}{,}98967 = \frac{1}{2}(-3{,}01033) =$

$= -1{,}50516 = \bar{2}{,}49484$.

Logaritmide tabelist leiame sellele logaritmile vastava arvu 0,03125; seega $\sqrt{0{,}0009765} = 0{,}03125$.

Võrrandite lahendamine

Esimese astme võrrand kahe tundmatuga:

$$\left.\begin{aligned} a_1x+b_1y+c_1=0 \\ a_2x+b_2y+c_2=0 \end{aligned}\right| \quad x=\frac{b_1c_2-c_1b_2}{a_1b_2-b_1a_2} \qquad y=\frac{a_1c_2-c_1a_2}{a_1b_2-b_1a_2}$$

Teise astme võrrand ühe tundmatuga:

$$ax^2+bx+c=0; \qquad x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a};$$

$$x^2+bx+c=0; \qquad x=-\frac{b}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2-c}.$$

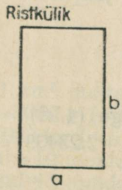
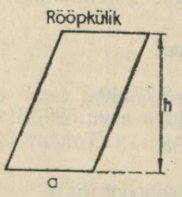
Teise astme võrrandi juured peavad rahuldama järgmisi tingimusi:

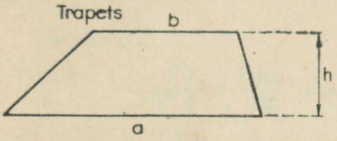
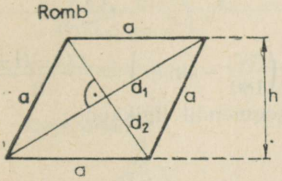
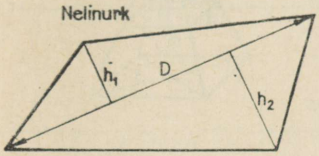
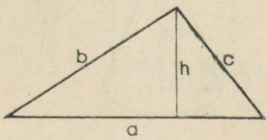
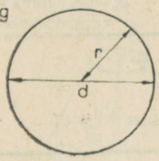
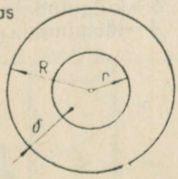
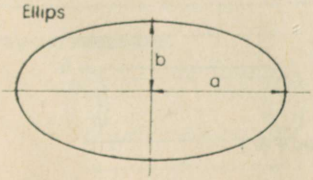
1) $x_1+x_2=-\frac{b}{a}$; $\quad x_1\cdot x_2=\frac{c}{a}$.

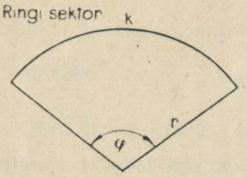
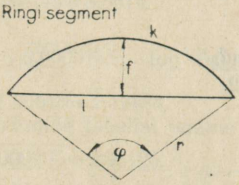
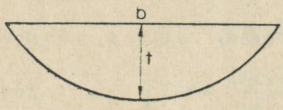
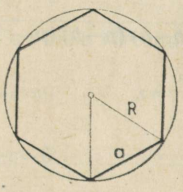
2) $x_1+x_2=-b$; $\quad x_1\cdot x_2=c$ (kui $a=1$).

4. PLANIMEETRIA

Tasapinnaliste geomeetriliste kujundite pindala

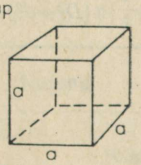
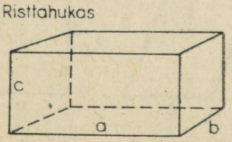
Kujund	Pindala F
Ristkülik  Rööpkülik 	Ristkülikul $F=a\cdot b$ Rööpkülikul $F=a\cdot h$

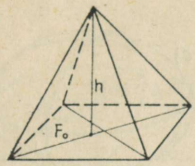
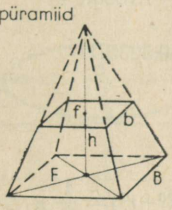
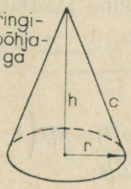
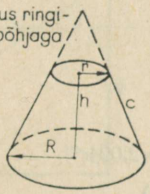
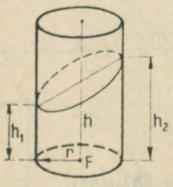
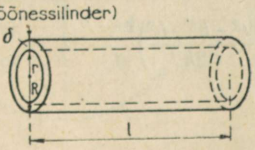
Kujud	Pindala F
Trapets 	$F = \frac{a+b}{2} h$
Romb 	$F = a \cdot h = \frac{d_1 d_2}{2}$
Nelinurk 	$F = \frac{h_1+h_2}{2} D$
Kolmnurk 	$F = \frac{ah}{2} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$, kus $p = \frac{a+b+c}{2}$
Ring 	$F = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854 d^2$
Rõngas 	$F = \pi(R^2 - r^2) = \frac{1}{4} \pi(D^2 - d^2) = \pi(R+r)\delta$
Ellips 	$F = \pi ab$

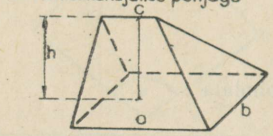
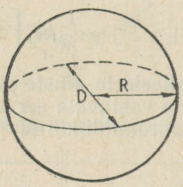
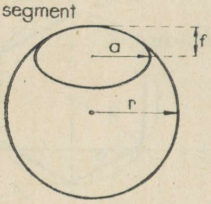
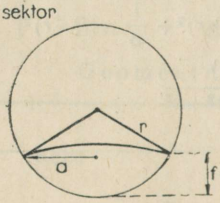
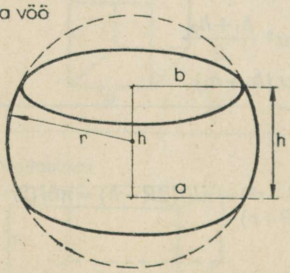
Kujund	Pindala F
Ringi sektor 	$F=\frac{1}{2}kr=\frac{\varphi\pi r^2}{360}=\frac{1}{2}\varphi r^2$
Ringi segment 	$F=\frac{1}{2}r^2\left(\frac{\pi\varphi}{180}-\sin\varphi\right)=\frac{r(k-l)+lf}{2}$ Lamedal segmendil ligikaudu: $F=\frac{2}{3}fl$
Parabooli segment 	$F=\frac{2}{3}bt$
Korrapärane kuusnurk 	$F=2{,}598\,R^2=2{,}598\,a^2$ $a=R$

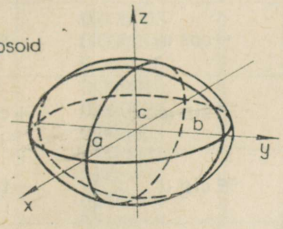
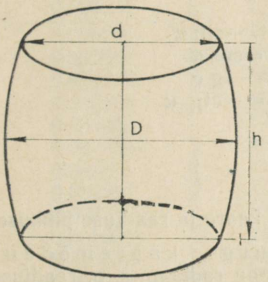
5. STEREOMEETRIA

Geomeetriliste kehade ruumala

Keha	V=ruumala S=külgpindala A=täispindala
Kuup 	$V=a^3$ $A=6a^2$
Risttahukas 	$V=abc$ $A=2(ab+ac+bc)$

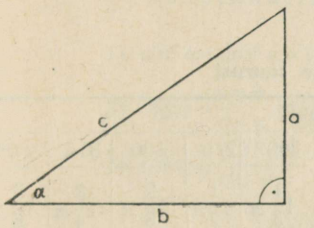
Keha	V = ruumala S = külgpindala A = täispindala
Püramiid 	$V = F_0 \cdot \frac{h}{3}$ F_0 — põhja pindala h — kõrgus
Tüvipüramiid 	$V = \frac{1}{3}h(F+f+\sqrt{Ff}) = \frac{1}{3}hF\left[1+\frac{b}{B}+\left(\frac{b}{B}\right)^2\right]$ F ja f — paralleelsete aluste pindalad B ja b — aluste vastavate servade pikkused h — tüvipüramiidi kõrgus
Koonus ringi-kujulise põhjaga 	$V = \pi r^2 \frac{h}{3}$ $S = \pi r\sqrt{r^2+h^2} = \pi rc$ $c = \sqrt{r^2+h^2}$
Tüvikoonus ringi-kujulise põhjaga 	$V = \frac{1}{3}h\pi(R^2+r^2+Rr) =$ $= \frac{h}{4}\left[\pi(R+r)^2+\frac{1}{3}\pi(R-r)^2\right]$ $S = \pi c(R+r)$ $c = \sqrt{(R-r)^2+h^2}$
Silinder 	Täissilinder $V = Fh = \pi r^2 h$ $S = 2\pi rh$; $A = 2\pi r(r+h)$ Tasapinnaga lõigatud silinder $V = \pi r^2 \frac{h_1+h_2}{2}$ $S = \pi r(h_1+h_2)$
Toru (õõnessilinder) 	$V = \pi l(R^2-r^2) = \pi l\delta(2R-\delta) = \pi\delta l(2r+\delta) =$ $= \pi\delta l(R+r)$

Keha	V=ruumala S=külgpindala A=täispindala
Kiil ristkülikukujulise põhjaga 	$V=\frac{bh}{6}(2a+c)$
Kera 	Täiskera $V=\frac{4}{3}\pi R^3=4{,}1888R^3=$ $=\frac{1}{6}\pi D^3=0{,}5236D^3$ $S=\pi D^2$ Õõneskera $V=\frac{4}{3}\pi(R^3-r^3)=\frac{1}{6}\pi(D^3-d^3)$ R ja D — väline raadius ja läbimõõt r ja d — sisemine raadius ja läbimõõt
Kera segment 	$V=\frac{1}{6}\pi f(3a^2+f^2)=\pi f^2\left(r-\frac{f}{3}\right)$ $S=2\pi rf=\pi(a^2+f^2)$ $a^2=f(2r-f)$
Kera sektor 	$V=\frac{2}{3}\pi r^2f=2{,}094r^2f$ $A=\pi r(2f+a)$
Kera vöö 	$V=\frac{1}{6}\pi h(3a^2+3b^2+h^2)$ $S=2\pi rh$ $r^2=a^2+\left(\frac{a^2-b^2-h^2}{2h}\right)^2$

Keha	V=ruumala S=külgpindala A=täispindala
Ellipsoid 	Kolmeteljeline ellipsoid: $V=\frac{4}{3}\pi abc=4{,}189abc$ Pöördellipsoid: pöörlemisel x-telje ümber $V=\frac{4}{3}\pi ab^2$ pöörlemisel y-telje ümber $V=\frac{4}{3}\pi a^2c$
Tünn 	Elliptilise küljekumeruse puhul: $V=\frac{\pi h}{12}(2D^2+d^2)$ Ringi kaare kujulise küljekumeruse puhul: $V\approx 0{,}262h(D^2+d^2)$ Paraboolse küljekumeruse puhul: $V=\frac{\pi h}{15}\left(2D^2+Dd+\frac{3}{4}d^2\right)$

6. TRIGONOMEETRIA (TASAPINNALINE)

Mõisted

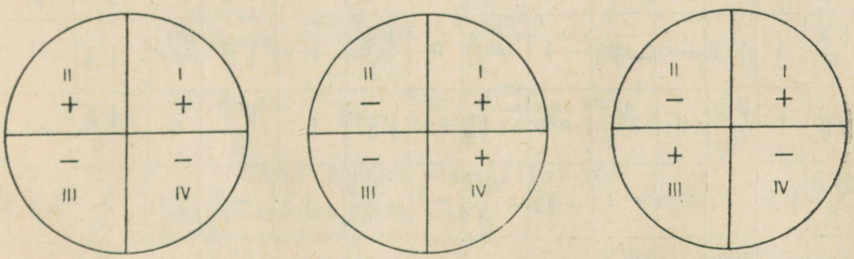


$\sin\alpha=\frac{a}{c}$ $\quad \operatorname{tg}\alpha=\frac{a}{b}$

$\cos\alpha=\frac{b}{c}$ $\quad \operatorname{ctg}\alpha=\frac{b}{a}$

$\sec\alpha=\frac{c}{b}$ $\quad \operatorname{cosec}\alpha=\frac{c}{a}$

Trigonomeetriliste funktsioonide märk



sin ja cosec cos ja sec tg ja ctg

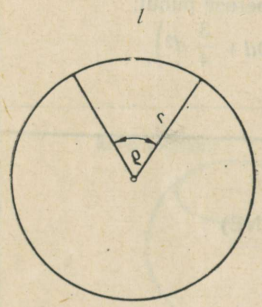
Funktsioonide suurus

Funktsioon	$\beta = 90° \pm \alpha$	$\beta = 180° \pm \alpha$	$\beta = 270° \pm \alpha$	$\beta = 360° \pm \alpha$
$\sin \beta$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$
$\cos \beta$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$+\cos \alpha$
$\operatorname{tg} \beta$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg} \beta$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$

$\sin(360° \cdot n + \alpha) = \sin \alpha$
$\cos(360° \cdot n + \alpha) = \cos \alpha$
$\operatorname{tg}(180° \cdot n + \alpha) = \operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg}(180° \cdot n + \alpha) = \operatorname{ctg} \alpha$

$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$
$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$
$\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg}(-\alpha) = -\operatorname{ctg} \alpha$

Kaaremõõt



Kesknurga kaare ja raadiuse pikkuse suhet $\left(\frac{l}{r}\right)$ nimetatakse nurga kaaremõõduks. Kaaremõõdu ühikuks on radiaan, s. o. raadiuse pikkusega võrdsele kaarele toetuva kesknurga suurus = $= 57°17'44'',8 = 3437',747 = 206264'',8$.

