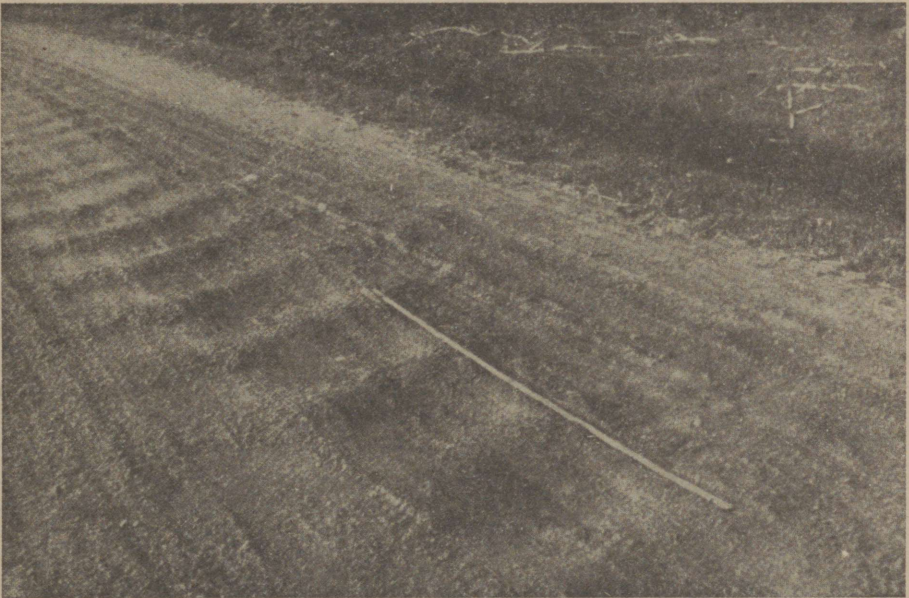


R. AMBROS

ORG. TODT'I EESTI MAANTEEDE VALITSUSE DETSERNENT

**KRUUSATEEDE LAINETUSEST,
LÖÖKAUKUDE TEKKIMISEST
JA
NENDE NÄHTUSTE VÄLTIMISEST**



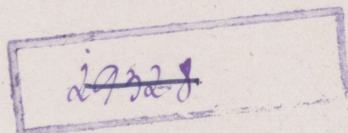
ORG. TODT'I EESTI MAANTEEDE VALITSUSE VÄLJAANNE

1942

R. Ambros

Org. Todt'i Eesti Maanteede Valitsuse detsernent

Kruusateede lainetusest,
löökaude tekkimisest
ja
nende nähtuste vältimisest



Org. Todt'i Eesti Maanteede Valitsuse väljaanne

1942

2.



Tallinna Eesti Kirjastus-Ühisuse trükikoda, Pikk 2.

A-13278

Kruusateede lainetusest, löökaukude tekkimisest ja nende nähtuste vältimisest

Primaarseks põhjuseks sõidutee pinna kuju muutuses on hobusõiduki rataste mõju.

Jättes aga selle nähtuse analüüsimata, peatun mootorsõidukite kui sõidutee pinna lainetust väljakutsuva teguri juures.

Jõuvankri raskus kantakse üle sõidutee pinnale elastsete vedrude ja õhurehvide kaudu. Liikudes tee pinnal kutsub jõuvanker esile pinnase vibreerimise ja veorataste all — koormusest sõltuva pöördejõu.

Muutmatu kiiruse puhul jõuvankrist teepinnale ülekantav surve on ühtlane vaid lühikesel teekonnal: iga ebatasasus teepinnal, jõuvankri kiiruse muutus ja vedrude ning rataste õõtsumine šassiis muudab ülekantava surve varieeruvaks — teatavast miinimumist maksimumini ja jälle vastupidi. Selle tulemusena tekivad sõidutee pinnas lohud, kühmud ja muud säärased ebatasasused.

On sõidutee pind ebatasane, püüab jõuvankri juht oma sõiduki kiiruse valida nii, et jõuvankri rattad satuksid lainelise teepinnaga võimalikult resonantsi. See nähtus aga suurendab omakorda lainetuse tekkimist teepinnal. Sisuliselt on sõidutee pinna lainetus teekattes asetseva materjali ümberpaigutuse nähtus ja see on seda aktiivsem, mida rohkem on ühel või teisel materjalil kalduvust selliseks ümberpaigutuseks. Ka omavad meteoroloogilised tegurid suure tähtsuse teepinna ebatasasuste moodustamisel.

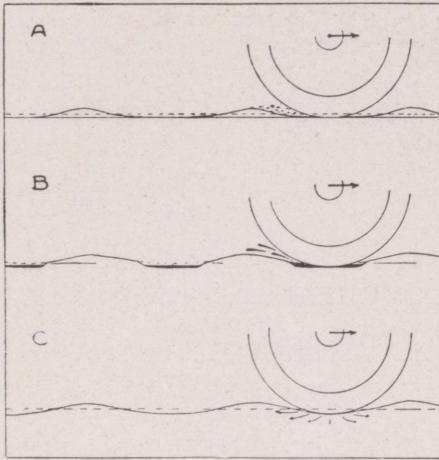
Võib tähele panna, et lained ja löökaukud tekivad pinnase kolme mehaanilise protsessi tulemusena, ja nimelt:

- 1) lahtise kruusa paiskumisest rataste mõjul;
- 2) sademeist läbiimbunud pinnase puhul ja
- 3) pinnase plastilisest deformatsioonist ehk kujumuutest.

Need protsessid võivad esineda kas kõik koos või ka kahe või kolme kaupa. Ka võib üks neist esineda domineerivana.

Vastavalt mehaanilise protsessi omadustele on erinevad ka löökaukud ja suurima praktilise tähtsuse omavad grupid nr. 1 ja 2, kuna grupis nr. 3 kirjeldatud deformatsioon esineb iseseisva nähtusena ja on tingitud peaaegaliselt pinnase materjali omadusist.

Allpooltoodud joonisel on näidatud skemaatiliselt kolm laine tekkimise moodust.



Joon. nr. 1.

- a) kruusa paiskumine,
- b) sademeist läbiimbnud pinnase puhul löökaukude tekkimine ja
- c) plastilised deformatsioonid.

Harilik lainetus tekib kas kattede kruusa paiskumisest jõuvankri rataste all, lahtise kruusa koondumisest kühmudesse (selglainetus) või jälle kuival aastaajal lahtiseks muutunud kattematerjali ümberpaigutustist.

Kõiki neid nähtusi põhjustavad jõuvankri rataste all tekkiv õhuhõrendus, surve ja hõõrumise jõud.

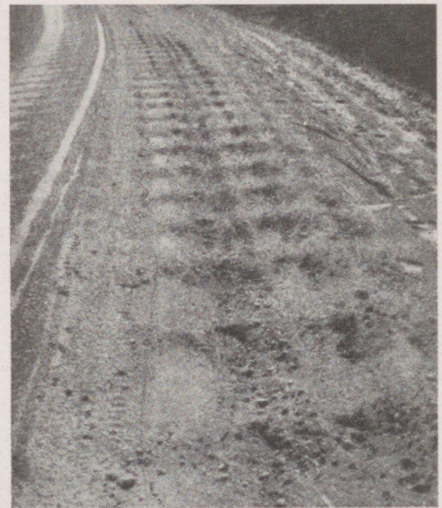
Õhuhõrendusest põhjustatud materjali paigutuse suund on veidi „üles” ja siis — liiklemise suunas „edasi”, kuna ratta hõõrumise jõud püüab suruda kruusa tahapoole, ja seda tugevamini, mida ägedam on aktseleeratsioon. Jõuvankrit pidurdades paigutatakse kruus liiklemise suunas.

Jooniseil nr. nr. 2, 3 ja 4 on näidatud lahtises kruusas tekkivaid lainetuse tüüpe.

Lahtise kattematerjali ümberpaigutuste puhul toimub ka materjali teatav sorteerumine: jämedad ja ümmargused kruusaterakesed ei jää püsima laineharjadele, vaid veerevad inertsi jõul edasi.

Peened osad ei kuku hoogsalt pinnale, vaid hõljuvad õhus tolmu näol; keskmise terasusega liiv on liig raske selleks, et hõljuda tolmu näol, kuid liig kerge selleks, et rulluda teel, ja seepärast jääb see nimetamisväärsel hulgal seljandikule ning moodustab domineeriva osa lainete tekkimist põhjustavast materjalist.

Puhtal kujul ilmneb säärane teepinna lainetuse tüüp seal, kus sõidutee pind on kõva ja tasane, kuid kaetud täiendava kruusatamise puhul peene, mittesiduva liivaga (vaata joon. nr. 5).



Joon. nr. 2.

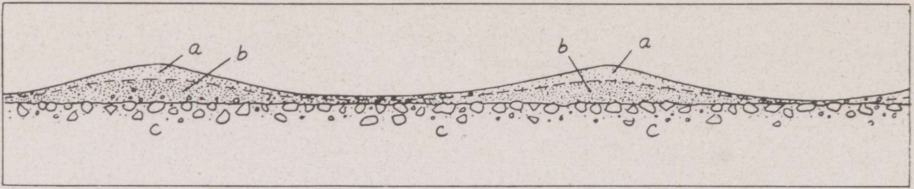
Tüübiline lainetus sõiduteele asetatud lahtise kattematerjali puhul.



Joon. nr. 3.
Detailülesvõte eelmisest.



Joon. nr. 4.
Lahtisest materjalist tingitud lainetus.