$1° = 0{,}017453$ rad.

Nurkade trigonomeetriliste funktsioonide suurusi

Funktsioon	Nurga suurus																
	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°	210°	225°	240°	270°	300°	315°	330°	360°
	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{3}{4}\pi$	$\frac{5}{6}\pi$	π	$1\frac{1}{6}\pi$	$1\frac{1}{4}\pi$	$1\frac{1}{3}\pi$	$1\frac{1}{2}\pi$	$1\frac{2}{3}\pi$	$1\frac{3}{4}\pi$	$1\frac{5}{6}\pi$	2π
sin	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
tg	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0
ctg	$\mp\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\mp\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	$\mp\infty$
sec	1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{2}$	2	$\pm\infty$	-2	$-\sqrt{2}$	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$-\sqrt{2}$	-2	$\mp\infty$	2	$\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	1
cosec	$\mp\infty$	2	$\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{2}$	2	$\pm\infty$	-2	$-\sqrt{2}$	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$-\sqrt{2}$	-2	$\mp\infty$

Tabel kraadimõõdus antud nurkade ümberarvutamiseks radiaanidesse
(I. N. Bronšteini ja K. A. Semendjajevi järgi)

Kraadimõõdus	Radiaanides	Kraadides	Radiaanides	Kraadides	Radiaanides
1″	0,000005	1°	0,017453	31°	0,541052
2	0,000010	2	0,034907	32	0,558505
3	0,000015	3	0,052360	33	0,575959
4	0,000019	4	0,069813	34	0,593412
5	0,000024	5	0,087266	35	0,610865
6	0,000029	6	0,104720	36	0,628319
7	0,000034	7	0,122173	37	0,645772
8	0,000039	8	0,139626	38	0,663225
9	0,000044	9	0,157080	39	0,680678
10	0,000048	10	0,174533	40	0,698132
20	0,000097	11	0,191986	45	0,785398
30	0,000145	12	0,209440	50	0,872665
40	0,000194	13	0,226893	55	0,959931
50	0,000242	14	0,244346	60	1,047198
1′	0,000291	15	0,261799	65	1,134464
2	0,000582	16	0,279253	70	1,221730
3	0,000873	17	0,296706	75	1,308997
4	0,001164	18	0,314159	80	1,396263
5	0,001454	19	0,331613	85	1,483530
6	0,001745	20	0,349066	90	1,570796
7	0,002036	21	0,366519	100	1,745329
8	0,002327	22	0,383972	120	2,094395
9	0,002618	23	0,401426	150	2,617994
10	0,002909	24	0,418879	180	3,141593
20	0,005818	25	0,436332	200	3,490659
30	0,008727	26	0,453786	250	4,363323
40	0,011636	27	0,471239	270	4,712389
50	0,014544	28	0,488692	300	5,235988
		29	0,506145	360	6,283185
		30	0,523599		

Tasapinnalise trigonomeetria põhivalemeid

1) $\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$;

2) $\operatorname{tg}\alpha=\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$;

3) $\operatorname{ctg}\alpha=\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha}=\dfrac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$;

4) $1+\operatorname{tg}^2\alpha=\dfrac{1}{\cos^2\alpha}=\sec^2\alpha$;

5) $\sec\alpha=\dfrac{1}{\cos\alpha}$;

6) $\operatorname{cosec}\alpha=\dfrac{1}{\sin\alpha}$;

7) $1+\operatorname{ctg}^2\alpha=\dfrac{1}{\sin^2\alpha}=\operatorname{cosec}^2\alpha$;

8) $\sin\alpha=\sqrt{1-\cos^2\alpha}=\dfrac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}}=\dfrac{1}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\alpha}}$;

9) $\cos\alpha=\sqrt{1-\sin^2\alpha}=\dfrac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}}=\dfrac{\operatorname{ctg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\alpha}}$;

10) $\operatorname{tg}\alpha=\dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}=\dfrac{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}{\cos\alpha}=\dfrac{1}{\operatorname{ctg}\alpha}$;

11) $\operatorname{ctg}\alpha=\dfrac{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}{\sin\alpha}=\dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}=\dfrac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$.

Kahe nurga funktsioonid

1) $\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta$;
2) $\cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta$;
3) $\operatorname{tg}(\alpha\pm\beta)=\dfrac{\operatorname{tg}\alpha\pm\operatorname{tg}\beta}{1\mp\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}$;

4) $\operatorname{ctg}(\alpha\pm\beta)=\dfrac{\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}\beta\mp1}{\operatorname{ctg}\beta\pm\operatorname{ctg}\alpha}$.

Poolnurga funktsioonid

$$1)\ \sin\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}}$$

$$2)\ \cos\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$$

$$3)\ \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha}=\frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}=\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}}$$

$$4)\ \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}=\frac{\sin\alpha}{1-\cos\alpha}=\frac{1+\cos\alpha}{\sin\alpha}=\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}$$

Kahekordse nurga funktsioonid

1) $\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha$
2) $\cos 2\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha=1-2\sin^2\alpha=2\cos^2\alpha-1$

$$3)\ \operatorname{tg}2\alpha=\frac{2\operatorname{tg}\alpha}{1-\operatorname{tg}^2\alpha}$$

$$4)\ \operatorname{ctg}2\alpha=\frac{\operatorname{ctg}^2\alpha-1}{2\operatorname{ctg}\alpha}$$

Funktsioonide summa ja vahe

$$1)\ \sin\alpha+\sin\beta=2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$2)\ \sin\alpha-\sin\beta=2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$3)\ \cos\alpha+\cos\beta=2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$4)\ \cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$5)\ \operatorname{tg}\alpha\pm\operatorname{tg}\beta=\frac{\sin(\alpha\pm\beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$$

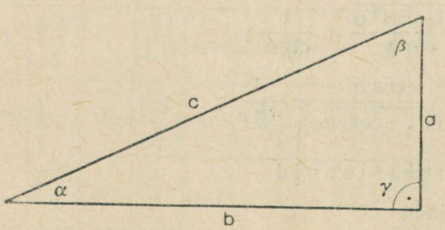
$$6)\ \operatorname{ctg}\alpha\pm\operatorname{ctg}\beta=\pm\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha\sin\beta}$$

Funktsioonide astmeid

$$1)\ \sin^2\alpha=\frac{1-\cos 2\alpha}{2};\qquad 2)\ \cos^2\alpha=\frac{1+\cos 2\alpha}{2};$$

$$3)\ \sin^3\alpha=\frac{3\sin\alpha-\sin 3\alpha}{4};\qquad 4)\ \cos^3\alpha=\frac{\cos 3\alpha+3\cos\alpha}{4}.$$

Täisnurkne kolmnurk



a ja b — kaatetid
c — hüpotenuus
α — kaateti a vastas olev nurk
β — „ b „ „ „
γ — hüpotenuusi vastas olev nurk (täisnurk)
F = kolmnurga pindala

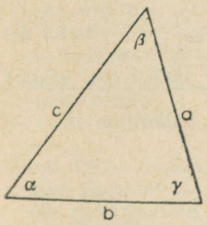
Põhivalemid:

1) $a=c\sin\alpha=b\operatorname{tg}\alpha$
2) $b=c\cos\alpha=a\operatorname{ctg}\alpha$
3) $a^2+b^2=c^2$

Täisnurkse kolmnurga lahendamine

Antud suurused	Otsitavad suurused	Valemid otsitavate suuruste leidmiseks	
a, c	b, F	$b=\sqrt{c^2-a^2}$;	$F=\frac{a}{2}\sqrt{c^2-a^2}$
	α, β	$\sin\alpha=\frac{a}{c}$;	$\beta=90°-\alpha$
a, b	c, F	$c=\sqrt{a^2+b^2}$;	$F=0{,}5\,ab$
	α, β	$\operatorname{tg}\alpha=\frac{a}{b}$;	$\beta=90°-\alpha$
a, α	b, c	$b=a\operatorname{ctg}\alpha$;	$F=\frac{a^2\operatorname{ctg}\alpha}{2}$
	β, F	$c=\frac{a}{\sin\alpha}$;	$\beta=90°-\alpha$
b, α	a, c	$a=b\operatorname{tg}\alpha$;	$F=\frac{b^2\operatorname{tg}\alpha}{2}$
	β, F	$c=\frac{b}{\cos\alpha}$;	$\beta=90°-\alpha$
c, α	a, b	$a=c\sin\alpha$; $b=c\cos\alpha$;	$\beta=90°-\alpha$
	β, F	$F=\frac{c^2\sin\alpha\cos\alpha}{2}=\frac{c^2\sin 2\alpha}{4}$	

Teravnurkne kolmnurk



a, b ja c — kolmnurga küljed; α, β ja γ — vastavate külgede vastasnurgad; $p=\frac{a+b+c}{2}$ = pool perimeetrit.

Põhivalemeid

1) siinuslause $\frac{a}{\sin\alpha}=\frac{b}{\sin\beta}=\frac{c}{\sin\gamma}$

2) koosinuslause $a^2=b^2+c^2-2bc\cos\alpha$

3) tangenslause $\frac{a+b}{a-b}=\frac{\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\alpha+\beta)}{\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\alpha-\beta)}$

4) $a=b\cos\gamma+c\cos\beta$

5) $b=c\cos\alpha+a\cos\gamma$

6) $c=a\cos\beta+b\cos\alpha$

7) $\operatorname{tg}\alpha=\frac{a\sin\gamma}{b-a\cos\gamma}=\frac{a\sin\beta}{c-a\cos\beta}$

8) $\sin\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}$

9) $\cos\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{p(p-a)}{bc}}$

$$10)\quad \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}$$

$$11)\quad \frac{a+b}{c}=\frac{\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\right]}{\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\right]}=\frac{\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\right]}{\sin\frac{1}{2}\gamma}$$

$$12)\quad \frac{a-b}{c}=\frac{\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\right]}{\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\right]}=\frac{\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\right]}{\cos\frac{1}{2}\gamma}$$

Tasapinnalise kolmnurga kuuest elemendist (3 külge ja 3 nurka) peab olema teada kolm elementi, neist vähemalt üks külg. Neid elemente teades on võimalik arvutuse teel leida ülejäänud elemendid.

Teravnurkse kolmnurga lahendamine

Antud suurused	Otsitavad suurused	Valemid otsitavate suuruste leidmiseks
a, b ja c (kõik kolm külge)	α	$\cos\alpha=\frac{b^2+c^2-a^2}{2bc}$ ehk, kasutades põhivalemeid 8...10:
	β	$\sin\beta=\frac{b\sin\alpha}{a}$ ehk $\sin\frac{\beta}{2}=\sqrt{\frac{(p-\alpha)(p-c)}{ac}}$
	γ	$\gamma=180°-(\alpha+\beta)$ ehk $\sin\frac{\gamma}{2}=\sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{ab}}$
	F	$F=\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$
a, b ja α (kaks külge ja ühe külje vastasnurk)	β	$\sin\beta=\frac{b\sin\alpha}{a}$
	γ	$\gamma=180°-(\alpha+\beta)$
	c	$c=\frac{a\sin\gamma}{\sin\alpha}=\frac{b\sin\gamma}{\sin\beta}=\sqrt{a^2+b^2-2ab\cos\gamma}$
	F	$F=\frac{ab\sin\gamma}{2}$
a, b ja γ (kaks külge ja nende vahel olev nurk)	α	$\operatorname{tg}\alpha=\frac{a\sin\gamma}{b-a\cos\gamma}$
	β	$\beta=180°-(\alpha+\gamma)$
	c	$c=\sqrt{a^2+b^2-2ab\cos\gamma}$
	F	$F=\frac{ab\sin\gamma}{2}$
a, α ja β (üks külg ja kaks nurka)	b	$b=\frac{a\sin\beta}{\sin\alpha}$
	c	$c=\frac{a\sin\gamma}{\sin\alpha}=\frac{a\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha}$
	γ	$\gamma=180°-(\alpha+\beta)$
	F	$F=\frac{ab\sin\gamma}{2}$

LISA 2

VALIMIK MAAPARANDUSALASEID TERMINEID

Märkused. Umarsulgudesse () on paigutatud sõna tähendust selgitav tekst; nurksulgudesse [] paigutatud sõnad selgitavad vastava sõna tarvitamist lauses; loogelistesse sulgudesse { } on paigutatud sõnad või vormid, mille tarvitamine pole soovitatav.