Joon. nr. 5.

Skemaatiline läbilõige peeneteralise materjaliga korrashoitud teest.

- a) Lahtine peeneteraline materjal.
- b) Tihenenud, kuid umbes samakoosseisuline materjal.
- c) Kõva ja tasane, tihenenud pinnas.

Teine liik ebatasasustest sõidutee pinnal on löökaugud ja nende tekkimine on põhjustatud materjali pritsimisest või paiskumisest ühest kohast teise.

Need tõelised löökaugud ilmuvad mitte iseseisva nähtusena, vaid tekivad siis, kui sõidutee pinnases on ebatasasusi ja neisse lohukestesse kogunenud vesi on leotanud sõidutee pinna pehmeks taignaks. Satub jõuvankri ratas säärasesse lohukesse, surub ta vedela materjali pritsmete näol välja. Siin ei teki lainetusel ei korrapäraselt amplituudi ega ka reegli-
pärast vormi, vaid laine tekkimine ja kuju jääb sõltuvaks pinnase niiskuse ja kattematerjali terasuse astmest. Võib

aga sageli märgata, et säärased löök-
augud ilmnevad üksikute gruppide viisi või jälle ribana — reegli-
pärastelt domineerivas jõuvankri rataste liik-
lemise suunas. Säärased löökaugud tekivad intensiivselt seal, kus katta-
materjal on puudulikkuse tõttu sideaine. (Vaata
ülesvõtteid nr. 6, 7, 8, 9 ja 10.)

Nagu eespool mainitud, püüab
jõuvankri juht jõuvankrile anda lai-
netega resonantsis oleva kiiruse.

Kiiruse järsul juurekasvul esi-
neb tung tõugata lainet tahapoole,
kuna pidurdamise juures see tung
on suunatud ettepoole.

Mitmeliigiliste mõjude taga-
järjel võib tekkida ka uusi laineid —
ja nimelt erineva amplituudiga.

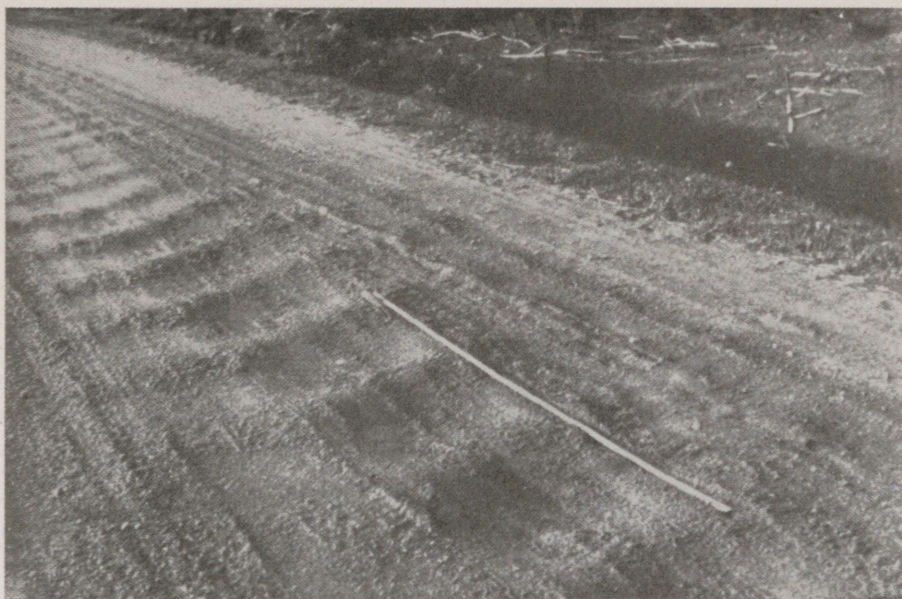
On sõidutee pinnal lahtine
kruus, võib olemasolevate lainetega
ebataktis juhitud jõuvanker kutsuda
esile tiheda amplituudiga laineid.

Lainete liikide ja iseloomu uuri-
miseks võetakse valitud teal ette
rida mõõtmisi ja tulemused fikseeri-
takse lainete sageduse diagrammiga.



Joon. nr. 6.

Löökaugud tiheda liiklemisega teel.



Joon. nr. 7.

Sügavate lainete ja löökaukudega teepind.

See seisukord on tekkinud põhjusel, et reeglipäraselt löökaukudega kaetud teepinda on, löökauke parandamata, kruusatatud peeneteralise kattematerjaliga (liivane kruus).

Mõõtmised ja vaatlused näitavad, et lained on võrdlemisi ühtlaselt jaotatud ja nende vahekaugused on tavaliselt 58—70 sm (Rootsi Teedeinstituudi uurimiste andmeil).

Süsteemilt on lained kahesugused: lühilained — suure sügavusega, mis tekivad koos löökaukudega, ja pikad lained — mis on sageli domineerivad ja millede tekkimist on põhjustanud lahtine kruus.