Sünonüümid on esitatud koos ning on üksteisest eraldatud komaga.

~=sõna asendusmärk;

◡=eelnev sõna kirjutatakse järgnevaga kokku.

A

abikaeve — прикоп
agromelioratiivne — агромелиоративный
agromelioratsioon — агромелиорация
agro-metsamelioratsioon — агролесомелиорация
ahenduskoefitsient {kitsenduskoefitsient} — коэффициент сжатия
ahenemine [voolu~] — сжатие [потока]
ahenenud elavlõige — сжатое сечение [потока, струи]
aja kasutamise tegur — коэффициент использования времени
ajutine liigniiskus — временно избыточное увлажнение
aktiivne mullakiht — активный слой почвы
akvedukt — акведукт
alaline liigniiskus — постоянное избыточное увлажнение
alamjooks [jõe~] — низовье, нижнее течение [реки]
alandamine [põhjavee~] — водопонижение
alang — 1. впадина, грабен; 2. спад [воды]
alavesikond — частный водосбор
allikakaev — ключевой колодец
allikaline ala — ключевая местность
allikaline toitumine — ключевое питание
allikas — ключ, источник, родник
allikasoo — ключевое болото
alluviaal- — аллювиальный
altuputus — подтопление
alus — основание
alusmatid (ekskavaatoril) — слани (экскаватора)
aluspinnas — подстилающий грунт
aluspõhjakivim, aluskivim — коренная порода
alus savitorudele (pehmes pinnases) — подкладка для гончарных трубок
alusturvas (allapanuturvas) — подстилочный торф
angldooser — энглдозер
ankurkänd — якорный пень
ankurvai — якорная свая
arhimeedese kruvi — архимедов винт
arteesiavesi (surveline põhjavesi) — артезианская вода
arumaa — суходол
arvutuslik — расчетный
asendikõrgus — высота положения
astang — перепад [канала]
astangkaev — перепадный колодец
aste — уступ, ступень
atmosfääriveega toitumine — атмосферное питание
auramismõõtja, evaporomeeter — испаритель
ava — отверстие; пролет
avaehitis [silla~] — пролетное строение [моста]

B

bager, koppsüvendaja — землечерпалка
batomeeter (uhtmerüüdja) — батометр
{berm} vt. perv
bief — бъеф
buldooser — бульдозер
bussool — буссоль
buun, põiktamm — буна, полузапруда

D

deebit (veetoodang) — дебит [воды]
deluviaal- — делювиальный
depressioonikõver — депрессионная кривая
depressioonilehter — воронка депрессии
derivatsioonikanal — деривационный канал
detailuurimine — детальное изыскание
detailvõrk [kuivendussüsteemi ⌣] — регулирующая сеть [осушительной системы]
diatomiitsapropeel — диатомовый сапропель
ditšer — обратная лопата
draglain — драглайн
dreen — [осушительная] дрена
dreener, mutt — дренер
dreenide vahekaugus — расстояние между дренами
dreenide ühendamine kollektoriga — сопряжение дрен с коллектором
dreenimine — дренирование
dreeniv materjal — дренирующий материал
dreennііsutus — дренажное орошение
drenaaž — дренаж
drenaažidüüker — дренажный дюкер
⌣ ⌣ekskavaator — дренажный экскаватор
⌣ ⌣kaev — дренажный колодец
⌣ ⌣kaevik — дренажная траншея
⌣ -ketasfreesmasin — дренажно-дисковая машина
⌣ -muttader — дренажно-кротовый плуг
⌣ ⌣suue — дренажное устье
⌣ ⌣süsteem — дренажная система
⌣ ⌣torud — дренажные трубки
⌣ ⌣torustik, ⌣ ⌣võrk — дренажная сеть
⌣ -vintfreesmasin — дренажно-винтовая машина
drenaažkuivendus — осушение дренажем
düüker — дюкер

E

ebapüsiv pinnas — неустойчивый грунт
ebapüsiv voolamine — неустановившееся движение жидкости
ebaühtlane voolamine — неравномерное движение жидкости
eelkuivendus — предварительное осушение
eelprojekt {projektülesanne} — проектное задание
{eelvool, eesvool} vt. veevastuvõtja
eemaldunud vooluhüpe, eemaletõugatud vooluhüpe — отогнанный прыжок
efektiivne diameeter — эффективный диаметр
ehitis — сооружение
ehitus — строительство
ehitusalus — основание сооружения
ekker — эккер
ekskavaator — экскаватор
ekskavaatori poom — стрела экскаватора
ekskavaatori tööseade — рабочее оборудование экскаватора
ekvipotentsiaalid (rõhu samajooned) — эквипотенциали
ekvivalentniiskus — эквивалент влажности
elavkindlustis — живое крепление
elavlõige (voolu ristlõige) — живое сечение
eluviaal- — элювиальный
eraldusjoon — линия раздела
erikuivendusviis — особый (специальный) способ осушения
eritakistus — удельное сопротивление
erivooluhulk — удельный расход воды
erosioon — эрозия
esi — забой, загон (фронт работ)
esinemistõenäosus — вероятность

F

fassongosad — фасонные части
fašiin — фашина
fašiindrenaaž — фашинный дренаж
fašiinkindlustis — фашинное крепление
fašiinmadrats, fašiinmatt — фашинный тюфяк
filter — фильтр, обратный фильтр
filtratsioon — фильтрация
filtratsioonikiirus — скорость фильтрации
filtratsioonikoefitsient — коэффициент фильтрации
filtratsioonivool — фильтрационный поток
finants-eelarveline arvutus — сметно-финансовый расчет
fitingid — фитинги
flutbet — флютбет
fraktsioon, lõimise rühm — фракция
freesimine — фрезерование
freesmasin — фрезерная машина
freespink — пилофрезерный станок
freestoru — желобковая труба
freesturvas — фрезерный торф
funikulaarvesi — фуникулярная вода
füüsikaline savi — физическая глина

G

gabioon — габион
geneetiline horisont — генетический горизонт
geodeetiline alus — геодезическая основа
geoloogiline ehitus — геологическое строение
geoloogiline tulp — геологическая колонка
gleihorisont — глеевый горизонт
gleilaigud — оглеенные пятна
gleimuld — глеевая почва
gleistumine — оглеение
granulomeetriline koostis, lõimis — гранулометрический состав
gravitatsioonipais — гравитационная плотина
gravitatsioonivesi — гравитационная вода
greider, teehöövel — грейдер
greifer — грейфер

H

hagudrenaaž — хворостяной дренаж
hagukate — хворостяное покрывало
hagukindlustis — крепление из хвороста
hagumatt — хворостяной тюфяк
hagupunutis — хворостяной плетень
halapaju — шелюга
hargnev võrk — разветвленная сеть
hari [paisu⌣⌢, ülevoolu⌣⌢] — гребень, ребро, порог [плотины, водослива]
harilik veeseis — бытовой уровень воды
harujõgi — приток реки
harukollektor — боковой коллектор
harvendatud kuivendusvõrk — разреженная осушительная сеть
heiteveed — сбросные воды
heitevõrk — сбросная сеть
hilleri puur — бур Гиллера
{hingemuld} vt. kattekiht
horisontaalid, isohüpsid — горизонтали, изогипсы
humifitseerumine — гумификация
huumus, kõdu — гумус, перегной
huumushape — перегнойная кислота
huumuskiht — растительный слой
hõljum — взвесь
hõljuvad uhtmed — взвешенные наносы
hõlm [adra⌢, buldooseri⌢] — отвал [плуга, бульдозера]
häil, sulglohk — котловина
hüdrant — гидрант
hüdraulika — гидравлика
hüdrauliline hüpe vt. vooluhüpe
hüdrauliline jämedus [uhtmete⌢] — гидравлическая крупность [наносов]
hüdrauliline karakteristik [voolusängi⌢] — гидравлический показатель [русла]
hüdrauliline löök — гидравлический удар
hüdrauliline raadius — гидравлический радиус
hüdrauliliselt soodsaim profiil — гидравлически наивыгоднейшее сечение
hüdrodünaamiline rõhk — гидродинамическое давление
hüdroelektrijaam, HEJ — гидроэлектростанция, ГЭС
hüdrofüüsikalised omadused [pinnase⌢] — водные свойства [грунта]
hüdrogeoloogia — гидрогеология
hüdrograaf — гидрограф
hüdrograafiline võrk, veejuhtmete võrk — гидрографическая сеть
hüdroisohüpsid (põhjavee samakõrgusjooned) — гидроизогипсы
hüdroisolatsioon — гидроизоляция
hüdroloogia — гидрология
hüdromeetria — гидрометрия
hüdromeetriline häll — люлька гидрометрическая
hüdromeetriline lävend — гидрометрический створ
hüdromeetriline tiivik — гидрометрическая вертушка
hüdromeetriline ülevool, mõõteülevool — гидрометрический водослив
hüdromelioratsioon — гидромелиорация
hüdromonitor — гидромонитор
hüdrostaatika — гидростатика
hüdrostaatiline rõhk — гидростатическое давление
hüdrostaatiline survejõud — сила гидростатического давления
hüdrosõlm — гидроузел
hüdrotehnik — гидротехник
hüdrotehnika — гидротехника
hüdrotehniline ehitis — гидротехническое сооружение
hüdroturvas — гидроторф
hügroskoopsusvesi — гигроскопическая влага
hüpnumiturvas, lehtsamblaturvas — гипновый торф

I

ibe — ил
illuviaal- — иллювиальный
imbkaev — поглощающий колодец
imemine — всасывание
imiklapp — всасывающий клапан
imikõrgus — высота всасывания
imitoru — всасывающая труба
indikaatortaim — растение-индикатор
infiltratsioon (sisseimbumine) — инфильтрация
irrigatsioon (niisutamine) — ирригация
isevool — самотек
isevoolukanal — самотечный канал
isobaadid (sügavuse samajooned) — изобаты
isohüeedid (sademete samajooned) — изогиеты
isohüpsid, horisontaalid — изогипсы, горизонтали
isotahhid (kiiruse samajooned) — изотахи
istepakk, päitspakk — насадка

J

jaotuskanal, jaotuskraav — распределительный канал
jaotusvagu (niisutamisel) — выводная борозда (в орошении)
jaotusvõrk — разводящая сеть
joatoru — сопло
jooksev survekadu, pidev survekadu — потеря напора по длине
jootmiskoht — водопой
juga — струя
juhtsein — направляющая стенка
juhttamm — струенаправляющая дамба
juurdevoolukanal — подводящий канал
juurija-koguja — корчеватель-собиратель
juurimine — корчевка
juurimisäke, karjala äke — корчевальная борона, рельсовая борона, карельская борона
jõeharu — рукав реки, проток реки
jõelooge — извилина реки
jõelähe — исток реки
jõesilmus — излучина реки
jõesäng — ложе реки, русло реки
jõe toitumine — питание реки
jõgikond — речная система
järsak — обрыв

järvelubi — озерный мергель
järve turvastumine — заторфование озера
järvisus — озерность
jätke — насадок
jääkaanetus — ледостав
jääkate — ледяной покров
jäälask — ледосброс
jääminek — ледоход
jäämurdja (silla juures) — ледорез
jäärak, uhtorg {ovraag} — овраг
jääummistus, jäämulg — затор ледяной
jäävkobesus — остаточное рыхление
jütja — гиттия

K

kaarpais — арочная плотина
kaassügavused — взаимные глубины, сопряженные глубины
kaetud vooluhüpe, uputatud vooluhüpe — надвинутый прыжок, затопленный прыжок
kaevamine — копание, рытье
kaevamine puistesse — копание в отвал
kaevand — выемка
kaevandamine [pinnase ~] — разработка [грунта]
kaeve, šurf — шурф
kaevesügavus — глубина выемки
kaevik — траншея
kaevikdrenaaž — траншейный дренаж
kaevikuekskavaator — траншейный экскаватор
kahanemine [pinnase, betooni ~] — усадка [грунта, бетона]
kaitsepostid (teepeenral) — надолбы
kaitsetamm — защитная дамба, дамба обвалования
kaitsevallitamine — обвалование
kalamajanduslik melioratsioon — рыбохозяйственная мелиорация
kalatõke — закол
kaldajoon — береговая линия
kaldatugi, kaldasammas [silla ~, paisu ~] — береговой устой [плотины, моста]
kaldavall — береговой вал, прирусловый вал
kaldenurk — угол наклона
kaljupinnas — скальный грунт
kalkus vt. karedus
kallak — склон
kalle {lang} — уклон
kamar (rohumätas) — дерн
kamar-gleimuld — дерново-глеевая почва
kamar-leet-gleimuld — дерново-подзолисто-глеевая почва
kamar-leetmuld — дерново-подзолистая почва
kamarmuld — дерновая почва
kameraaltöö (sisetöö) — камеральная работа
kanal — канал
kanalisatsioon — канализация
kanalisatsioonivõrk — канализационная сеть
kanarbikuturvas — вересковый торф
kandevõime — несущая способность
kapillaarsus — капиллярность
kapillaartõusu kõrgus — высота капиллярного поднятия
kapillaarvesi — капиллярная вода
kapillaarvööde — капиллярная кайма
kaptaaž — каптаж
karedus, kalkus, kõvadus [vee ~] — жесткость [воды]
karedusarv — коэффициент шероховатости
karjala äke vt. juurimisäke
karjatee — скотопрогонная дорога
karjäärkraav — карьерная канава
karpraud — швеллер
karst — карст
karstilehter — карстовая воронка
karstitühe — карстовая пустота
karusammal — кукушкин лен
kaskaad — многоступенчатый перепад
kastja — поливальщик
kastmine — полив
kastmisjuga — поливная струя
kastmisnorm — норма полива
kastmisperiood — поливной период
kastmisriba — поливная полоса
kastmisvagu — поливная борозда
kasvukohatüüp — тип местообитания
kate [silla ~] — настил [моста]
katsepumpamine — опытная откачка
kattekiht [drenaaži ~] — предварительная засыпка [дрен]
kaugjoaline vihmutusagregaat — дальнеструйная дождевальная установка
{kavaljeer} vt. mullavall
keemiline maaparandus — химическая мелиорация
{keerdpuurimine} vt. pöördpuurimine
kehvel, leetseljak — отмель
keraamiline toru — керамиковая труба
kernpuurimine — колонковое бурение
keskjooks [jõe ~] — среднее течение [реки]
keskmine kiirus — средняя скорость
kestuskõver — кривая продолжительности
ketasfreesmasin [drenaaži- ~] — дренажно-дисковая машина
ketasnuga (adral) — дисковый нож [плуга]
kevadtamm — весенняя дамба
kihiline lammimuld — слоистая пойменная почва
kiht — слой, пласт
kiiruskõrgus — напор скоростной, высота скоростного напора
kiirusvertikaal — скоростная вертикаль
killustik — щебень
kindlustatus, tagatus — обеспеченность
kindlustamine — укрепление
kindlustis — крепление
kinniajamine [kaeviku ~] — засыпка [выемки]
kinnine kuivendusvõrk — закрытая осушительная сеть
kinnistamine [rändliiva ~] — закрепление [подвижных песков]
kipsimine — гипсование
kirmevesi — плёночная вода
kitsaeeline künd — узкозагонная вспашка
kitsaharjaline ülevool {kitsaläveline ülevool} — водослив с тонкой стенкой, водослив с острым ребром

kitsendamine — сужение
kividrenaaž — каменный дренаж
kivikoristusmasin — камнеуборочная машина
kivim — горная порода
kivimüüritis — бутовая кладка
kivipuiste — каменная наброска
kivisus — каменистость
kleepumine — налипание
klibu — галька
klibustik — галечник
klimaatiline äravoolunorm — климатическая норма стока
kobe [~kivim, ~muld] — рыхлая [порода, почва]
kobestaja — рыхлитель
kobestamine — рыхление
kobestatavus — разрыхляемость
kogujakraav — открытый собиратель, транспортирующий собиратель, боковой водоотводный канал
kohalik survekadu — местная потеря напора
kohalik äravool — местный сток
kokkukünd — вспашка всвал
kolbpump — поршневой насос
kollektor — коллектор
kolmatsioon {kolmataaž} — кольматаж
kontrollkaev — контрольный колодец
kontrollkaeve — контрольный разрез
koold, soot — старица, староречье
koole — перекат, брод
koormus — нагрузка
kopp — ковш
koppsüvendaja, bager — землечерпалка
koristamine [võsa, kivide ~] — уборка [кустарника, камней]
korrastamine [voolusängi ~] — выправление [русла]
kosk {juga} — водопад
kraav — канава, канал
kraaviader — канавокопатель
kraaviserv — бровка канавы [канала]
kraavitama — канавить
kraavitus — открытая регулирующая сеть [осушительной системы]
kraavkuivendus — осушение канавами
kriitiline sügavus [voolu ~] — критическая глубина [потока]
kruus — гравий
kruusalus — гравийная подготовка
kruusfilter — гравийный фильтр
kruuskate — гравийное покрытие
kruuspadi — гравийная подушка
kuivatusväli [turba ~] — поле сушки [торфа]
kuivendaja — осушитель
kuivendamine — осушение
kuivendus — осушительная мелиорация
~ kraav — осушительная канава, гидрологический собиратель
~ norm — норма осушения
~ projekt — проект осушения
~ süsteem — осушительная система
~ viis — способ осушения
~ võime — осушительная способность
~ võrk — осушительная сеть
kuivmüüritis — сухая кладка
kultuuristamine — окультуривание
kultuurrohumaa — искусственное лугопастбище
kultuurtehnika — культуртехника
kultuurtehniline erim — культуртехнический контур
kumerlabidas [drenaaži ~] — полукруглый совок
kuristik — ущелье
kurisu — карстовый поглощатель
kõdu, huumus — перегной, гумус
kõlvik — угодье
kõnnumaa — пустошь
kõrgsoo, raba — верховое болото
kõrgsooturvas, rabaturvas — верховой торф
kõrgusarv — отметка
kõrguskasv — превышение
kõrgveetase — горизонт высоких вод
kõrgveetipp — паводковый пик
kõrgvesi — паводок
kõvadus vt. karedus
kännukiht — пнистый слой
kännusus — пнистость
kärendik {kiirvool} — быстроток
kärestik — пороги реки, порожистый участок
käre vool — бурный поток
kärgkast — ряж
käsipuu (sillal) — поручень
külgühendus — сопряжение сбоку
küllastusniiskus — влажность насыщения
künnialune kiht — подпахотный горизонт
künniesi — загон вспашки
künnikiht — пахотный горизонт
künnis, lävi — донный порог, донный выступ
künniseta ülevool, läveta ülevool — водослив без донного выступа
küvett vt. teekraav

L

laagtugi — опора на лагах
laastamine [võsa~, peenmetsa~] — расчистка [кустарника, мелколесья]
labidas — лопата
ladepuu — накат
lageraba — безлесное верховое болото
lagundumisaste [turba~] — степень разложения [торфа]
lahkukünd — вспашка вразвал
lahkukünnivagu, pikivagu — разъемная борозда
lahtine kuivendusvõrk — открытая осушительная сеть
laiaharjaline ülevool {laialäveline ülevool} — водослив с широким порогом
lainemurdja — волнолом
lamk (tahutud palk või pruss lamavelemendina ehitises) — лежень
laminaarne voolamine — ламинарное движение жидкости
lamm, luht — пойма, заливной луг
lammimuld — пойменная почва
lammisoo — пойменный торфяник
lang 1, langemine — падение
lang 2 vt. kalle

langesein — стенка падения
langjoon — кривая спада
langus — перепад [уровня]
lasumine — залегание
lasund — залежь
lasundi piir — нулевая залежь
latt — рейка; жердь
latt-drenaaž — жердевой дренаж
lattkindlustis — жердевое крепление
laudtoru — дощатая труба
laukaraba — верховое болото с озерным комплексом
lausdrenaaž — систематический дренаж
lauskuivendus — систематическое осушение
lausvihm — обложной дождь
leede — подзол
leetmuld — подзолистая почва
leetseljak, kehvel — отмель
leetumine — оподзоливание
lehtsamblaturvas, hüpnumiturvas — гипновый торф
leostumine — выщелачивание
leppemärk {tingmärk} — условный знак
libisemine vt. liugumine
libistamine — волочение, шлейфование
ligunemine — размокание
lihe, lihkumine — оползание, скольжение
lihkepind — поверхность скольжения, ~ обрушения
lihkeprisma — призма скольжения, ~ обрушения
liidus — стык
liidusepilu — стыковая щель, стыковый зазор
liigestunud reljeef — пересеченный, расчлененный рельеф
liigniiske maa — избыточно-увлажненная земля
liigniiskus — избыточное увлажнение
liigveelask — водосброс
liigvesi — избыток влаги
liikuv vihmutussüsteem — передвижная система дождевания
liitprofiil — составное сечение
liiv — песок
liivakivi — песчаник
liivapinnas — песчаный грунт
liivapüüdja — песколовка
liivmuld — песчаная почва
liivpadi — песчаная подушка
liivsavi — суглинок
liivsete — песчаное отложение
limaanniisutus — лиманное орошение
limnigraaf — лимниграф
linttransportöör — ленточный транспортер
liugumine, libisemine — скольжение
lobjakummistus — зажор
lodumets — топяной лес
lohk — низина, ложбина
loim (madal, ajutiselt veega täidetud sulglohk) — западина, блюдце
loodimisaparaat, nivelliir — нивелир
loodimine, nivelleerimine — нивелирование
loodimislatt, nivelleerimislatt — нивелирная рейка
looduslik kaldenurk [nõlva ~] — угол естественного откоса
looklevus — извилистость
lubjakivi — известняк
luhamadalik — займище
luht, lamm — заливной луг, пойма
lume peetamine — снегозадержание
lupjamine — известкование
luure — разведка
lõhik — пластина
lõhkamine — взрывание
lõige — сечение
lõimis, granulomeetriline koostis — гранулометрический состав
lõimise rühm, lõimise fraktsioon — гранулометрическая фракция
lõpp-profiil — замыкающий створ
läbiimbumine, nõrgumine — просачивание
läbikülmumine — промерзание
läbilaskevõime — пропускная способность
läbilõige — разрез
läbimurre — прорыв
läbiuhtumine — промывка
lähtekivim — материнская порода
läveta ülevool vt. künniseta ülevool
lävi, künnis — донный порог, донный выступ
lävis (sisenemisosa) — входная часть сооружения
löögipõrand [paisu ~] — водобой [плотины]
löökpuurimine — ударное бурение
löökpöördpuurimine — ударно-вращательное бурение
lühijoaline vihmutusagregaat — коротконструйная дождевальная установка
lülitustorustik (vihmutussüsteemis) — соединительный трубопровод
lüüs — шлюз
lüüsregulaator — шлюз-регулятор

M

maa-alune niisutus — подпочвенное орошение
maa-alune veelahe — подземный водораздел
maa-alune vesi — вода подземная
maade kuivendamine — осушение земель
{maaimeja, mudapump} vt. pinnasepump
maakorraldus — землеустройство
maalihe — оползень
maaparandaja, melioraator — мелиоратор
maaparandus, melioratsioon — мелиорация
maaparanduslik vesiehitus — гидромелиоративное строительство
maaparandustöö — мелиоративная работа
maapinnajoon — линия поверхности земли
maapinna planeerimine — планировка поверхности земли
maasisene äravool — внутренний сток

maavai [piketi ~] — пикетная точка (колышек)
madalik (maismaal) — низменность
madalik (vees) — мель
madalsoo — низинное болото
madalsooturvas — низинный торф
madalveeaegne äravool — меженный сток
madalveetase — горизонт низких вод
madalvesi — межень
magistraalkanal — магистральный канал
mahamärkimine [ehitiste ~] — разбивка [сооружений]
mahukaal — объемный вес
manomeetriline rõhk — манометрическое давление
manomeetriline tõstekõrgus — манометрический напор
manteltoru — обсадная труба
mattunud puit — погребенная древесина
melioraator, maaparandaja — мелиоратор
melioratsioon, maaparandus — мелиорация
mensulmõõdistamine — мензульная съемка
mergel — мергель
metsakõdu — лесная подстилка
metsa langetamine — валка леса
metsalodu — лесотопь
metsakuivendus — лесная осушительная мелиорация
metsariba — лесная полоса
metsastamine — облесение
metsasus — лесистость, залесенность
metsaturvas — лесной торф
metsavöönd — лесная зона
mikroreljeef — микрорельеф
mineraalpinnas — минеральный грунт
mineraliseerumine — минерализация
mitmekopaline ekskavaator — многоковшевый экскаватор
mittemudastav kiirus — незаиляющая скорость
mitteuhtuv kiirus — неразмывающая скорость
mobiilne veevaru vt. produktiivne veevaru
monoliitproov — монолитный образец
moodul — модуль
moodulkoefitsient — модульный коэффициент
moreen — морена
muda — ил
mudakelme — илистая пленка
mudapüüdja — илоуловитель
mudasete — наилок
mudastumine [voolusängi ~] — заиление [русла]
muld — почва
muldehitis — земляное сооружение
muldekanal — канал в насыпи
muldeserv — бровка насыпи
muldkeha — земляное полотно
muldpais — земляная плотина
muldtamm — земляная дамба
mullaerim — почвенная разновидность, ~ разность
mullahorisont — почвенный горизонт
mulla neelav kompleks — поглощающий почвенный комплекс
mullaniiskus — влажность почвы
mulla skelett — скелет почвенный
mullastikukaart — почвенная карта
mulla struktuur — структура почвы
mullatöö — земляная работа
mullatööline — землекоп
mullatüüp — тип почвы
mullavall {kavaljeer} — кавальер
mullaveevaru — запас почвенной влаги
mulle — насыпь
munakivi, munakas — булыжник
munakivisillutis — булыжная мостовая
murdekoht — место перелома
murend — рухляк
murendpinnas — рыхлый грунт
murenemine — выветривание
mutiõõs — кротовина
mutt, dreener — дренер
muttdreen — кротовая дрена
muttdreenide sissetõmbamine — прокладка кротовых дрен
muttdrenaaž — кротовый дренаж
muttija — кротователь
muttimine — кротование
{muutuv voolamine} vt. ebapüsiv voolamine
mõjupiirkond — зона влияния
mõõdistamine — съемка
mõõdulint — лента мерная
mõõn (tuule mõjul) — сгон воды
mõõt, mõõtkava, mastaap — масштаб
mõõtelapp — пробная площадка, учетная площадка
mõõteülevool vt. hüdromeetriline ülevool
märg perimeeter, veealune perimeeter — смоченный периметр
mätas — кочка, дерн
mätastik — кочкарник
mätastus — одерновка
mättaader — кочкорез
mättasus — закочкаренность
mört — раствор [строительный]
müüritis — кладка