Lühilained tekivad kevadel ja sügisel, kui teepind on läbi imbunud veest ja jõuvankrite liiklemiskiirus on aeglasem.

Pikk laine on tüübiline suvine laine ja on tingitud suurest liiklemiskiirusest.

Pinnase deformatsioonist tingitult, eriti aga külmatundelises pinnases, on lainete pikkus 120—160—170 sm.

Laine amplituud ehk laine kõrgus on mitmesugune. Juba 1-sm amplituudiga lained on teel märgatavad.

Rootsi andmeil, kus on domineerivad kruusateed, liigitatakse lained kõrgusega 2—2¹/₂ sm normaalseiks, kuna suureks kõrguseks tuleb pidada 2¹/₂—3 sm ja üle selle.

Laine amplituud on sõltuv laineharjade vahelisest kaugusest ja on viimasele päriproportsionaalne.



Joon. nr. 8.

Tüübiline „kevadlainetus”. Siin on kahe nähtuse koostöö: löökaukude tekkimine koos pinnase plastilise deformatsiooniga.

Ka lumisel pinnal tekivad lained: külma ilmastiku puhul koondub lumi laineiks lahtise lume paigutustest. Lume sulamisel algab lume lagunemine nõgudes, nõod süvenevad järjekindlalt ja tulemuseks on sõidutee pinnas põhjalikud deformatsioonid.

Praktilise abinõuna laine tekkimise vältimiseks võib esmaajoones mainida balloon-, s. o. madalsurve õhukummide kasutamisele võtmist ja jõuvankrite varustamist tõukeleevendajatega.

Sõidutee pinna suhtes on primaarseks abinõuks peale kohase kruusa koostise õigeaegne ja teadlikult teostatud teede hõõveldamine.

Ka niiskuse astme alalhoidmine kattematerjalil on tõhusaks abinõuks lainete vältimiseks.

Kivialusega kruusatee niiskuse aste on madal ja seepärast tekib sel teel kuival ajal raskekujuline lainetus ning sageli ka intensiivne tolmmamine.

Nagu analüüsimisel on selgunud, koosneb lainehari peaaegaliselt hästi sorteeritud peeneteralisest liivast. Seega on peenikesel liival suurem kalduvus lainete tekitamiseks kui sõmeral liival või kruusal.

Kattematerjal, mis sisaldab teri seesuguses suuruses, et 50% üldmahust läheb läbi 1-mm sõela ja 2/3 üldmahust läheb läbi 2-mm sõela, tekitab oma omaduselt kergesti laineid.



Joon. nr. 9.

Detailülevõtte eelmisest. Siin on jämedateraline materjal jäänud löökaukudesse.

Kruus, mille koostises on umb. 50% 12,5-mm aukudega sõela läbis-tavat materjali, ei ole lainete suhtes tundlik ja mõjub tasandavalt varem lainetusse kalduvale kattepinna-le.

Neutraalne on selline kruus, kus 50% teri läbib sõela augu \varnothing 2 mm. Selline kruus ei soodusta ega takista lainete tekkimist.

Negatiivseks lainete tekkimisele võib nimetada kattematerjali, kus 4-mm aukudega sõelast läheb läbi vähemalt 50% üldmahust. Sellise terasuse juures ei ole karta lainete tekkimist.

Et vältida löökaukude tekkimist, tuleb valida kattematerjal nii, et viimane asetseks sõiduteel võimalikult tihedakehalisena ja seotud olekus. Ekslik oleks katta kinnist ja tihedat teepinda peeneteralise ja kive sisal-dava liivaga või jälle sõiduteed kuival ajal hõõveldada.

Ideaalseks materjaliks osutub keskmiseteraline kruus (\varnothing kuni 15 mm) küllaldase liiva ja sideaine sisaldusega.

Kui teostada teepinna hõõveldamist, siis teha seda sel määral, et teepind ei ole üksi näiliselt tasane, vaid et lainetus on kõrvaldatud kogu „juurtega“. Selleks on sobiv aeg kas varajane kevad või kestav vihma-periood.

Tuleks hoiduda sellisest sõidutee ehitamise viisist, mis soodustab kattekeha liigset kuivamist. Siin tuleks eeskätt mainida poorse kivialu-sega kruusateed. Endastmõistetavalt peab siinjuures ka muldkeha olema



Joon. nr. 10.

Külmamuhkudest mõjutatud sõidutee.

ehitatud kõigi tehniliste nõuete kohaselt ja ilmastikukindlalt. Kattematerjalis niiskuse alalhoidmiseks on soovitatav käsitada teepinda hügrooskoobiliste sooladega, sulfiitlahuga või bituumeni-emulsiooniga.

Milline peab olema nõudeile vastav kruus?

Kruusateede ehitamiseks ja korrashoiuks kasutatavat kruusa tuleb:

- vaadelda petrograafiliselt seisukohalt (mineraloogiline ja keemiline);
- uurida kruusa terade kuju ning kõvadust ja
- otsustada koosseisu terade suuruse järgi.

Murenemise teel mineraalidest tekkinud kruusateradel on mitmesugune kuju ja suurus.

Sadestamise teel tekkinud mineraalide terad omavad enamasti peenteralise struktuuri.

Mineraalide tundmine on tähtis igale maanteelasele.

Teele asetatud kruus peab olema vastupidav veega üleküllastunud seisukorras, samuti omama suure kõvaduse ja kuival ajal siduvusvõime. Pealeselle peab kruus võimaldama teepinna hõõveldamist.

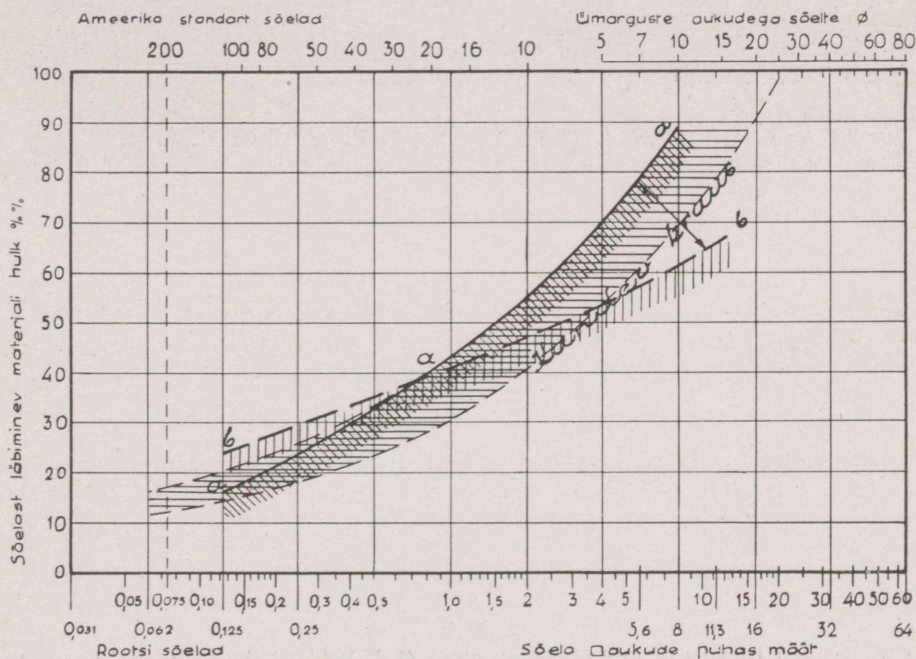
Kruusakihi kandevõime veega üleküllastumise puhul.

On tähtis, et kattematerjal ei võimaldaks ratta survest tingitud deformatsioone.

Materjali deformatsioonikindlus on sõltuv kattekihis asetseva kruusa tiheduse astmest või, piltlikult öeldes, kruusakihi „pakkimise“ tihedusest.

Mida mitmekesisem on kruusa terasus, seda tihedama keha võib saavutada ja seda kandevõimelisem on kattekiht nii kuivadel kui ka sademeterohketel aegadel.

Võib tähele panna, et ühel ja samal teetalal ja võrdse koormatuse ning aluspinna juures on, hoolimata teepinna üleküllastumisest veest, nii rööbasteta kui ka tihedasti rööbastega kaetud kohti. Võttes neist koh- tadeist proove ja joonestades võetud materjalide sõelumisel saadud kõver- jooned võib ära määrata sademeterohkeil ajal kandva kruusa piirjooned. Näide sellest on alljärgneval joonisel.



Joon. nr. 11.

Materjal, mille sõelumise kõverjooned asetsevad allpool antud piir- joont b-a-a, on kohane kandekihina kasutamiseks ja selles kattes ei teki sademeterohkeil ajal rööpaid (Rootsi andmeil).

Horisontaaljoontega viiratud väljaga on antud meie oludele vastava terade suuruse suhtes ideaalse kattematerjali sõelkõverjoone piirid.

Kruusatee kuival ajal.

Tähtsaimad nõuded sõidutee kohta on, et see oleks tasane, küllaldaselt kare, tolmuvaba ja võimaldaks hõõveldamist.

Ei sisalda kruus säärase läbimõõduga peenteri, mis tõusevad õhku tuulest või sõidukist tekitatud õhuliikumisest, on maantee tolmuvaba.

Peenteri on aga tarvis ruumi tühimike täitmiseks.

Peenteri võib aga ka mõne sideainega liita sõidutee pinnale.

Teepinna taset saab säilitada lainetuse ja löökaukude tekkimise vältimisega.

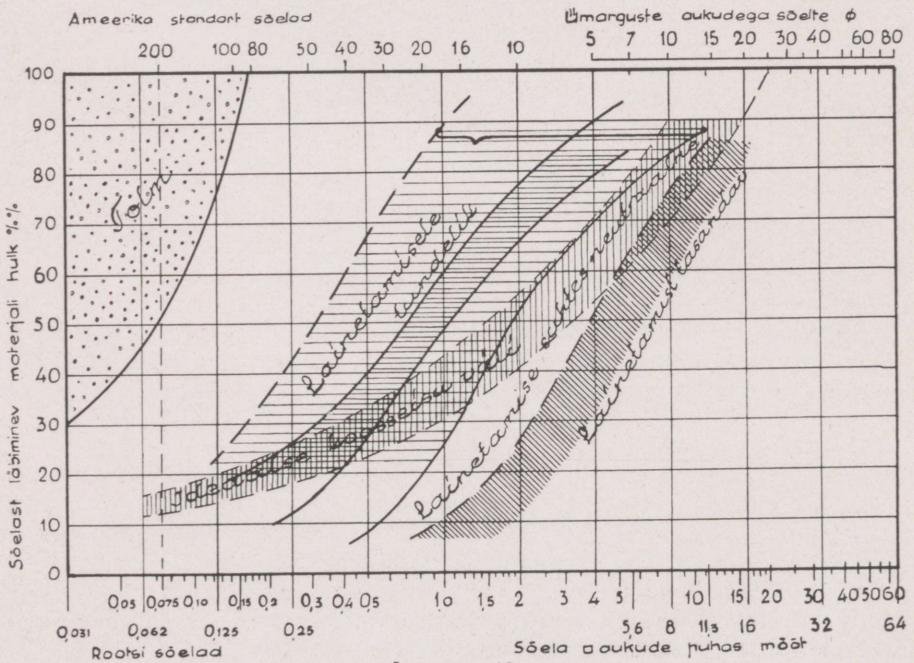
Rootsis toimetatud eriliste uurimuste abil on kindlaks tehtud, et tolmu teepinnalt ülestõusvate terakeste suurus ei ületa $\varnothing 0,2$ mm. Tavalise tolmu terakeste \varnothing on $0,1-0,02$ mm. Seega oleks teepind teoreetiliselt tolmuvaba, kui kattekruus ei sisaldaks teri \varnothing alla $0,2$ mm. Sel juhul asetseks aga kattematerjal teepinnal enamvähem lahtises olekus ja välisurve ning omavahelise hõõrumise tõttu mureneksid kruusaterad peenemaks ning edaspidine tolmmamine oleks vältimatu.

Sellest on tingitud nõue, et kruus peab asetsema sõidutee pinnal tiheda kihina.

Kruuskatte tihedus saavutatakse sel teel, kui kattematerjal koostatakse vastavalt sõelkõverjoone diagrammile.

Kruusase teepinna lainetuse vältimisest.

Missuguses kruuskattes ei teki pinnalainetust ja missuguse terade suurusega kruus on lainetustundlik, see selgub alljärgnevast joonisest.



Antud diagrammil on ära näidatud lainetustundliku materjali sõelkõverjoone piirjooned, samuti lainetamise suhtes neutraalse, lainetustasandava, tolmu ja ideaalse koosseisu sõelkõverjoone piirjooned.

Savi osatähtsus kattekruusas.

Ei tohi tähele panemata jätta savisisalduse vajadust kattekruusas. Savi omadus siduda kruusa kuival ajal kõvaks, kompaktses kehaks põhjeneb sellel, et savi, sisaldades teataval määral vett, ei anna kuivamisel kogu vett ära ja terakesed jäävad üksteisega liituvusse saviterakeste vahel tekkiva vee pindpinevuse arvel. Sel juhul peab aga kattematerjal olemas „pakitud“ tihedaks kehaks.

Nagu teada, on savi mineraalainete lagunemise produkt ja ta terakesel on kõige mitmekesisem suurus ja kuju.

Savi koosseisu kuuluvad ja suuruselt tuhandike millimeetri osadega ehk mikroonidega mõõdetavad mineraalkehakesed — räni, vilgukivi, põllupagu jne. — ei anna savile plastilisust. Seda annavad savile seni veel vähe tundmaõpitud väikesed kristallkehakesed, nagu kaoliiniit ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) ja montmorilloniit ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot xH_2O$).

Nagu eespool toodud joonisel näha, moodustavad savis leiduvad suuremad kehakesed sõrestiku ehk skeleti. See on savikeha kandev osa. Väikesed mikroskoopilised terakesed täidavad osa ülejäävast ruumist, andes pinnasele käsnaolise struktuuri. Need väikesed terakesed ja peentes poorides asetsev vesi on füüsilis-keemiliste protsesside alusel omavahel ühenduses — see nähtus annabki savile ta sitkuse ja kõvaduse.

Saviterakesed omavad kogusummas suure pindala. Teatavasti on 1 sm-lise tahuga savikuubiku külgpinna suurus 6 cm^2 .

Akadeemik Gedroiz'i uurimustel on selgunud, et lahutades selle — mahuga 1 cm^3 — kuubiku kõige peenemateks osadeks kasvab terakeste üldpindala kuni 6 ruutkilomeetrit.



1- saviasoke. 2- kolloid kõva kehake 3- kolloid kva kehake 4- suure suund

Joon. nr. 13.

Er. õibl. univ. Tart.

Tänu peenterakeste olemasolule savis on adsorptsiooni protsess savis suur.

Negatiivselt vee molekuli suhtes laaditud mineraalosaakesed tõmbavad vee ligi ja ümbritsevad end õhukese vedelikukihikesega. Savi kuivamisel tõmbab see vedelikukihike end suure, tuhandettesse atmosfääridesse ulatava jõuga terakestele ligi ja savi omab suure siduvuse ning tõmbele vastupidavuse võime.

Selle nähtusega on ka põhjendatud savisisaldusega kruusa tarvitusevõtmise teede ehituse ja korrashoiu alal ja säärase materjaliga korrashoiud sõidutee pinna kõvadus, tatasus ja tihedus.

Kruus, omades ülekaalus jämedaid teri, sisaldab palju ruumitühjust ja vähem spetsiifilist terade pinda; liivas on seevastu vähem tühimikke, kuid rohkem pinda.

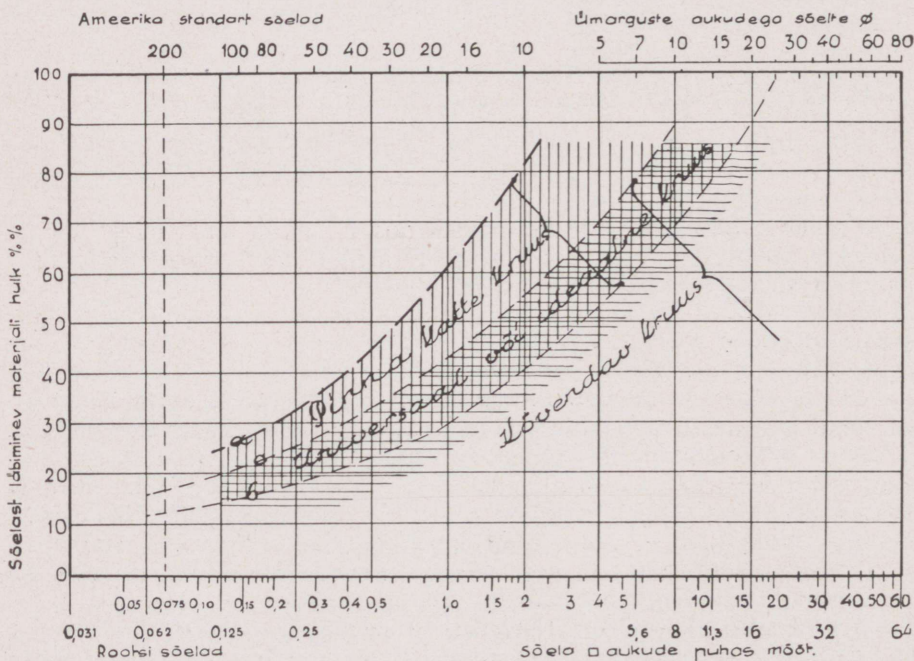
Segades kruusa peeneteralisema materjaliga saavutame tihedama massi ja selles alalhoiduv niiskus tõstab vee pindpinevuse arvel veelgi kattekeha kompaktsust.

Kattematerjal, mis oma terade koostise poolest praktiliste katsete põhjal vastab hea kruusatee ehitamiseks ja korrashoiuks ülesseatud nõudele, on esitatud alljärgneval joonisel.

Siin on piirjoontega a ja b tähistatud pinnakatteks kohane materjal, kuna piirjoonest c allpool asetsevad kõverjooned iseloomustavad „kõvendava“ kruusa sõelkõverjooni.

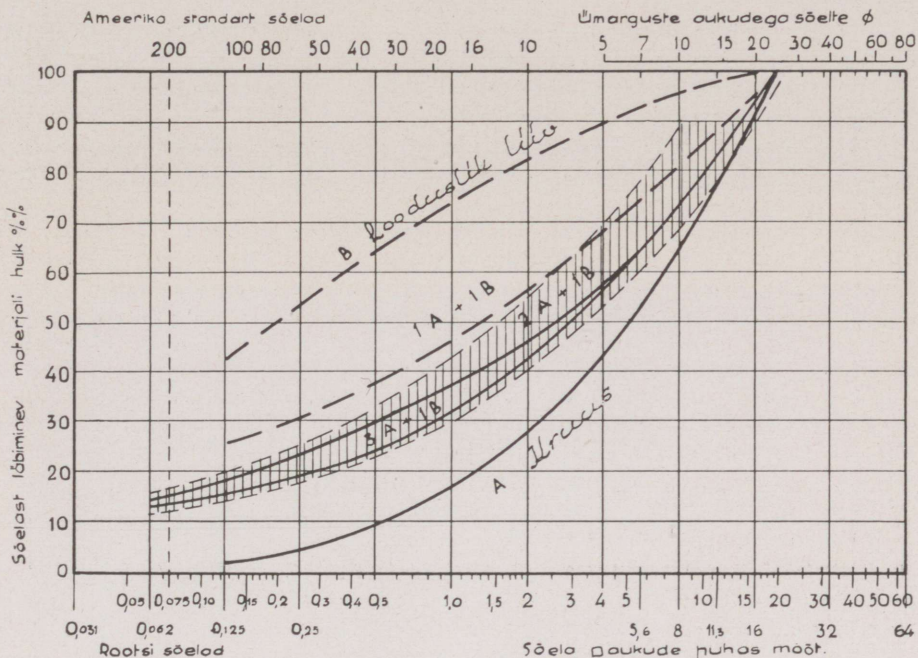
Joonte b ja c vahel asetsev kruus on terade suuruse suhtes ideaalne.

Kuna looduses ei leidu igal juhul „ideaalsele“ kõverjoonele vastavat kruusa, tuleb see saavutada koostamise teel.



Joon. nr. 14.

Näide sellest on allpool.



Joon. nr. 15.

Missuguse asendi võtavad A-st ja B-st koostatud segud, selgub sel joonisel.

Kattekruusast.

Graniitkividest valmistatud kunstkruus ei sisalda küllaldaselt määral peenteri. Paekivist valmistatud kunstkruusa peenemad fraktsioonid asendavad edukalt koostisse vajalist savi.

Kord õiges koosseisus sõiduteele asetatud kruus ei jää sellisena püsima. Peened osad kantakse veest ja tuulest ära, kuna jämedad terad, eriti aga lahtised, peenenevad liikluse tõttu.

On tarviline sõiduteele aeg-ajalt peenemat materjali juure lisada. Kinise sõidutee pinna puhul on materjali kadu tunduvalt vähem. Kattekruusa terade vähenemine toimub järjekindlalt, seepärast on vajaline perioodiliselt võtta teepinnast materjali proove ja sõelumise tulemusi võrrelda „ideaalsega“.

Kannatab üksi sõidutee pind külmamuhkude all või on tal nõrk kandevõime sademeterohkeil ajal, võib teepinna kandevõudu tõsta peenema katematerjali asendamisega jämeda- (20—4 mm) teralise kruusaga (kõrvaldades vajaduse korral ka ebakohase pinnase).

Kokkuvõttena jääb soovida, et kruusateede ehitajad ja korrashoidjad teostaksid järgmist:

1) Õpiksid tundma sõidutee pinna defekte ja määrama nende tekki-
mise põhjusi.

2) Omaksid alatiselt ülevaate ehitus- ja korrashoiu materjalide asu-
kohtadest, materjalide kvaliteedist jne.

3) Võrdleksid nii sõidutee pinna kui ka kattematerjalide vastavust
nõutavale eeskätt sõelkõverjoonte abil.

4) Omaksid oskuse koostada sõelkõverjoonele vastavaid segusid.

5) Parandaksid sõidutee pinnas tekkinud rikked õigeaegselt.

6) Teostaksid teede korrashoidu uue materjali pideva lisamisega,
mitte aga teepinna ühekordse paksu kihina kruusatamisega.

Küsimusele, kui paksult võib teepinda ühekordselt kruusaga katta,
vastaksin, et sel määral, et autoratas jätaks teepinna kattematerjalisse pro-
tektori jälje nii nagu see allpool on näidatud.



Joon. nr. 16.

Tallinnas 27. detsembril 1941.

Artikli koostamisel käsitatud kirjandus.

Alfred Hummel, Das Beton-ABC.

Teedehituse uurimise seltsi teadaanded nr. 1. 1936. a. art. nr. 1.

Rootsi Teedeinstituudi Teadaanded (Svenska Vägintitutet -- Stockholm).

Meddelande No 31 — Vägstudier i Forenta Staterna.

Meddelande No 37. — Om korrugeringen och dess mutarbetande.

Meddelande No 44 Tekniska-ekonomiska umredningar rörande väg väsendet.

Institutionen för Vägbyggnad och kommunikationsteknik Bulletin 2, 1937.

H. H. Maslov — Inseneri Geoloogia, 1941.

A-1