N

neelav kiht — поглощающий слой
neelufilter — фильтрующий поглощатель (шлюкер)
neelukaev — трубчатый поглощатель (шлюкер)
nihe, nihkumine — сдвиг
niiske — сырой, влажный
niiskevõitu — сыроватый
niiskuma — сыреть
niiskus — влажность
niisutamine — орошение
niisutus — оросительная мелиорация
niisutuskraav — оросительная канава
niisutusnorm — оросительная норма
nire — струйка
nivelleerimine, loodimine — нивелирование
nivelleerimislatt, loodimislatt — нивелирная рейка
nivelliir, loodimisaparaat — нивелир

normaalpaisutustase — нормальный подпорный горизонт
normaalprofiil — нормальный профиль
normaalsügavus {voolu ~} — нормальная глубина {потока}
numbrivai — сторожок пикетный
nõgu — лощина
nõlv — откос
nõlvaalus (nõlva horisontaalprojektsioon) — заложение откоса
nõlvajalam — подножие откоса
nõlvajalg vt. nõlvatald
nõlvak, veer — склон
nõlvakusoo — склоновое болото
nõlvaserv — бровка откоса
nõlvatald, nõlvajalg — подошва откоса
nõlvus — крутизна откоса
nõlvuskoefitsient — коэффициент откоса
nõrgkivi, ortstein — ортштейн
nõrglubi — известковый туф
nõrgumine, läbiimbumine — просачивание
nõva — тальвег
nõvakraav — тальвеговый канал
närbumiskoefitsient — коэффициент завядания
närbumisniiskus — влажность завядания

O

org — долина
organogeenne muld — органогенная почва
ortstein vt. nõrgkivi
orund — балка; неглубокая долина
oruveer — склон долины
osjaturvas — хвощевый торф
otsak — оголовок
otsekopp-ekskavaator — экскаватор с прямой лопатой
otsik — наконечник
otsmoreen — конечная морена
ovoidaalne toru (munakujuline ⌣) — овойдальная труба

P

paas, paekivi — плитняк
padrik, tihnik — заросль
paduvihm — ливень
paduäravool — ливневой сток
paigaldamine — укладка
paine — изгиб
pais — плотина
paisjoon — кривая подпора
paisniisutus — увлажнительное шлюзование
paisutamine — запруживание
paisutus — подпор {воды}
parvetus — сплав {леса}
parvetustõkend — запань
passistamine {kuivendusvõrgu ⌣} — паспортизация {осушительной сети}
peajõgi — главная река
peakraav — главный канал, магистральный канал
pealtparandus {rohumaa ~} — поверхностное улучшение {луга}
pealtühendus — сопряжение сверху
peel — водомерная установка
peelilatt, veemõõtelatt — водомерная рейка
pendulaarvesi — пендулярная вода
perv {berm} — берма
pervepuhastaja — бермоочиститель
pidev survekadu vt. jooksev survekadu
piesomeeter — пьезометр
piesomeetriline joon — пьезометрическая линия
piirdedreen — головная дрена
piirdekraav {pinnavee ~} — нагорный канал
piirdekraav {põhjavee ~} — ловчий канал
piirdetamm — оградительная дамба
piirdevõrk {kuivendussüsteemi ⌣} — оградительная сеть {осушительной системы}
piirhorisont — пограничный горизонт
piketaaž — пикетаж
pikett — пикет
pikidrenaaž — продольный дренаж
pikiprofiil — продольный профиль
pikitala — прогон
pikitamm — продольная дамба
pikivagu, lahkukünnivagu — разъемная борозда
piluastang — щелевой перепад
piludrenaaž — щелевой дренаж
piluülevool — щелевой водослив
pindmine niisutus — поверхностное орошение
pindmine äravool — поверхностный сток
pinnas — грунт
pinnaseproov — образец грунта
pinnasepump {maaimeja, mudapump} — землесос
pinnaseteadus — грунтоведение
pinnastee — грунтовая дорога
pinnaujuk — поплавок поверхностный
pinnavesi — вода поверхностная
planeerimine (tasandamine) — планировка
plastilisus — пластичность
pluviograaf — плювиограф
polder — польдер
polderkuivendus — осушение польдером
ponuur — понур
poolkaevand — полувыемка
poolmuldekanal — канал в полувыемке-полунасыпи
poolpalk, lõhik — пластина
poom {ekskavaatori ⌣} — стрела {экскаватора}
poorid — поры
poorsus — пористость
prismaatiline voolusäng — призматическое русло
produktiivne veevaru, mobiilne ~ — запас продуктивной влаги
profiil — профиль, створ
profiilkopp (ekskavaatoril) — профильный ковш
profileerimine — профилирование
profileerimislatt — намётка
projekteerimisstaadium — стадия проектирования
projekteerimisülesanne — задание на проектирование
{projektülesanne} vt. eelprojekt
propellerpump — пропеллерный насос

pudedad pinnased — сыпучие (несвязные) грунты
puhastamine [voolusängi ~] — очистка, расчистка [русла]
puistaimestik — древесная растительность
puistekiht — насыпной слой
puistkeha — сыпучее тело
puistpais — набросная плотина
puitpais — деревянная плотина
pulp — пульпа
pumbajaam — насосная станция
pump — насос
pumpama — качать [насосом]
pundumine [pinnase ~] — пучение [грунта]
punnsein, sulundsein — шпунтовый ряд
punnseinaga tõkketamm — шпунтовая перемычка
punnvai, sulundvai — шпунтина
punutis — плетень
purre — пешеходный мостик
puuraugu manteldamine — обсадка скважины
puurauk — буровая скважина
puurimine — бурение
puurmasin, puurpink — буровой станок
põhi — дно
põhikaeve — основной разрез
põhimoreen — донная, основная морена
põhivõrk [kuivendussüsteemi ~] — проводящая сеть [осушительной системы]
põhjajää — глубинный (донный) лед
põhjakünnis — донная запруда, донный порог
põhjalask — донный водоспуск
põhjalik parandus [rohumaa ~] — коренное улучшение [луга]
põhjalood — лот
põhjasete — донное отложение
põhjauhtmed — донные наносы, влекомые наносы
põhjaveebassein — грунтовый бассейн
põhjaveepind — зеркало грунтовых вод
põhjaveeseis — уровень грунтовых вод
põhjaveesurve — напор грунтовых вод
põhjaveevool — грунтовый поток
põhjavesi — грунтовая вода
põhja viimistlemine — оправка дна
põikdrenaaž — поперечный дренаж
põiktamm, buun — полузапруда, буна
põiktsirkulatsioon — поперечная циркуляция
põikvagu — борозда отводная
põllukaitse-metsariba — лесная полезащитная полоса
põllumajanduslik maaparandus — сельскохозяйственная мелиорация
päisehitis — головное сооружение
päishüdrosõlm — головной гидроузел
päitspakk, istepakk — насадка
pöördpuurimine {keerdpuurimine} — вращательное бурение
püknomeeter — пикнометр
püsiv voolamine [vedeliku ~] — установившееся движение [жидкости]
püstik — стояк

R

raamtugi — рамная опора
raba, kõrgsoo — верховое болото
rabasoo vt. siirdesoo
rabastumine — образование верхового болота
rabaturvas, kõrgsooturvas — верховой торф
rahn — валун
rahulik vool — спокойный поток
rajajoon — граничная линия
raketis — опалубка
ramm — копер
ramminui — баба
rammivasar — свайный молот
randaal, taldrikäke — дисковая борона
raskuskese — центр тяжести
rauahüdroksüüd, rauaooker — гидрат окиси железа
reeper — репер
reguleerimine [jõe ~] — регулирование [реки]
reguleerimisbassein — бассейн регулирования
rekognoosuurimine — рекогносцировочное обследование
reljeefplaan — рельефный план
renn — лоток
reovesi, roiskvesi — сточная вода
ridžer (vallikeste tegemiseks) — риджер (для поделки валиков)
riisk — скоба (строительная)
riivtugi — распорка
ringdrenaaž — кольцевой дренаж
ringkanal (vee möödajuhtimiseks) — обводный канал
ringvagu (aia niisutamisel) — кольцевая борозда
ringvõrk — кольцевая сеть
rinnak [ülevoolu harja ~] — входное ребро [водослива]
risberm — рисберма
ristlõige — поперечное сечение
ristprofiil — поперечный профиль
rohtumine — зарастание травой
rohumaa rajamine — залужение
rohusoo — травяное болото
rohuturvas — травяной торф
roiskvesi vt. reovesi
roomiktraktor — гусеничный трактор
roomiku laiendajad — уширители гусениц
rootorekskavaator — роторный экскаватор
rullimine [betooni, pinnase, mulla ~] — укатка [бетона, грунта]; прикатывание [почвы]
rusukalle — осыпь
ruutpunutis — плетневая клетка
rõhk — давление
rähk — хрящ (крупный)
rändliiv — подвижные пески

S

sademed — осадки
sademetemõõtja — дождемер, осадкомер
sadestumine — осаждение
salvkaev, šahtkaev — шахтный колодец
samajoon — изолиния

samblasoo — моховое болото
samblaturvas — моховой торф
sammastugi — массивная (столбчатая) опора
sapropeel — сапропель
sau — глина (гранулометрическая фракция Ø<0,005 мм)
savi — глина (вид грунта)
saviliiv — супесь
savimuld — глинистая почва
savitamine — глинование
savitoru (drenaaži ⁀) — гончарная труба
savitorudrenaaž — гончарный дренаж
seiskumine [vee ⁀] — застой [воды]
seletuskiri — пояснительная записка
sepis — поковка
serv [kraavi ⁀] — бровка [канала]
sete — нанос, отложение
settebassein —отстойный бассейн
settekaev — отстойный колодец
settekamber — отстойная камера
settekivim — осадочная порода
settima — осаждаться
sfagnumiturvas — сфагновый торф
sideaine — вяжущее вещество
sidumatus vt. sulgemisviga
sidusad pinnased — связные грунты
sidusus — связность
sihik — визирка
siiber — задвижка
siirdesoo, rabasoo, üleminekusoo — переходное болото
sillaalune — ложе реки под мостом
sillutamine — замощение
sillutis — мощение
sisehõõrdejõud — сила внутреннего трения
sisehõõrdenurk — угол внутреннего трения
sisselange — обвал
sisselaskelüüs — впускной шлюз
sitkus, viskoossus — вязкость
skreeper — скрепер
soine — болотистый
soisus — заболоченность
sondeerimine — зондировка
soo — болото
soo kasutuselevõtmine, ⁀ülesharimine — освоение болота
soo kattekultuur — насыпная культура болот
soo kultiveerimine — культивирование болота
sooldumine [mulla ⁀] — засоление [почв]
sooparandus — мелиорация болот
soo pindpõletamine — обжигание болота
soo-puisniit — болотный лесолуг
soorull — болотный каток
soostumine — заболачивание
soot, koold — старица, староречье
soovik — болотина
stuts — штуцер
sufosioon — суффозия
sugekiht (samblakiht) — очес
suhteline sügavus — относительная глубина
suidumine, vt. väljakiildumine
sulavesi — талая вода
sulgemisviga, sidumatus — невязка
sulgetamm — заградительная дамба, запруда [нормальная]
sulgur — заглушка
sulundsein, vt. punnsein
sulundvai, punnvai — шпунтина
surnud veevaru — мертвый запас воды
suruklapp — нагнетательный клапан
surukõrgus — высота нагнетания
surumine — нагнетание
surutorustik — нагнетательный (напорный) трубопровод
{surutud lõige} vt. ahenenud elavlõige
surve — сжатие, напор
survebassein — бассейн напорный
survejõud [vedeliku ⁀] — сила давления [жидкости]
survekadu — потеря напора
survekeha — тело давления
survekese — центр давления
survekõrgus — напор
surveline vesi — напорная вода
surveline voolamine — напорное движение жидкости
surveta voolamine vt. vaba voolamine
survetorustik — напорный трубопровод
suubuma — впадать
suudmekraav — устьевая канава
suudmerest — устьевая решетка
suudmetoru — устьевая труба
suue — устье
suuremõõduline mõõdistamine — крупномасштабная съемка
suurvesi (sulaveest) — половодье
suvaline kõrgusarv — условная отметка
suvetamm — летняя дамба
sõeltoru [drenaaži ⁀] — перфорированная дренажная трубка
sügavusvertikaal — промерная вертикаль
süva- — глубинный
süvaujuk — поплавок глубинный
süvend (ehituskaevik) — котлован
süvendamine — углубление
süvik — плес
süvis — глубина погружения, осадка

Š

šahtkaev, salvkaev — шахтный колодец
šandoorid (vesipalgid) — шандоры
šurf, kaeve — шурф

T

tagatus, kindlustatus — обеспеченность
tahhümeeter — тахиметр
tahke äravool — твердый сток
taimkate — растительный покров
tala — балка
tald [ehitise ⁀] — подошва [сооружения]
taldrikäke, randaal — дисковая борона
tamm — дамба
tammi kand — корень дамбы
tamp — трамбовка
tampimine — трамбование
tarasein — заборчатая стенка
tardkivim — изверженная горная порода
tarn — осока
tarnasoo — осоковое болото
tarnaturvas — осоковый торф
teedevõrk — дорожная сеть

tee eraldusriba — полоса отвода дороги
teehöövel, greider — грейдер
teekate — дорожное покрытие
teekraav, küvett — кювет
teemuldkeha — дорожное полотно
teenindussild — служебный мост
teepeenar — обочина дороги
tehisvihm — искусственный дождь
tehniline projekt — технический проект
teisaldamine — перемещение
teodoliit — теодолит
teraline lammimuld — зернистая пойменная почва
teraline struktuur — зернистая структура
tihendamine — уплотнение
tihnik, padrik — заросль
tingläbimõõt — условный проход
tolm — пыль
tolmjas — пылеватый
toru — труба
torudreen — трубчатая дрена
torudrenaaž — трубчатый дренаж
torujätk — патрубок
torupool (freestorul) — половинка трубы (желобчатой)
torustik — трубопровод
toruveejuhe — трубопровод (для воды)
traavers — траверс
transiitlõik [kraavi ⁓, toru ⁓] — холостая часть [канала, трубы]
transpiratsioon — транспирация
trass — трасса
trasseerimine — трассировка
trassiriba — полоса трассы
truup — дорожная труба
tsentrifugaalpump — центробежный насос
tugi [silla ⁓, paisu ⁓] — опора [моста, плотины]
tugimärk — опорный знак
tugisein — подпорная стенка
tuhasus — зольность
tulv, üleujutus — затопление, разлив
tulvaraja — граница затопления, ⁓ разлива
tulvniisutus — полив затоплением
turbakarjäär — карьер торфяной
turbalasund — залежь торфа
turbamuda — буза, торфянистый ил
turbapinnas — торфяной грунт
turbasoo — торфяник, торфяное болото
turba tootmine — добыча торфа
turba vajumine — осадка торфа
turbulentne voolamine — турбулентное движение жидкости
tursumine [pinnase ⁓] — набухание [грунта]
turvas — торф
turvasmuld — торфяная почва
turvastumine — заторфовывание
tõenäoline viga — вероятная ошибка
tõenäosus vt. esinemis- ja ületustõenäosus
tõkketamm — перемычка
tõmme — растяжение
tõus — подъем; прилив
tähis — веха
täidisdrenaaž — дренаж с фильтрующим заполнением
täisveemahutavus — полная влагоемкость
tööde juhataja — прораб
tööprojekt, tööjoonised — рабочие чертежи
tüsedus [kihi ⁓, lasundi ⁓] — мощность [слоя, залежи]
tüüpprojekt — типовый проект

U

uhe — размыв
{uhtaine} vt. uhtmed
uhtlehter — воронка размыва
uhtmed — наносы
uhtorg, jäärak {ovraag} — овраг
uhtpais — намывная плотина
uhtuma — смывать, размывать
uhtvagu — промойна
ujupind — плоскость плавания
ujuv rohuniitja — камышекосилка
umbjärv — бессточное озеро
umbnõgu — бессточная впадина
ummistumine — закупорка
uputatud vooluhüpe vt. kaetud vooluhüpe
uudismaa — целина
uudismaa-ader — кустарниково-болотный плуг
uudismaa kündmine — подъем целины
uure — рытвина
uurimine [teaduslik ⁓] — исследование [tehniline ⁓] — изыскание

V

vaatlus — наблюдение
vaatluskaev — смотровой колодец, наблюдательный ⁓
vaatluspuurauk — наблюдательная скважина
vabasurve — свободный напор
vaba vesi — свободная вода
vaba voolamine, surveta voolamine — свободное, безнапорное движение жидкости
vagu — борозда
vagumine (vagude ajamine) — бороздование
vaguniisutus — полив по бороздам
vahekiht — прослойка
vahepost (paisul) — стойка [плотины]
vahetatav tööseade — сменное оборудование
vahetugi, vahesammas (sillal, paisul) — бык [моста, плотины]
vai — свая
vaitugi — свайная опора
vajumine — осадка
valgniisutus — полив напуском
valgveega toitumine — намывное питание
valikdrenaaž — выборочный дренаж
valikkuivendus — выборочное осушение
valikvagu — выборочная борозда
valikõgvendus — выборочное (частичное) спрямление
vall — вал
vallike — валик
valvur-remontija {valvur-remontöör} — сторож-ремонтер

vari (gen. varja) — затвор гидротехнический
varisemine — обрушение
vedeldunud pinnas — грунт разжиженный
veealune perimeeter, märg perimeeter — смоченный периметр
veeauru rõhk — упругость водяного пара
veebilanss — водный баланс
veehaardeehitis — водозаборное сооружение
veehaare — водозабор
veehoidla — водохранилище
veeimavus — впитывание воды
veejaotamine — водораспределение
veejuhe — водовод
veejuhe (kinnine) — водосток
veejuhe (lahtine) — водоток
veejuhtivus, veeläbilaskvus — водопроницаемость
veejuhtmete võrk, hüdrograafiline võrk — гидрографическая сеть
veekahjustus (orasel, heinamaal) — вымочка
vee kasutamine — водопользование
veekeeris — водоворот
veekogu — водоем
veekogumisbassein — водосборный бассейн, водосборный резервуар
veekogu säng — ложе водоема
vee kõrvaldamine — водоотлив
veelahe — водораздел
veelahkmesoo — водораздельное болото
veelask — водоспуск, водосброс
veeloovutus — водоотдача
veeläbilaskvus, veejuhtivus — водопроницаемость
veelöögikaev — водобойный колодец
veelöögisein — водобойная стенка
veemahutavus — влагоемкость
veemajandus — водное хозяйство
veemõõtelatt, peelilatt — водомерная рейка
veemõõtepost — водомерный пост
veemõõtja — водомер
veenivoo vt. veetase
veepiir — урез воды
veepind — водная поверхность, зеркало воды
veepinnajoon — линия поверхности (уровня) воды
veer, nõlvak — склон
veerežiim — водный режим
veerikkus [jõgede ⌣] — водность [рек]
veeringe — водооборот
vee ringkäik — круговорот воды
veeris — галька
veerohkus — водоносность
veeseis — уровень воды
veeseiskus — застой воды
veeseisude taandamine — приводка уровней
veesisene jää — внутриводный лед
vee sogasus — мутность воды
vee tarbimine — водопотребление
veetase, veenivoo — горизонт воды
veetorn — водонапорная башня
veetustamine — обезвоживание
veetõsteseade — водоподъемная установка
veetõus (tuule mõjul) — нагон воды
veeuputus — наводнение
veevai (veepinna nivelleerimisel) — уровенный кол (для нивелирования водной поверхности)
veevaru — запас воды (влаги)
veevarustus — водоснабжение
veevastuvõtja {eelvool, eesvool} — водоприемник
veevõrk, veevarustusvõrk — водопроводная сеть
vee väljasurve — водоизмещение
veevärk — водопровод
vee ärajuhtimine — отвод воды
vegetatsiooniperiood — вегетационный период
veojõud — тяговое усилие
vertikaaldrenaaž — вертикальный дренаж
vertikaalmõõdistamine — вертикальная съемка
vesikond — водосбор, водосборная площадь
vesikonnakaart — карта водосбора
vesiliiv — плывун
vesioinas — гидравлический таран
vesivagu — водоотводная борозда
vettandev kiht — водоносный слой
vettjuhtiv, vett läbilaskev — водопроницаемый
vettpidav kiht — водоупорный слой, водоупор
vihmuti — дождевальная насадка
vihmutamine, vihmutus — дождевание
vihmutusagregaat — дождевальный агрегат
vihmutusmasin — дождевальная машина
vihmutusseade — дождевальная установка
vihmutussüsteem — система дождевания
vihmutustiib — дождевальное крыло
viirsavi — ленточная глина
villpeaturvas — пушицевый торф
vintfreesmasin [drenaaži ⌣] — дренажно-винтовая машина
virn — штабель
virnastamine — штабелевание
viseerimine (sihtimine) — визирование
visiir (kitsas siht metsas) — визир
viskoossus, sitkus — вязкость
visuaalmõõdistamine — глазомерная съемка
vits — вица
vitsköis — прутяной канат
vooderdis — облицовка, обшивка
vool — поток
voolamine — течение
vooluhulga kõver — кривая расходов [воды]
vooluhulga karakteristik — расходная характеристика
vooluhulk — расход воды
vooluhüpe, hüdrauliline hüpe — гидравлический прыжок
voolujoom — стрежень [реки]
voolujooneline — обтекаемый
voolu kiirus — скорость потока

voolumõõtja — расходомер
voolurahustaja {energiakustutaja} — гаситель энергии, успокоитель
voolusäng — русло [водотока]
voolu sügavus — глубина потока
vuuk — шов
võimsus [HEJ jne.~] — мощность [ГЭС и т. д.]
võrendik — омут
võsa — кустарник
võsalõikaja — кусторез
võsareha — кустарниковые грабли
väikevesi — маловодье
väliuurimine [teaduslik~] — полевое исследование
väliuurimine [tehniline~] — полевое изыскание
väliveemahutavus — полевая влагоемкость
väljakangutamine [kivide~] — корчевка [камней]
väljakiildumine, suidumine [kivimi~, põhjavee~] — выклинивание [горной породы, грунтовой воды]
väljalaskelüüs — выпускной шлюз, сбросной шлюз
väljauhtumine — вымывание
väljavool — истечение
vääne — кручение

Õ

õgvendamine — выпрямление
õgvenduskanal, õgvendis — прокоп
{õhukeseseinaline ülevool} vt. kitsaharjaline ülevool
õhuniiskuse defitsiit — дефицит влажности [воздуха]
õhustusdrenaaž — вентиляционный дренаж
õõsdrenaaž — кротовый и щелевой дренаж
õõtssoo — трясина
õõtsuv pinnas — зыбкий грунт

Ä

älves — мочажина
ärakuivamine — пересыхание
ärauhtumine — размыв
äravettimine — вымокание
äravool — сток
äravoolukiht — слой стока
äravoolukoefitsient — коэффициент стока
äravoolumoodul — модуль стока
äravoolunorm — норма стока

Ü

ühestaadiumiline projekt — проект в одной стадии
ühisvoolne kanalisatsioon — общесплавная система канализации
ühtlane voolamine — равномерное течение
üksikdreen — отдельная дрена
üksushinne — единичная расценка
ülavesi — верховодка
üleminekusoo vt. siirdesoo
ülemjooks [jõe] — верховье, верхнее течение [реки]
üleslükkejõud [vee~] — подъемная сила [воды]
ületustõenäosus — вероятность превышения
üleujutus, tulv — затопление, разлив
ülevaatekaart — обзорная карта
ülevaatus — обследование
ülevool — водослив
ülevoolu hari — ребро (гребень, порог) водослива
ülevoolupais — водосливная плотина

KASUTATUD LÜHENDEID JA TÄHISTUSI

EMMTUI — Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituut
MK — Maaparanduse käsiraamat
ВИУАА (ÜVAAI) — Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт Удобрений, Агрохимии и Агропочвоведения (Üleliiduline Väetiste, Agrokeemia ja Agromullateaduse Teadusliku Uurimise Instituut)
ВНИИГиМ (VNIIGiM) — Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт Гидротехники и Мелиорации (Üleliiduline Hüdrotehnika ja Melioratsiooni Teadusliku Uurimise Instituut)
ГГИ (GGI) — Государственный Гидрологический Институт (Riiklik Hüdroloogiainstituut)
Гипроводхоз (Giprovodhoz) — Всесоюзный Государственный Институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства (Üleliiduline Riiklik Veemajanduse ja Melioratsiooni Ehituste Projekteerimise Instituut)
Главводхоз (Glavvodhoz) — Главное Управление Водного хозяйства Министерства сельского хозяйства СССР (NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi Veemajanduse Peavalitsus)
ГОСТ (GOST) — Государственный общесоюзный стандард (Üleliiduline riiklik standard)
ОСТ (OST) — Общесоюзный стандард (Üleliiduline standard)
НиТУ (NTT) — Нормы и Технические Условия (Normid ja Tehnilised Tingimused)
Росгипроводхоз (Rosgiprovodhoz) — Республиканский Государственный Институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства (Vene NFSV Vabariiklik Veemajanduse ja Melioratsiooni Ehituste Projekteerimise Instituut)
СНИИГиМ (Севниигим, SNIIGIM) — Северный Научно-Исследовательский Институт Гидротехники и Мелиорации (Põhja Hüdrotehnika ja Melioratsiooni Teadusliku Uurimise Instituut)
Союздорпроект (Sojuzdorprojekt) — Государственный институт по изысканиям и проектированию автомобильных дорог (Riiklik Autoteede Uurimise ja Projekteerimise Instituut)

Tekst on esitatud peatükkide, paragrahvide ja punktide järgi. Paragrahvid on märgitud kahe, sidekriipsuga eraldatud järjekorranumbriga, milles esimene number näitab peatükki ja teine paragrahvi järjekorda peatükis.

Tabelid, joonised ja tähtsamad valemid on nummerdatud kahe, sidekriipsuga lahutatud järjekorranumbriga, milles esimene näitab peatüki ja teine tabeli, joonise või valemi järjekorranumbrit.

Viited tekstis on piiratud ümarsulgudega ( ).

Nurksulgudes [ ] arv tekstis viitab peatüki kirjanduse loetelus antud teose järjekorranumbrile.

SISUKORD

Eessõna 3

Esimene peatükk. **Maaparanduse ülesanne ja arenemine**

§ 1-1. Maaparanduse mõiste ja ülesanne 5
§ 1-2. Maaparanduse rahvamajanduslik tähtsus 6
§ 1-3. Maaparanduse senisest arenemisest 6
§ 1-4. Maaparanduse edasiarendamise perspektiive 8
Kirjandust 10

Teine peatükk. **Mullad maaparanduse objektina**

§ 2-1. Mulla omaduste tundmise vajadus 11
§ 2-2. Mulla mõistest ja tekkest 12
1. Mulla mõiste, selle erinevus pinnase mõistest 12
2. Muldade tekkest 13
§ 2-3. Mulla profiil ja horisondid 14
1. Mulla profiil 14
2. Mulla profiilis esinevad horisondid 14
3. Mulla omaduste määramisest 16
§ 2-4. Mulla omaduste määramine profiili morfoloogiliste tunnuste abil . . 16
1. Viljakate muldade profiil 16
2. Väheviljakate muldade profiil 16
3. Liigniiskete muldade profiil 17
4. Lühiaegselt liigniiskete muldade profiil 17
5. Kestvamalt liigniiskete muldade profiil 18
6. Alaliselt liigniiskete muldade profiil 18
§ 2-5. Mulla omaduste määramine taimkatte abil 19
1. Mulla happelist reaktsiooni näitavaid taimi 19
2. Mulla leelisest reaktsiooni näitavaid taimi 19
3. Liigniiskete muldade taimi 23
4. Toitaineterikaste soode taimi 23
5. Kultuurtaimed liigniiskuse näitajatena 23
6. Kuivendust mittevajavate looduslike rohumaade taimi 32
§ 2-6. Liigniiskete mineraalmuldade iseloomustus 32
1. Muldade soostumise põhjusi 32
2. Liigniiskete mineraalmuldade liigitus 35
3. Lühiaegselt liigniisked (gleistunud) mullad 36
4. Kestvamalt liigniisked mullad (gleimullad) 38
5. Alaliselt liigniisked (turvastunud) mullad 39
6. Üleujutatavad mullad 39
§ 2-7. Soode ja soomuldade iseloomustus 41
1. Soo mõiste, soode tekkimine 41
2. Soode üldliigitus 42
3. Tähtsamate madalsoode liigitus 42
4. Rabade ehk kõrgsoode liigitus 43
5. Puissoode ja soometsade liigitus 44
6. Turba botaaniline koostis ja turbaliik 45
7. Tunnuseid tähtsamate turbaliikide määramiseks 47
8. Tunnuseid turbalasundite all olevate enam esinevate järvesetete (sapropeelide) määramiseks 51
9. Turba lagundumisaste 51

10. Turba kännusus (turbasse mattunud puit) 55
11. Turbalasund 56
12. Soomuldade põllumajanduslikust kasutamisest 56
§ 2-8. Muldade melioratiivne ja viljelusväärtuse hinnang 58
1. Kuivendamist mittevajavad mullad 58
2. Kuivendamist vajavad mullad 60
3. Mullaerimite skemaatiline jaotus liigniiskuse astme ja kuivendusvajaduse järgi 66
§ 2-9. Muldade (pinnaste) füüsikalisi ja agrokeemilisi omadusi 67
1. Muldade (pinnaste) klassifitseerimine mehaanilise koostise alusel 67
2. Mehaanilise koostise määramine 71
3. Voolavad pinnased (vesiliivad) 73
4. Mulla (pinnase) erikaal 73
5. Mahukaal 74
6. Poorsus 77
7. Plastilisus 81
8. Sidusus 82
9. Kleepuvus 82
10. Termilisi omadusi 83
11. Mulla küpsus 85
12. Mulla struktuur 85
13. Muldade agrokeemilisi omadusi 86
Kirjandust 89

Kolmas peatükk. **Mulla veerežiim ja selle reguleerimine**

§ 3-1. Mullavesi 91
1. Mullavee liigitus 91
2. Seotud vesi 91
3. Vaba vesi 92
4. Aurukujuline vesi mullas 93
§ 3-2. Mulla veerežiim 93
1. Veerežiimi muutuvus ja seda mõjutavad tegurid 93
2. Veega toitumise tüüpide iseloomustus 94
§ 3-3. Vee liikumine mullas 95
1. Kapillaarvee liikumine 95
2. Gravitatsioonivee liikumine 96
§ 3-4. Mulla veemahutavus 97
1. Mineraalmuldade veemahutavus 97
2. Turvasmuldade veemahutavus 98
3. Mulla ekvivalentniiskus 99
4. Mulla niiskuse iseloomustamine näitarvu pF abil 99
5. Mulla veeloovutus 100
§ 3-5. Mullavee kättesaadavus taimedele 100
1. Mulla surnud veevaru 100
2. Närbumispiir 101
3. Taimedele kättesaadav vesi 101
§ 3-6. Taimede veetarve 102
1. Transpiratsioon 102
2. Taimede veetarviduse dünaamika ja kogu veetarve 103
§ 3-7. Mulla veerežiimi reguleerimise vajadus 103
1. Vee ja hapniku vahekord mullas 103
2. Liigkuivus ja liigniiskus 104
§ 3-8. Mulla veerežiimi reguleerimise abinõude liigitus 105
1. Agrotehnilised abinõud 105
2. Agromelioratiivsed abinõud 106
3. Agro-metsamelioratiivsed ehk metsanduslikud abinõud 107
4. Hüdromelioratiivsed abinõud 107
Kirjandust 107

Neljas peatükk. **Hüdroloogilised arvutused**

§ 4-1. Arvutuste ülesanne 109
§ 4-2. Äravoolurežiimi selgitamine 109
1. Jõed ja vesikond 109
2. Veeseisu ja vooluhulga mõõtmine 110
3. Äravoolu arvutamisviise 111
§ 4-3. Äravoolu mõjutavad tegurid ja nende arvutamine 121
1. Sademed 121
2. Õhu temperatuur ja niiskus 123
3. Auramine 125

4. Pinnase veejuhtivus 125
5. Järved 125
6. Sood ja metsad 126
7. Kuivenduse mõju 126
§ 4-4. Äravoolu arvutamise valemid 127
1. Valemite üldiseloomustus 127
2. Kevadine maksimaalne äravool 128
3. Vegetatsiooniperioodi (V—X kuu) maksimaalne äravool 129
4. Kevadine külviaegne äravool 130
5. Vegetatsiooniperioodi (V—X kuu) keskmine äravool 131
6. Suvine (VI—VII kuu) keskmine äravool 131
7. Sügisene (IX—X kuu) keskmine äravool 131
§ 4-5. Kuivendussüsteemide arvutuste alused 132
Kirjandust 133

Viies peatükk. **Hüdraulilised arvutused**

§ 5-1. Üldteatmed 134
1. Hüdraulika mõiste 134
2. Vedelike tähtsamad füüsikalised omadused 134
§ 5-2. Hüdrostaatika 135
1. Hüdrostaatiline rõhk 135
2. Hüdrostaatiline survejõud 136
3. Kehade ujumine vedelikus 139
4. Süvise määramine 139
§ 5-3. Põhiteatmeid hüdrodünaamikast 140
1. Voolamise liigitus 140
2. Voolusängi profiili (ristlõike) hüdraulilised elemendid, vooluhulk ja voolu keskmine kiirus 141
3. Bernoulli võrrand 143
4. Voolu hüdraulilised takistused 145
§ 5-4. Voolamine avadest, jätketest ja lühikestes torustikes 156
1. Üldmõisted 156
2. Uputamata avad 157
3. Uputatud avad 157
4. Voolamine varja alt horisontaalses rennis (lüüsregulaator, turbiinikamber jt.) 158
5. Anumate tühjenemine ja täitumine (muutuva survekõrguse puhul) . 159
6. Voolamine jätketest 160
7. Voolamine lühikestes torustikes (düüker, sifoon, pumba imitorustik, surve all töötav truup jt.) 161
§ 5-5. Surveline voolamine 161
1. Lihttorustik 161
2. Liittorustik 165
3. Hüdrauliline löök 167
§ 5-6. Ühtlane voolamine lahtistes veejuhtmetes ning surveta torustikes . . 168
1. Arvutamise valemid 168
2. Lahtiste veejuhtmete ristlõike kuju 168
3. Lahtiste veejuhtmete hüdraulilised arvutused 170
4. Osalise täitega töötavad torustikud (kanalisatsiooni- ja drenaaživorustik jt.) 176
5. Voolu lubatav kiirus 180
§ 5-7. Ebaühtlane voolamine lahtistes veejuhtmetes 186
1. Üldmõisted 186
2. Profiili erienergia, voolu kriitiline sügavus 186
3. Veejuhtme kriitiline kalle 188
4. Pais- ja langjooneliigid ning nende esinemine 189
5. Pais- ja langjoone määramine prismaatilistes voolusängides . . . 190
6. Pais- ja langjoone määramine looduslikes voolusängides 198
§ 5-8. Ülevoolud 200
1. Kitsaharjalised ülevoolud 201
2. Praktilise kujuga ülevoolud 202
3. Laiaharjalised (laialävelised) ülevoolud 203
§ 5-9. Vooluhüpe 206
1. Üldmõisted ja põhivalem 206
2. Voolu sügavuse (h_a) määramine ahenenud elavlõikes 207
3. Veelöögikaevu arvutused 208
§ 5-10. Astangud ja kärendikud 210
1. Lävise hüdraulilised arvutused 210
2. Veelöögikaevu hüdraulilised arvutused 211

3. Suudme hüdraulilised arvutused 211
4. Kärendiku hüdraulilised arvutused 212
§ 5-11. Truubid 212
Kirjandust 216

Kuues peatükk. **Kuivendusvõrgu koosseis, detail- ja piirdevõrk**

§ 6-1. Kuivendusviisid 217
§ 6-2. Kuivendusviisi valik 218
§ 6-3. Soode kuivendamise iseärasusi 219
1. Üldnõuded 219
2. Turba vajumine 220
3. Turba filtratsioonivõime 221
§ 6-4. Kuivendusvõrgu koosseis 222
§ 6-5. Kraavitus 224
1. Kasutamisulatus 224
2. Lahtise detailvõrgu koosseis ja konstruktsioon 224
§ 6-6. Savitorudrenaaž 225
1. Kasutamisulatus 225
2. Konstruktsioon ja toimimisviis 226
3. Süsteemid 226
4. Dreenide pikkus 227
5. Savitorude mõõtmed 227
6. Torude tarve 228
7. Eriotstarbelised torud 228
8. Dreenide ühendamine kollektoriga 229
§ 6-7. Puittorudrenaaž 230
1. Laudtorudrenaaž 230
2. Freestorudrenaaž 232
§ 6-8. Muudest materjalidest drenaažitorud 233
1. Tsementbetoontorud 234
2. Klaastorud 234
3. Asfaltbetoontorud (bituumentorud) 234
4. Savitorud turbalisandiga 234
5. Plastmasstorud 235
§ 6-9. Täidisdrenaaž 236
1. Lattdrenaaž 236
2. Hagu- ehk fašiindrenaaž 237
3. Kividrenaaž 237
§ 6-10. Õõsdrenaaž 238
1. Muttdrenaaž 238
2. Piludrenaaž 239
§ 6-11. Maa-aluse vee dünaamika alused 239
1. Vee liikumise iseloom pinnases (mullas) 239
2. Põhjavee liikumise seadused 239
3. Põhjavee liikumise võrrandid 242
§ 6-12. Detailvõrgu koosseis, paigutus maastikul ja töötamise viis 244
1. Detailvõrgu koosseis 244
2. Detailvõrgu paigutus maastikul 245
3. Detailvõrgu töötamise viis 250
§ 6-13. Kuivendamine põhjavee alandamise teel 252
1. Detailvõrgu ülesanne 252
2. Kuivendusnorm 252
3. Kuivendajate sügavus 254
4. Kuivendajate vahekaugus 255
§ 6-14. Drenaaži hüdraulilised arvutused 259
1. Savitorud 259
2. Laudtorud 261
3. Freestorud 262
§ 6-15. Looduslike rohumaade kuivendamine 262
§ 6-16. Raskete savimaade kuivendamine 263
1. Raskete savimaade kuivendamise iseärasusi 263
2. Drenaaži kasutamine raskete muldadega põllumaade kuivendamiseks . 264
3. Lahtine detailvõrk koos agromelioratiivsete abinõudega 266
§ 6-17. Agromelioratiivsed abinõud 267
1. Ülesanne ja tähtsus 267
2. Sügav künd ja künnialuse kihi kobestamine 267
3. Muttimine 268
4. Kitsaeeline künd 269
5. Vagumine 269
6. Profileerimine 270

§ 6-18. Piirdevõrk 270
1. Lahtine piirdevõrk 271
2. Kinnine piirdevõrk 271
Kirjandust 272

Seitsmes peatükk. **Kuivendussüsteemi põhivõrk ja veevastuvõtja**

§ 7-1. Põhivõrgu veejuhtmete paigutus maastikul 273
§ 7-2. Põhivõrgu veejuhtmete hüdraulilised arvutused 275
§ 7-3. Kuivendusvõrgu veejuhtmete omavaheline ühendamine 279
1. Veejuhtmete ühendamine plaanis 279
2. Veejuhtmete ühendamine vertikaalpinnas 279
§ 7-4. Veevastuvõtjate seisukord ja reguleerimise vajadus 280
§ 7-5. Veejuhtmete õgvendamine ja sõvendamine 282
1. Veejuhtmete õgvendamine 282
2. Veejuhtmete sõvendamine 283
§ 7-6. Voolusängi korrastamine 284
§ 7-7. Veekogude reguleerimine 285
§ 7-8. Parvetuskraavid (-kanalid) 286
Kirjandust 287

Kaheksas peatükk. **Erikuivendusviisid**

§ 8-1. Üleujutuste reguleerimine jõeluhtades 288
§ 8-2. Polderkuivendus 290
§ 8-3. Madalike kolmatsioon 295
§ 8-4. Kuivendamine paisude mõjupiirkonnas 296
§ 8-5. Vertikaalkuivendus 298
§ 8-6. Aiamaade ja parkide kuivendamine drenaažiga 299
§ 8-7. Asulate ja ehitusplatside kuivendamine 301
§ 8-8. Soode kuivendamine turba tootmiseks 303
Kirjandust 306

Üheksas peatükk. **Metsamaade kuivendamine**

§ 9-1. Metsamaade kuivendamise ülesanne 307
§ 9-2. Metsa-kasvukohatüübid 307
§ 9-3. Liigniisketel mineraalmuldadel kasvavad metsad 312
§ 9-4. Kuivendamata soomuldadel kasvavad metsad 314
§ 9-5. Kuivendatud soomuldadel kasvavad metsad 317
§ 9-6. Sood 317
§ 9-7. Kuivenduse metsamajanduslik efektiivsus 319
1. Kuivenduse toime 319
2. Sõltuvus kasvukohatüübist 319
3. Sõltuvus metsa vanusest 320
4. Sõltuvus mullastikust 321
5. Sõltuvus boniteedist, koosseisust ja täiusest 322
6. Sõltuvus soostumise põhjustest 322
§ 9-8. Metsamaade kuivendusprojekti aluseid 323
1. Kuivendusvõrgu plaaniline lahendus 323
2. Kuivenduskraavide vahekaugus 323
3. Kuivenduskraavide sügavus 324
4. Kraavide põhja laius 325
5. Kraavide nõlvus 325
6. Kraavide kalle 325
Kirjandust 326

Kümnes peatükk. **Põllumajanduslike maade niisutamine**

§ 10-1. Võitlus mulla veevarude puudujäägiga 327
§ 10-2. Niisutusrežiim 329
1. Mulla niiskus ja veevaru 329
2. Niisutus- ja kastmisnorm 330
3. Kastmiskordade arv ja aeg 332
§ 10-3. Niisutusvee allikad ja vee omadused 333
§ 10-4. Niisutussüsteem 334
§ 10-5. Niisutusviisid 335
1. Liigitus 335
2. Pindmine niisutus 336
3. Maa-alune niisutus 337
4. Vihmutus 339
5. Vihmutusagregaadid 340

6. Vihmutusagregaatide üldine iseloomustus 346
7. Vihmutussüsteemi hüdraulilised ja energeetilised arvutused . . 347
§ 10-6. Väetav niisutus 349
1. Luhaheinamaade tulvniisutus 349
2. Niisutus reoveega 350
Kirjandust 351

Üheteistkümnes peatükk. **Mulla omaduste parandamine**

§ 11-1. Happeliste muldade lupjamine 352
1. Happeliste muldade levik 352
2. Mulla lupjamisvajaduse kindlaksmääramise viise 352
3. Lubjaannuste doseerimine 354
4. Lubiväetised 355
5. Lupjamise tehnika 356
§ 11-2. Muldade savitamine ja liivatamine 356
1. Turvasmuldade savitamine ja liivatamine 356
2. Kergete liivmuldade savitamine 357
3. Raskete savimaade liivatamine 357
4. Savitamise tehnika 357
5. Liivatamise tehnika 358
§ 11-3. Mineraalmuldade parandamine turba ja mudaga 358
Kirjandust 359

Kaheteistkümnes peatükk. **Agro-metsamelioratsioon**

§ 12-1. Metsaribad 360
1. Metsaribade ülesanne ja toime 360
2. Metsaribade struktuur 360
3. Metsaribade paigutamine maastikul 361
§ 12-2. Rändliiva kinnistamine 362
1. Rändliiva levik 362
2. Rändliiva metsastamine 363
§ 12-3. Lume ärapuhumise tõkestamine 363
§ 12-4. Muldade erosioon 363
1. Pinnalise erosiooni vastu võitlemine 363
2. Uhtorgude (ovraagide) tekke vastu võitlemine 365
Kirjandust 365

Kolmeteistkümnes peatükk. **Hüdrotehnilised ehitised kuivendussüsteemidel**

§ 13-1. Paisud ja lüüsregulaatorid 366
1. Koostiselemendid 366
2. Avade kujundamine 368
3. Ehituskonstruktsioonide arvutused 368
4. Kivi- ja betoonpaisud 371
5. Puistpaisud 374
6. Puitpaisud 375
7. Lüüsregulaatorid 376
§ 13-2. Muldtammid (kaitsetammid) 377
1. Muldtammide liigitus ja ehitusmaterjalid 377
2. Muldtammide projekteerimine 378
§ 13-3. Voolusängide kindlustamine 380
1. Ülesanne ja tähtsus 380
2. Kindlustiste põhiliigid 380
3. Voolusängi kindlustiste tüübid 385
§ 13-4. Põik- ja pikitammid 389
1. Tammide ülesanne 389
2. Põiktammid 390
3. Pikitammid 392
§ 13-5. Astangud, kärendikud, akveduktid 392
§ 13-6. Düükrid, survetorud, sifoonid 396
1. Düükrid 396
2. Survetorud 397
3. Sifoonid 399
§ 13-7. Settebasseinid 400
§ 13-8. Jootmiskohad ja tuletõrje veevõtukohad 401
1. Jootmiskohad 401
2. Tuletõrje veevõtukohad 404
§ 13-9. Drenaaži armatuur 405
1. Suudmed 405
2. Settekaevud ja kontrollkaevud 408

3. Neelukaevud ja imbkaevud 410
4. Astangkaevud 411
5. Allikakaevud 412
6. Dreenide läbiviimine teede ja kraavide alt 412
Kirjandust 414

Neljateistkümnes peatükk. **Teedevõrk kuivendataval maa-alal**

§ 14-1. Teed 415
1. Teede liigitus ja paiknemine 415
2. Teede tehnilisi näitajaid 416
3. Teemulde piki- ja ristprofiil 416
4. Teekate 418
5. Veetõrje 420
6. Teede rajamine soodes 420
7. Karjateed 421
§ 14-2. Sillad 422
1. Sildade liigitus 422
2. Sildade gabariidid 422
3. Koormused (jõud) sillal 422
4. Puitsillad 423
5. Raudbetoonsillad 427
6. Täiendavaid projekteerimisaluseid 430
§ 14-3. Truubid 432
Kirjandust 438
Lisa 1. Matemaatilisi ja füüsikalisi teatmeid 439
1. Konstante 439
2. Mõõtühikute võrdlusi 439
3. Algebralisi andmeid 441
4. Planimeetria 442
5. Stereomeetria 444
6. Trigonomeetria 447
Lisa 2. Valimik maaparandusalaseid termineid 453
Kasutatud lühendeid ja tähistusi 466

Trükivigu «**Maaparanduse käsiraamat I-s**»

Lk.	Rida	On trükitud	Peab olema
66	tabel 2-13, lahter 1, rida 9	o) gI	$K_{(o)\,gI}$
66	tabel 2-13, lahter 1, rida 11	o) gII	$K_{(o)\,gII}$
67	ülalt 1	nõrgalt gleistunud niisked) mullad	nõrgalt gleistunud (niisked) mullad
70	tabel 2-17, lahter 3, rida 1	Peenesest enam	Peenesest enam,
85	ülalt 23	Jämepähkeljas osade	Jämepähkeljas, osade
174	alt 3	$b=\psi'_b br$	$b=\psi'_b b_r$
193	lahter 14, rida 2 alt	0,831	0,817
193	lahter 14, rida 1 alt	0,817	0,831

Täpsustusi «**Maaparanduse käsiraamat III-s**»

2	ülalt 6	XX, XXI, XXII-A	XX, XXII-A
2	ülalt 7	XXX-A ja XXX-B — ins. A. Remmel	XXX-A — ins. A. Remmel, XXI — ins. A. Remmel ja ins. U. Sihiveer
3	1. veerg, alt 8	$m=0\ldots4$	$m=0\ldots3{,}5$
3	1. veerg, alt 7	$i=0{,}05\ldots50‰$	$i=0{,}05\ldots30‰$
16	1. veerg, alt 6	keskkiirus	keskmine kiirus
18	1. veerg, ülalt 4	keskkiirus	keskmine kiirus
20	1. veerg, alt 18	$h=\sqrt[2,5+y]{\frac{Qn}{\delta\sqrt{i}}}$	$h=2\sqrt[2,5+y]{\frac{Qn}{\delta\sqrt{i}}}$
25	V skaala	1 2 2 3	Vasakpoolne 2 kustutada
42	1. veerg, ülalt 21	astmenäitajast	karakteristikust
42	1. veerg, ülalt 26	astmenäitaja	karakteristiku
44	1. veerg, ülalt 19	astmenäitajast	karakteristikust
44	3. veerg, ülalt 17	h	$\bar{h}$
60	2. veerg, alt 7 ja 6	moodul	karakteristik
64	tabeli pea, lahter 3	no	on
66	valem 1	r	r'

Коллектив авторов

СПРАВОЧНИК МЕЛИОРАЦИИ I

На эстонском языке

Оформление Р. Роос

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

Toimetaja M. Raud

Kunstiline toimetaja R. Tungla

Tehniline toimetaja I. Vahtre

Korrektorid P. Hiie ja V. Leibak

Ladumisele antud 5. VIII 1961. Trükkimisele antud 29. XII 1961. Paber 70×108, 1/16. Trükipoognaid 29,75+1 lisa. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 40,59. Arvutuspoognaid 40,34. Trükiarv 4000. MB-09186. Tellimise nr. 7262. Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. I

Hind rbl. 1.73

4—1

21073

B
1891
1.
347522 f

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00347522 7

B
1891
347522 f
1.

MAAPARANDUSE KÄSIRAAMAT · MAAPARANDUSE ALUSED

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00347522 7

MAAPARANDUSE KÄSIRAAMAT

MAAPARANDUSE ALUSED

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS