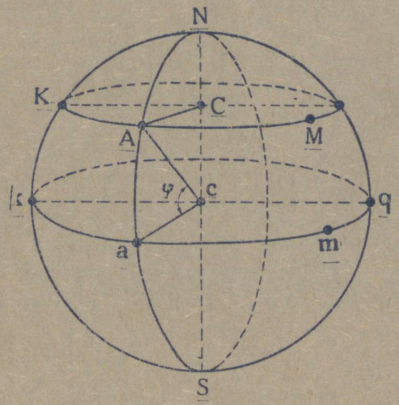
N. A. NAZAROV

GEODEESIA

II OSA



RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS" • TALLINN • 1947

Tagastage raamat õigeaegselt!
Возвратите книгу вовремя!

25982,

10.12

6664

H. H. 1154. II 65. 100.000.

A-16279

ÕPIKUD JA ÕPPEVAHENDID
PÕLLUMAJANDUSLIKELE TEHNIKUMIDELE

N. A. NAZAROV

GEODEESIA

II OSA

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"
TALLINN 1947

NSVL Põllutööministeeriumi
Kõrgemate Õppeasutiste ja Tehnikumide Peavalitsuse
poolt kinnitatud õpikuna maakorralduse
tehnikumidele

N
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
25982

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

PLAANISTAMINE MENSULIGA. TEHNILINE NIVELLIMINE. TAHHUMEETRILINE MÕÕDISTAMINE. BAROMEETRILINE NIVELLIMINE. SILMAMÕÕDULINE MÕÕDISTAMINE.

Plaanistamine mensuliga.

I peatükk.

ÜLDMÕISTEID JA INSTRUMENTIDE KONSTRUKTSIOONE.

§ 1. Nurgamõõduline mõõdistamine ja graafiline mõõdistamine ehk mensuliga plaanistamine või kaardistamine.

Nurkade horisontaalprojektsioonide saamiseks plaanile võib neid alguses mõõta maastikul (s. t. määrata nende kraadiline suurus), siis aga kodu vastavate arvutuste resultaadina kanda nad plaanile. Niisugust meetodit nurkade horisontaalprojektsioonide määramiseks, nagu me juba teame, kasutatakse nurgamõõdulise mõõdistamise juures.

Põhiline erinevus mensuliga plaanistamise ehk graafilise mõõdistamise ja nurgamõõdulise mõõdistamise vahel seisneb selles, et mensuliga plaanistamise juures nurkade projektsioonid konstrueeritakse väljas (maastikul) graafiliselt, vahenditult ka siinsamas koostataval plaanil. Jooned seejuures saadakse osalt mõõtmistest looduses, osalt samuti graafiliselt (konstrueerimisega).

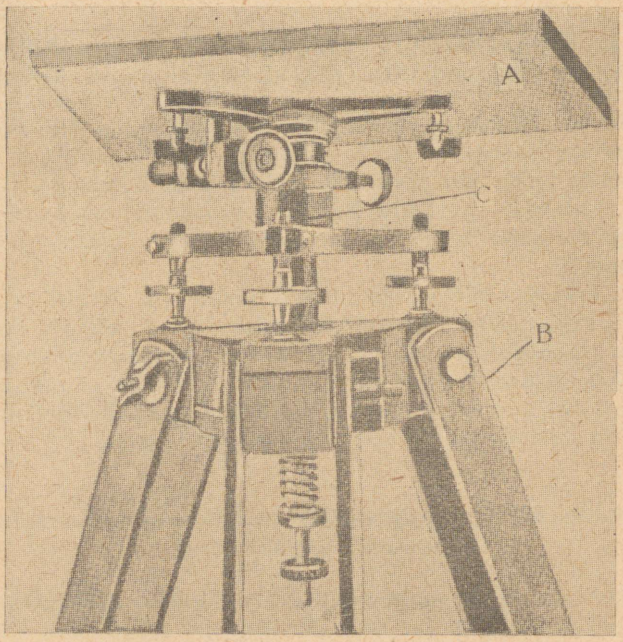
§ 2. Nurkade horisontaalprojektsioonide graafilise määramise (konstrueerimise) idee.

Maastikul nurkade saamise graafilise meetodi selgitamiseks kujutleme joonestuslauda, mille tasasele pinnale on tihedalt kleebitud paber. Seame üles ja kinnitame laua maastikul nurga tipu kohale horisontaalsesse asendisse ja märgime lauale punkti nii, et see

tuleks ühele ja samale vertikaaljoonele nurga tipuga. Kui pärast seda üle laual märgitud punkti ja üle nurga haarade tõmmata vertikaaltasapinnad, siis lõikudes laua pinnaga nad annavadki nurga otsitava horisontaalprojektsiooni.

Esitatu põhjal näeme, et nurga horisontaalprojektsiooni konstrueerimiseks on vaja omada:

1. Joonestuslauda, mida saaks üles seada ja kinnitada maastiku punktide kohale horisontaalsesse asendisse.
2. Viseerimisseadist, mille abil saaks teostada vertikaaltasapinda. Seejuures peab olema joonlaud joonte tõmbamiseks.
3. Vahendit, laual punkti määramiseks, mis asetseks ühel ja samal vertikaaljoonel nurga tipuga (ehk laua tsentreerimiseks, s. t. laua seadmiseks niisugusesse asendisse, et mingi laual juba märgitud punkt tuleks ühele ja samale vertikaaljoonele vastava maastikupunktiga).



Joon. 1.

Peale selle on vaja laud igakord seada ühesugusesse asendisse tõelise või magnetilise meridiaani suhtes, s. t. laud on vaja orienteerida. Tähendab, on vaja omada vahendit orienteerimiseks.

§ 3. Mensul ja selle osised.

Tähendatud joonestuslauda nimetatakse mensuliks (ladina keeles *mensula* — lauake).

Iga mensul koosneb kolmest osisest (joonis 1):

a) lauast A, millele kleebitakse paber; seda nimetatakse planšetiks;

b) statiivist B, mille abil instrument seatakse üles maapinnale;

c) alusest C, mis on planšeti ja statiivi ühendamiseks.

§ 4. Planšett.

Mensuli lauad tehakse ruudukujulised, küljepikkusega 40 kuni 70 cm. Laud peab olema valmistatud niisugusest materjalist, mis ei annaks järele õhuniiskuse mõjule. Sellest vaatepunktist väljudes peetakse paremaiks planšettideks klaasist valmistatuid. Meil hakkavad viimasel ajal leidma kasutamist alumiiniumist planšetid, peamiselt aga on levinud kaua hoitud ja hästi kuivatatud pärnapuidust töödeldud planšetid.

Planšeti ülemisele pinnale kleebitakse parim vatmani paber. Kui paber kleebitakse vahenditult planšetile, siis seda tehakse hästi vahule klopitud munavalgega (kahest munast). Väga sageli teostatakse kleepimist lõuendile tärklise abil.

Ülaltpoolt kaetakse vatmani paber aleksandri paberi lehega („ümbrikuga"), millele kantakse koordinaatide võrk ja aluspunktid, mis nõelaga torgitakse läbi vatmani paberile. Plaanistamise ajal lõigatakse „ümbrikku" tarviduse järgi aknad.

Planšetti transporditakse ja kantakse edasi kattes, kusjuures enne seda ta kaetakse paksu pakkimispaberi lehega.

§ 5. Alused.

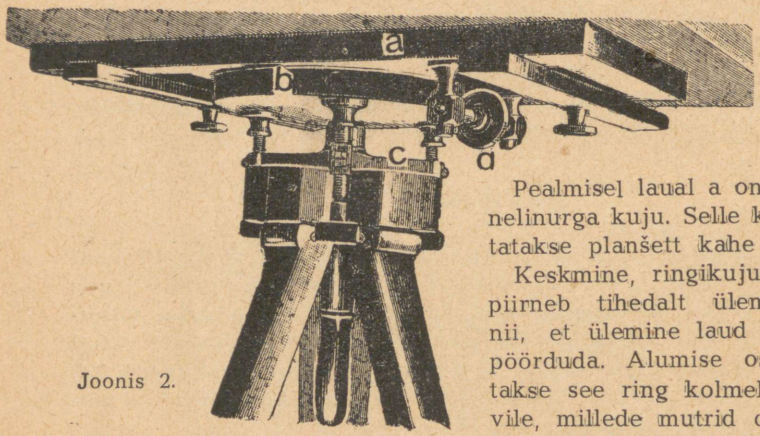
Aluse abil antakse planšetile kolme liiki liikumist:

1. *Nihutusliikumist* — lõplikuks tsentreerimiseks.
2. *Tõsteliikumist* — horisonteerimiseks.
3. *Pöördliikumist* — orienteerimiseks.

Aluste kujult erinevad mensulid tunduvalt üksteisest ja kannavad sageli aluste järgi oma nimetust.

Uue konstruktsiooniga mensuleis valmistatakse alused kolmjala kujulised. Nendel on üleval vaskring või -kolmnurk, mille külge mensuli laud kruvitakse kolme kruviga. Alus asetatakse prantsuse statiivile.

Reissigi mensuleis (joonis 2) tehakse alus kolmest lauast.

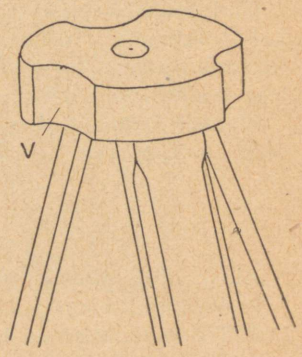


Joonis 2.

Pealmisel laual a on täisnurkse nelinurga kuju. Selle külge kinnitatakse planšett kahe liistu abil.

Keskmine, ringikujuline laud b piirneb tihedalt ülemise lauaga nii, et ülemine laud võib sellel pöörduda. Alumise osaga asetatakse see ring kolmele tõstekruvile, millede mutrid on alumises lauas. Alumine, kolmnurgakujuline laud asetatakse statiivile. Viimaseis tootmisseeriais on mensuleil see kolmnurkne laud asendatud kolme metallpidemega c.

Kõigi kolme laua tsentreid läbib põhikruvi vars, mis on ümbritsetud sellekohase hülsiga. Vardal on ülemises osas kerakujuline ots, mis asetseb pealmisse ja keskmisse lauda lõigatud vastavas pesas. Alumises osas (allpool statiivi pead) on vardal kruvikeermed, käepidemega varustatud vastava mutriga. Kõik kolm lauda on võimalik varre abil tõmmata tihedasti statiivi pea külge. Pärast sellist kinnitamist planšeti jäme pöördeline liikumine lakkab ning täpseks suunamiseks on vaja töötada peenliigutuse (mikromeetrilise) kruviga d, mis annab pealmisele lauale liikumist keskmise laua suhtes.



Joonis 3.

Reissigi alus asetatakse münheni statiivile (joonis 3). Selle pea ülemisel pinnal on kolm tappi, mis tihedalt mahuvad alumisse lauda tehtud vastavaisse pesadesse. Tõstekruvide pidemete alumiste otsade jaoks on statiivi peasse tehtud kaaretaolised väljalõiked V, mis võimaldavad vaba töötamist kruvide käepidemetega.

§ 6. Mensuli kontrollimine.

Mensulile esitatakse järgmised nõuded:

1. *Mensul peab olema püsiv.* See tähendab, et pärast mensuli vastavat ülesseadmist jaama kohale peab planšett kogu töö ajaks jääma liikumatuks, hoolimata plaanistaja käte rõhumisest, abiriistade raskusest, tuule survest jne.

Mensuli püsivust kontrollitakse planšetile asetatud viseerimisseadise suunamisega mingile punktile ja sellele järgneva kerge sõrmevajutusega kõrvalt laua nurgale kahest küljest (kuid mitte alt üles ega ülevalt alla). Kui pärast seesugust vajutamist viseerimise telg, eemaldudes vajutamise ajal sihtpunktilt, pärast seda uuesti *suundub* samale punktile, siis on see nõue mensuli juures täidetud. Selle kohta öeldakse, et mensul *vedrutab*, kuid *ei anna järele.*

2. *Planšeti pealmine pind peab olema tasapinnaline.* Kontrollitakse õige joonlauaga.

3. *Planšeti pealmine tasapind peab olema risti vertikaalse pööramise teljega.* Kontrolliks asetatakse planšetile justeeritud vesilood, mille abil planšett seatakse horisontaalsesse asendisse. Pärast seda lõdvendatakse põhikruvi ja lauda pööratakse vertikaaltelje ümber, vaadeldes mulli asendit. Kui mull seejuures eemaldub vesiloe keskkohast kaugele, siis mensulit tuleb parandada (mehaaniku juures).

Peale selle peab mensul olema kaalult kerge, sest et töö ajal tuleb mensulit sagedasti edasi kanda kohalt kohale ning väga sageli mitte teid mööda, vaid mööda rohtu, künkaid jne.

§ 7. Mensuli päraldised.

Nurkade konstrueerimise idee teostamiseks peab mensul olema varustatud riistadega horisonteerimiseks, tsentreerimiseks, orienteerimiseks ja viseerimiseks.

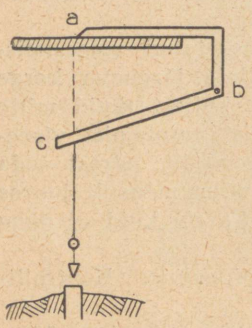
Mensuli horisonteerimiseks kasutatakse vesiloodi, mis kinnitatakse viseerimisseadisele, millega koos me seda vaatlemegi.

§ 8. Mensuli hark. Selle rakendamise tingimused.

Mensuli tsentreerimiseks tarvitatakse harki (joonis 4).

Hargi abil lahendatakse järgmised ülesanded:

1. Tsentreerimine, s. t. planšeti ülesseadmine sellisesse asendisse, et planšetil olev punkt tuleks ühele ja samale vertikaaljoonele maastiku punktiga.
2. Planšeti punkti projektimine maastikule.
3. Maastiku punkti projektimine planšetile.



Joonis 4.

Hargi kohta on nõutav, et tema haru alumise ääre horisontaalse asendi juures peavad haru teravik a ja ripploe ots asetsema ühel ja samal vertikaaljoonel. Kontrolliks projektitakse planšeti ühte ning sama punkti maapinnale kaks korda, asetades hargi haru oma teravikuga punkti juurde kahest diametraalsest vastasküljest. Kui mõlemal korral punkt projekteerub ühte ja samasse punkti maapinnal, siis on tingimus täidetud. Kui tingimus ei ole täidetud, siis saavutatakse parandus haru kallakuse reguleerimisega.

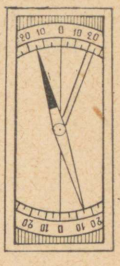
Mensuli harki võib hoopis mitte rakendada neil juhtumeil, kui plaanistamist tehakse $\frac{1}{5000}$ või veel väiksemas mõõtkavas. Tõepoolest, tsentreerides mensulit silma järgi me võime eksida mitte üle 0,2 m, s. t. planšeti punkti läbiv vertikaaljoon ei eemaldu vastavast maastiku punktist mitte üle 0,2 m. Ent mõõtkavas $\frac{1}{5000}$ me ei suuda isegi pikkust 0,5 m eraldada punktist, suurust 0,2 m aga ammugi mitte. Tähendab, kui plaanistamist teostatakse mõõtkavas $\frac{1}{5000}$, siis silma järgi tsentreerimise viga joonte pikkuste plaanile kujutamisele mõju ei avalda. Seda enam on see õige väiksemate mõõtkavade jaoks.

§ 9. Bussool.

Mensuli bussool kinnitatakse vaskplaadile, mille üks äär tehakse paralleelselt bussooli nulldiameetriga.

Mensuliga plaanistamisel tarvitatakse bussooli järgmisiks otstarbeiks:

1) planšeti mingi joone asimuudi või rumbi määramiseks;
2) joone määramiseks antud rumbi all;
3) mensuli orienteerimiseks.



Joonis 5.

Kui bussool on määratud ainult viimaseks otstarbeks, siis tehakse ta sageli pikergune, ristküliku kujuline ning teda nimetatakse siis *orienteerbussooliks* (joonis 5).

Mensuli bussool peab rahuldama selle raamatu esimese osa §-s 63 esitatud viis tingimust. Tingimuste 6 ja 7 asemel peab ta aga rahuldama järgmist:

Bussooli kraadiringi nulldiameeter peab olema paralleelne vaskplaadi sirge äärega.

Selle tingimuse kontrollimiseks suunatakse kippreegel kaugele, aga palja silmaga selgesti nähtavale esemele. Kippreegli serva juurde asetatakse bussool oma sirge äärega; üle bussooli nulldiameetri aga tõmmatakse pinguli jõhv ja vaadatakse, kas viimase suund läheb üle sama eseme. Kui läheb, siis on tingimus täidetud. Vastasel korral on vaja vaskplaadi äär parandada, tehes mehaanikule ülesandeks viilida ääre vastav osa.

§ 10. Viseerimise seadis. Peastaabi kippreegel.

Viseerimise seadisena mensulil tarvitatakse kas dioptritega alidaadi või kippreeglit.

Alidaad kujutab enesest 40—50 cm pikkust lamestatud äärtega joonlauda. Selle otsadele asetatakse vertikaalsed dioptrid kahe paari piludega. Joonlaua pealmisele pinnale graveeritakse mõõtkava ja asetatakse vesilood. Joonlaua alumisele tasapinnale enne tööd kleebitakse paber planšeti määrdumise vältimiseks.

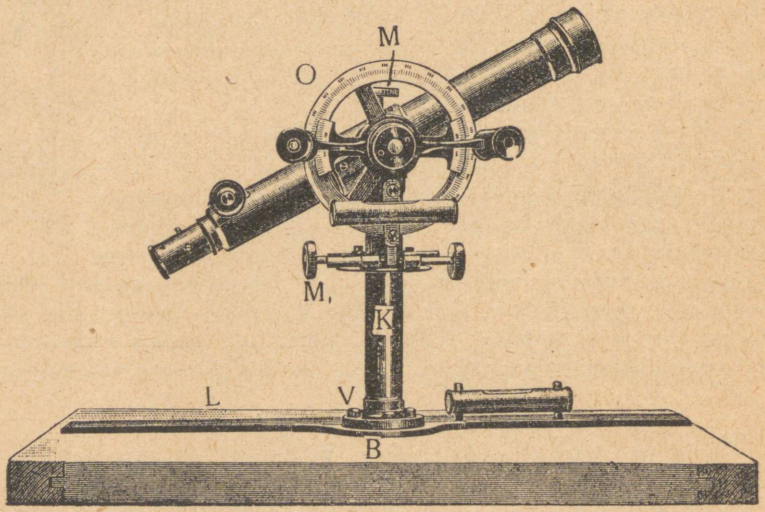
Käesoleval ajal tarvitatakse peaaegu eranditult alidaade pikksilmaga, kuid mitte dioptritega. Niisugust riista nimetatakse kippreegliks.

Peastaabi tüüpi kippreeglis (joonis 6) pikksilm kinnitatakse sambale K, mis asetatakse joonlaua L keskel olevale erilisele laiendu-

sele B, risti joonlaua tasapinnaga. Sammas kinnitatakse joonlaua külge kolme kruviga V. Kruvid läbistavad samba aluse, kusjuures alusesse ühe kruvi jaoks on tehtud ümmargune auk, teiste kahe jaoks aga kaarekujulised pikergused augud, mille tagajärjel sammast saab esimese kruvi ümber joonlaua suhtes keerata väikese nurga võrra. Samba kõrgus tehakse niisugune, et pikksilma võib keerata üle seniidi.

Pikksilm varustatakse kinnitus- (M) ja mikromeetrilise (M_1) kruviga; pikksilma kõrval aga on vertikaalring (O).

Niitristikus on olemas kaugusemõõtmise niidid.



Joonis 6.

§ 11. Kippreegli kontrollimine.

Tingimused, mida kippreegel peab rahuldama, on järgmised:

1. *Joonlaua lamestatud ääre peab olema sirgjooneline ja joonlaua alumine pind — tasapinnaline.* Kontrollimist sooritatakse nagu tavalise joonlaua juures.

2. *Kippreegli joonlaual asetseva vesiloe telg peab olema paralleelne joonlaua alumise tasapinnaga.*

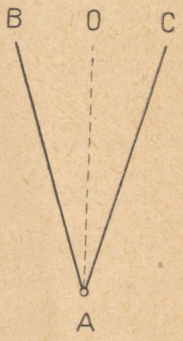
Selle tingimuse kontrollimist, nagu igal pool, teostatakse vesiloe telje ümberasetamisega, koos kippreegliga, 180° võrra, milleks

joonlaua äärt mööda enne tõmmatakse joon, mille suhtes võetakse kaks diameetriliselt vastupidist asendit.

3. *Pikksilma kollimatsioonitasapind peab olema risti joonlaua alumise tasapinnaga.*

Selle tingimuse täitmiseks on vajalik, et esiteks pikksilma viseerimise telg oleks risti horisontaalteljega ja teiseks, et horisontaaltelg oleks paralleelne joonlaua alumise tasapinnaga.

Viseerimise- ja horisontaaltelje mitteristiolekust tingitud viga nimetatakse kollimatsiooniveaks. Kontrollimiseks horisonteeritakse planšett, pikksilm suunatakse horisondil hästi nähtavale punktile ja joonlaua äärt mööda tõmmatakse joon AB (joonis 7). Siis keeratakse pikksilm üle seniidi ja suunatakse uuesti samale punktile nii, et joonlaua äär läbiks äsja tõmmatud joonel märgitud punkti A. Pärast seda joonlaua äärt mööda tõmmatakse joon veel kord ning kui see ühtib joonega AB, siis tingimus on täidetud. Vastasel korral nurk BAC väljendab kahekordset kollimatsiooniviga. Selle kõrvaldamiseks jagatakse nurk BAC pooleks, ühistatakse joonlaua äär nurgapoolitajaga AO ja niitristiku paranduskruvidega taotellakse, et selles asendis niitide lõikepunkt kataks vaatluseks valitud punkti.



Joonis 7.

Pikksilma horisontaaltelje ja joonlaua alumise tasapinna vastastikuse paralleelsuse kontrolliks horisonteeritakse planšett *võimalikult täpsemalt* ning viseerimise telg suunatakse mingile seinal olevale kõrgele punktile A, siis aga telg projektitakse instrumendi kõrgusel seinale, näiteks punkti a_1 (joonis 8).



Joonis 8.

Pärast seda pööratakse pikksilm üle seniidi ja veel kord projektitakse punkt A, näiteks punkti a_2. Siis keskmine punkt a osutub punktiga A ühel ja samal vertikaaljoonel olevaks. Seda punkti peabki niitide lõikepunkt katma punkti A projektimisel, milleks lõdvendatakse kruvid samba aluse juures ja aluse vastava ääre alla asetatakse õhukesed vaskplaadikesed või nahatükikesed.

4. *Kollimatsioonitasapind peab olema paralleelne joonlaua lamestatud äärega.*

Kontrollimiseks seatakse planšett horisontaalsesse asendisse, pikksilm suunatakse mingile kaugelolevale ja hästi nähtavale punk-

tile ning tõmmatakse joonlaua järgi joon. Pärast seda, nihutades kippreegli eemale, joone otsadesse torgatakse vertikaalselt kaks peenikest nõela ja vaadatakse, kas nende kollimatsioonitasapind läbib sama punkti. Parandus saavutatakse samba pööramisega joonlaua peal, milleks enne lõdvendatakse samba aluse juures kõik kolm kruvi.

Selle tingimuse tähelepanemata jätmine ei põhjusta vigu nurkades; nurkade suurus saadakse õige, kuid kogu konstruktsioon saadakse pöördunult ühele poole ühe ja sama nurga võrra. Niisiis, tähendatud vea tõttu kannatab ainult planšeti orienteerimine, kui seda tehakse bussooli, aga mitte joone järgi (vt. edasi).

§ 12. Kippreegli vertikaalring.

Vertikaalnurkade (kaldnurkade) mõõtmiseks varustatakse kippreegel vertikaalringiga.

Vertikaalring kujutab endast rõngast k k (joonis 9), mille tasapinnale on kantud kas kraadilised või poolekraadilised jaotused. Viimasel ajal on asjatute liikumiste vältimiseks lugemite sooritamisel hakatud jaotusi kandma mitte ringi tasapinnale, vaid selle põiale.

Oma ideelt on vertikaalring vertikaaltasapinda asetatud limb. Vertikaalnurgad tema järgi saadakse samuti kui horisontaalnurgad limbilt, s. t. tehakse lugemid nurga kahe haara (suuna) järgi ja nurk ise saadakse nende lugemite vahena.

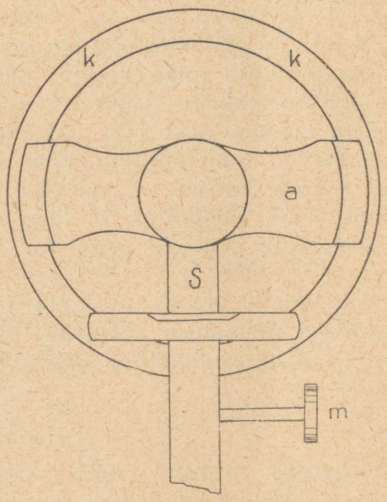
Siiski vertikaalnurkade oluliseks erinevuseks horisontaalnurkadest on see, et üks vertikaalnurkade suundadest (horisontaalne haar) jääb muutumatuks (analoogiliselt asimuutidele, millede jaoks samuti meridiaani suund jääb muutumatuks). See asjaolu on põhjuseks vertikaalringi konstruktsioonide iseärasusteks. Nimelt taotellakse neid konstrueerida nii, et sel momendil, kui pikksilma viseerimise telg võtab horisontaalse asendi, lugem vertikaalringil oleks null. Selleks kinnitatakse vertikaalring pikksilmaga tugevasti niisugusesse asendisse, et ringi nulldiameeter ühtiks või oleks paralleelne pikksilma viseerimise teljega. Sel viisil pöördub ring koos pikksilmaga, ja kui liikumatu alidaad seejuures võtaks niisuguse asendi, et alidaadi indekseid ühendav joon oleks horisontaalne,

siis püstitatud tingimus oleks täidetud ja kallaka joone suuna järgi tehtud lugem väljendaks vertikaalnurga suurust.

Siin on siiski vaja kohe märkida, et kõigi nende tingimuste täitmine ei õnnestu, ja sel momendil, kui viseerimise telg võtab horisontaalse asendi, saadakse ringil üldreeglina nullist erinev lugem, mida nimetatakse nulli asemeks.

Kui vaadata mööda pikksilma okulaarist objektiivi suunas, siis vertikaalring võib osutuda asetsevaks pikksilmast niihästi paremale kui ka vasakule (pärast pikksilma pööramist üle seniidi). Lepime kokku esimest asendit nimetama lühidalt „ring paremal" (Rp) teist aga — „ring vasakul" (Rv).

Ringile kantud jaotused kasvavad nulldiameetri otsast kellaosuti käigu järgi, kusjuures *kummastki otsast oletatakse* nad kasvavaiks kuni 360°-ni, ringile aga kantakse ja nummerdatakse ainult jaotused — alguses 0° kuni 60° ja lõpus 300° kuni 0° (360°). Niisuguse numeratsiooni juures saadakse lugemid kahe nooniuse järgi ühesugused nii kraadides kui ka minuteis (kui ei ole ekstsentrilisust), kuid ühele ja samale joonele vastavad lugemid ringi paremal ja vasakul asendi juures saadakse täiesti erinevad, mille tagajärjel ringi ühe asendi juures tehtud eksimust ringi teise asendi juures ei korrata.



Joonis 9.

Alidaadi a (joonis 9) küljest laskub alla eriline pide S, millele kinnitatakse silindriline vesilood. Viimane omab vesiloe mikromeetrilist kruvi m, millega saab muuta vesiloe asendit koos alidaadiga. *Vesiloe mikromeetrilise kruvi abil on vaja enne iga lugemist vesiloe mull seada keskele.* See garanteerib alidaadi muutumatu asendi sõltumatult sellest, kuivõrd õigesti on horisonteeritud kogu planšett. Peale selle saab eriliste *vesiloe paranduskruvide* abil muuta ka vesiloe asendit alidaadi enese suhtes.

§ 13. Vertikaalnurkade mõõtmine. Nulli aseme tähtsus.

Selle selgitamiseks, kuidas mõõdetakse kippreegli vertikaalringiga kaldnurki, kujutleme, et ringi asetsedes paremal pöördub pikksilm nii, et tema objektiiv tõuseb (näiteks, kui me suunaksime pikksilma mingile kõrgele esemele). Ring seejuures pöördub koos pikksilmaga ja liikumatu alidaadi indeksist mööduksid aina kasvavad jaotused (näiteks 350°, 355°, 0°, 10° jne.). Oletagem, et me peatasime pikksilma nii, et selle viseerimise telg suundub mingile kõrgel asetsevale punktile (horisondist kõrgemal). Teeme lugemi, mida märgime sümboliga P (lugem Rp asendi juures). Kui me omaksime veel lugemit, mis vastaks viseerimise telje horisontaalsele asendile, s. t. lugemit, mida me nimetasime nulli asemeks, siis nurk oleks saadud nende kahe lugemi vahena, kusjuures oleks olnud vaja lugemist P lahutada nulli ase, sellepärast et, nagu ülalpool on mainitud, pikksilma suunamisel kasvasid lugemid kogu aeg (ja me tingimuse kohaselt mõõtsime tõusunurka). Märkides nulli aseme sümboliga N ja nurga tähega α saame

$$\alpha = P - N. \qquad (a)$$

Kui nüüd pikksilm pöörata üle seniidi, siis selle suunamisega samale punktile tuleb kogu kippreegel ümber asetada 180° võrra, milletõttu pikksilm võtab asendi — ring vasakul. Tõstes objektiivi selles asendis leiame, et alidaadi indeksist mööduvad jaotused aina *kahanevad.* Suuname pikksilma samale punktile nagu eelmise asendi — ring paremal — juureski ja teeme vastava lugemi ning märgime selle sümboliga V (lugem asendi Rv juures). Nulli aseme lugem jääb endiseks, ning me saame:

$$\alpha = N - V. \qquad (b)$$

Lugemit N me ei tea, kuid kaks saadud võrdsust annavad selle leidmise võimaluse arvutuse teel. Vaadeldes neid kui kahte võrrandit kahe tundmatuga leiame järgmise lahenduse:

$$N = \tfrac{1}{2}(P + V)$$
$$\alpha = \tfrac{1}{2}(P - V).$$

Viimane võrdsus näitab, et vertikaalnurga saamiseks õigupoolest ei nõuta nulli aseme teadmist. Kuid sellest hoolimata arvutatakse nulli ase alati ja teda kasutatakse esiteks nurga arvutamise kontrolliks, saades nurga veel valemite (a) ja (b) kohaselt, ja teiseks kasutades teda juhtumeil, kui vaatlusi toimetatakse ringi mingisuguse ühe asendi juures, nulli ase aga määratakse ainult üks kord töö algul.

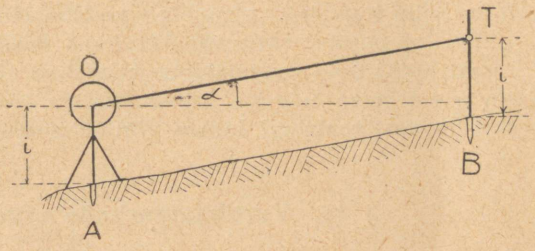
Peale selle nulli ase on vertikaalringi ja pikksilma vastastikuse asendi suurepäraseks kontrolliks ja vertikaalnurkade mõõtmise kontrolliks. Kui nulli ase saadakse muutumatult üks ja sama (lugemise täpsuse piirides), siis see osutab vertikaalringi muutumatule asendile. Kui mõne mõõtmise juures nulli ase tunduvalt erineb tavalistest, siis see võib sündida kahesugustel põhjustel: a) kas lugemistel on tehtud jäme viga, b) või on riknenud vertikaalringi ja pikksilma vastastikune asend. Kontrollmõõtmine paljastab tingimata ühe neist põhjustest.

Mingi joone AB (joonis 10) kaldnurga määramiseks on kõige lihtsam, asudes instrumendiga punkti A asetada punkti B tähis või latt ja märkida sellele instrumendi kõrgusel punkt T, s. t. nii, et BT = AO; siis joon OT on paralleelne antud joonega AB.

Esitatu põhjal peab mõõtmine ise teostuma nii:

1. Planšett horisonteeritakse (seatakse horisontaalsesse asendisse).

2. Pikksilma mingi asendi juures, näiteks ring paremal, suunatakse niitristiku keskmine horisontaalniit punktile T, alidaadi vesiloe mikromeetrilise kruviga seatakse selle mull keskele ja tehakse lugem P.



Joonis 10.

3. Pööratakse pikksilm üle seniidi ja asendis ring vasakul toimitakse samuti, saades lugemi V.

4. Arvutatakse nulli ase ja nurk valemist:

$$\left.\begin{aligned} N &= {}^1/_2\,(P + V) \\ \alpha &= P - N \\ \alpha &= N - V \\ \alpha &= {}^1/_2\,(P - V). \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

§ 14. Kuidas teha nulli ase lähedaseks nulliga.

Eelnenust nähtub, et vertikaalnurkade mõõtmisel nulli aseme suurus osa ei mängi, kuid suurt tähtsust omab *nulli aseme muutumatus*. Siiski arvutused suure nulli asemega võtavad koguka ilme ja

seliest vaatepunktist lähtudes oleks kõige parem, kui ta võrduks nulliga.

Nulli aseme täpset võrdumist nulliga ei ole võimalik saavutada, kas või selletõttu, et lugemise täpsusel üldiselt on oma piirid. Kui näiteks ringi noonius omab täpsust 1', siis muutumised alla 0',5 ei ole meie poolt tajutavad.

Selleks, et teha nulli ase lähedaseks nulliga, toimime nii:

1. Määrame võimalikult täpselt nulli aseme mingi kindla ja hästi nähtava punkti vaatlustest.

2. *Pikksilma pööramisega* seame vertikaalringi nulli asemega võrdsele lugemile. On ilmne, et pärast seda pikksilma viseerimise telg võtab horisontaalse asendi.

3. *Vesiloe mikromeetrilise kruviga* seame vertikaalringi lugemi nullile. Selle tagajärjel eemaldub vesiloe mull keskkohast.

4. *Vesiloe paranduskruviga* õiendame vesiloe mulli keskele.

Pärast kõiki neid operatsioone saadakse niisugune seisund: pikksilma viseerimise telg on horisontaalses asendis, vesiloe mull on keskel ja vertikaalringi lugem võrdub nulliga.

§ 15. Vertikaalnurkade arvutamine.

Nurkade mõõtmisel vertikaalringiga, mille jaotuste numeratsioon läheb nii, nagu eespool on esitatud, võidakse saada lugemid, mis on *lähedased nulliga* (0°, 1°, 2°, ... 10° jne.), ja lugemid, mis on *lähedased 360°* (359°, 358°, ... 350° jne.).

Tingimusel, et nulli aseme suurus on täpselt null, asendis ring vasakul, saadakse lugemid tõusunurkade juures lähedased nulliga, langusenurkade juures aga — lähedased 360°-ga. Esimesed lugemid väljendavad vahenditult ka vertikaalnurki, teiste lugemite jaoks on aga vaja arvata, et nad väljendavad vertikaalnurki, mis on 360°-lise perioodi võrra suurendatud. Kui näiteks lugem ring paremal asendi juures saadakse 358°17', siis nurk on 358°17' — 360° = = —1°43'. Märk miinus näitab, et meil on langusnurk. Ring vasakul asendi juures toimub kõik vastupidiselt.

Kui nulli ase ei võrdu nulliga, siis see reegel osaliselt ei kehti, ja nimelt nurkade piirides, millede absoluutsed suurused ei ületa nulli aseme absoluutset suurust. Praktikas tuleb harva töötada nulli asemega, mille suurus on üle ± 5', et aga ka harva esinevad nurgad absoluutselt suuruselt alla 5', siis mainitud reegel enamail juhtumeil osutub õigeks.

Valemi (1) lahendamisel on vaja lugemid P ja V taandada, liites nullile lähedase lugemiga perioodi 360° või lahutades 360° lähedasest lugemist perioodi 360°. Sel juhtumil, kui mõlemad lugemid saadakse ühesuguse iseloomuga, s. t. mõlemad nulli või 360° lähedased, ei ole seda muidugi tarvis teha.

Järgmised näited aitavad aru saada arvutuse võtteist mitmesuguseil juhtumeil.

1. $P = 3°17'$; $V = 356°45'$.
   a) $V = 356°45' - 360° = -3°15'$
   $N = {}^1/_2 (P + V) = {}^1/_2 [3°17' + (-3°15')] = +1'$
   $\alpha = P - N = 3°17' - 1' = 3°16'$
   $\alpha = N - V = 1' - (-3°15') = 3°16'$
   $\alpha = {}^1/_2 (P - V) = {}^1/_2 [3°17' - (-3°15')] = 3°16'$
   b) $P = 3°17' + 360° = 363°17'$
   $N = {}^1/_2 (363°17' + 356°45') = 360°01'$
   $\alpha = 363°17' - 360°01' = 3°16'$
   $\alpha = 360°01' - 356°45' = 3°16'$
   $\alpha = {}^1/_2 (363°17' - 356°45') = 3°16'$
2. $P = 4°38'$; $V = 3°18'$.
   $N = {}^1/_2 (4°38' + 3°18') = 3°58'$
   $\alpha = 4°38' - 3°58 = 0°40'$
   $\alpha = 3°58' - 3°18 = 0°40'$
   $\alpha = {}^1/_2 (4°38' - 3°18') = 0°40'$
3. $P = 358°34'$; $V = 356°14'$.
   a) $P = 358°34' - 360° = -1°26'$
   $V = 356°14' - 360° = -3°46'$
   $N = {}^1/_2 (-1°26' - 3°46') = -2°36'$
   $\alpha = -1°26' - (-2°36') = +1°10'$ jne.
   b) $N = {}^1/_2 (358°34' + 356°14') = 357°24'$
   $\alpha = 358°34' - 357°24' = +1°10'$ jne.

II peatükk.

MENSULI ORIENTEERIMINE JA NURKADE KONSTRUEERIMINE PLANŠETILE.

§ 16. Orienteerimise mõiste ja otstarve.

Planšetile peab saadama figuuride kujutised, mis on sarnased figuuridele maastikul. Sellepärast igas uues instrumendi seisupunktis *(igas uues jaamas)* on eelkõige vaja planšett seada niisugusesse asendisse, et temal juba olemasolevad jooned oleksid paralleelsed vastavate joontega maastikul. Planšeti niisugust seadmist nimetatakse planšeti orienteerimiseks.

Orienteerimist võib teha bussooli järgi, milleks planšetile peab olema varem joonestatud magnetilist meridiaani kujutav joon, samuti võib orienteerimist teostada mingi plaanil ja muidugi ka maastikul oleva joone järgi.

§ 17. Orienteerimine meridiaani järgi (bussooliga).

Meridiaani järgi orienteerimiseks seatakse planšett horisontaalsesse asendisse ja bussool oma alusplaadi sirge äärega ühtistatakse magnetilise meridiaani kujutisega, pärast seda vabastatakse magnetnõel arretiirist ja lastakse nõelal rahuneda. Siis lõdvendades mensuli kinnitus- (või põhi-) kruvi pööratakse planšetti vertikaaltelje ümber seni, kuni magnetnõela otsad ühtivad bussoolringi nulljaotustega niiviisi, et nõela põhjapoolne ots oleks pöördunud vastavasse külge, s. t. joonestatud meridiaani tolle otsa juurde, mis on märgitud tähega N.

Algul tehakse seda pööramist jämedalt kätega, siis aga, kui magnetnõela põhjapoolne ots jõuab nulli lähedale, keeratakse kinnituskruvi kinni ning lõplik seadmine teostatakse mikromeetrilise kruvi abil. See on *orienteerimine magnetilise meridiaani järgi.*

Tõelise meridiaani järgi orienteerimiseks planšetile peab olema joonestatud tõeline meridiaan. Kui planšetile on kantud koordinaatide võrk, siis teatavasti abstsisside teljega paralleelsed selle võrgu jooned annavad tõelise meridiaani suuna. Nende joonte järgi tuleb planšetile konstrueerida magnetiline meridiaan, milleks on vaja teada magnetnõela deklinatsiooni. Niiviisi väljatõmmatud magnetilise meridiaani järgi orienteerimine toimub, nagu see ülalpool oli kirjeldatud.

Tõelise meridiaani järgi orienteerimiseks võib ka magnetilist meridiaani mitte välja joonestada, vaid asetada bussool otseselt tõelise meridiaani juurde. Sel juhtumil tuleb lakata pööramast lauda, niipea kui magnetnõela põhjapoolne ots näitab mitte 0, vaid deklinatsiooni suurust, arvestades seejuures muidugi deklinatsiooni nimetust (ida- või läänepoolne).

§ 18. Bussooli järgi orienteerimise täpsus.

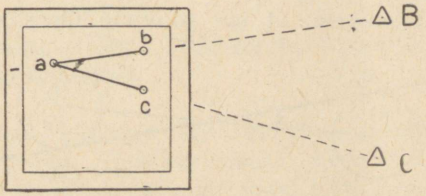
Bussoolilt saab lugeda täpsusega kuni 0°,1. Siiski deklinatsiooni ööpäevane muutumine ei luba arvestada orienteerimise täpsust üle 0°,25 (15′).

§ 19. Orienteerimine antud joone järgi.

Mensuli orienteerimisel antud joone järgi võib olla kaks juhtumit:

1) kui mensul seatakse üles antud joone lõpp-punktis;
2) kui mensul asetatakse joone lõpp-punktide vahele.

1. Olgu planšetile kantud joon ab, mis vastab maastiku joonele AB (joonis 11). Orienteerimiseks on vaja eelkõige planšett punktiga a tsentreerida üle maastiku punkti A ja planšett seada horisontaalsesse asendisse. Pärast seda, asetades kippreegli joonlaua ääre joone ab juurde, pööratakse planšetti algul jämedalt, siis aga



Joonis 11.

mikromeetrilise kruviga seni, kuni pikksilma kollimatsioonitasapind läbib punkti B. Selles asendis mensul on orienteeritud.

2. Orienteerimisel *joone keskelt* on vaja mensuliga asuda joonesihile punktide A ja B vahele. Selleks asutakse esialgu sihile silma järgi või parem kahe tähise järgi. Siis asetatakse kippreegli joonlaua äär joone ab juurde ja pikksilm suunatakse planšeti pööramisega kaugemale punktile, näiteks punktile A. Asetades pärast seda kippreegli ümber 180° võrra ja asetades joonlaua ääre uuesti sama joone ab juurde, vaadatakse, kas pikksilm suundub punktile B (s. t. kas B satub niitide lõikepunktile). Kui seda ei sünni, siis kaalutellakse, kummale poole on vaja planšetti edasi liigutada. Nii saavutatakse esialgu kogu mensuli järk-järgulise edasiliigutamisega, siis aga üksi planšeti nihutamisega seisund, kus pikksilm pärast kippreegli ümberasetamist 180° võrra on ühtlasi suunatud joone teisele punktile; pärast mida mensul on orienteeritud.

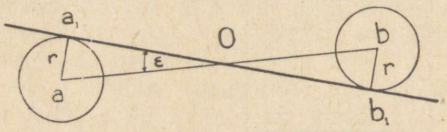
§ 20. Orienteerimise kontrollimine.

Pärast iga orienteerimist on vaja teostada selle kontrolli. Selleks on vaja kippreegli joonlaua äär asetada antud seisupunkti ja planšetile kantud ning maastikul näha oleva mingi teise antud punkti juurde. Õige orienteerimise korral katab niitristiku vertikaalniit pärast seda vastavat maastiku punkti. Niisugust kontrolli on vaja teostada võimalust mööda kõigile nähtavaile punktidele.

§ 21. Orienteerimise viga.

Antud joone järgi orienteerimise täpsus sõltub sellest, kui-võrd õigesti me ühtistame kippreegli joonlaua planšetil antud joonega.

Oletagem, et me soovime ühtistada joonlaua ääre joonega ab (joonis 12), teiste sõnadega, selle joone punktidega a ja b. Need punktid on märgitud torgetega ega esine muidugi matemaatiliste punktidena, vaid kujutavad enestest ringe, mille raadiu-



Joonis 12

si võib pidada võrdseiks 0,01 cm (normaalse silma nägemise piir). Töö juures me võime halvemal juhtumil joonlaua ühtistada mitte nende ringikeste tsentritega, vaid asetada puutujat mööda, nagu on näidatud joonisel, kus ringikesed on kujutatud eriti suurendatud kujul. Niisugusel juhtumil nurk $a_1Oa = \varepsilon$ avaldab orienteerimise vea. Kui ringikeste raadiused märgime tähega r ja joone ab pikkuse tähega l (sentimeetreis), siis jooniselt saame

$$\sin \varepsilon = r : \tfrac{1}{2} l = \frac{2r}{l}$$

ehk nurga väiksuse tõttu:

$$\varepsilon' \sin 1' = \frac{2r}{l},$$

kust

$$\varepsilon' = \frac{2r}{l \sin 1'}.$$

Asetades siia $2r = 0{,}01$ cm ja $\sin 1' = \frac{1}{3438}$ saame:

$$\varepsilon' = \frac{34{,}38}{l}, \qquad (2)$$

s. t. orienteerimise viga on pöördvõrdeline joone pikkusega, mille järgi teostatakse orienteerimine.

Andes valemis (2) suurusele l mitmesuguseid väärtusi saame sõltuvalt orienteerimise joone pikkusest järgmise orienteerimise vigade tabeli:

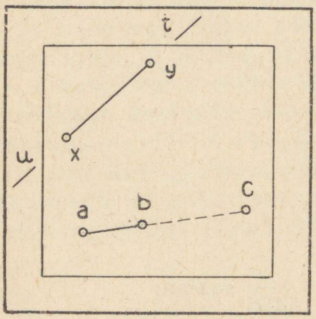
l (cm)	ε
1	34',4
5	6',9
10	3',4
20	1',7
40	0',9

§ 22. Orienteerimise joone valik. Põhijoonte kunstlik pikendamine.

Tabelist § 21 järgneb, et kui soovime orienteerimist teostada täpsusega mitte alla 2', siis peame orienteerimiseks joone võtma mitte alla 20 cm. Mida pikem on orienteerimise joon, seda täpsem saadakse orienteerimine. Seepärast planšetil olevad põhijooned,

millede järgi kavatsetakse teostada orienteerimist, tuleb pealekandmisel välja tõmmata lõikudena ka planšeti äärtele, väljapoole planšeti raame. Nii näiteks joonisel 13 joon xy on tõmmatud väljapoole raami lõikudena u ja t.

Kui põhijoon kantakse planšetile koordinaatide järgi, siis seda võib vajaduse korral pikendada järgmisel viisil.



Joonis 13.

Olgu meil näiteks antud joone otsade a ja b koordinaadid. Joone pikendamiseks võtame mingi ümariku arvu, näiteks 2000 m, ja antud joone asimuudi (ab) kohaselt arvutame juurdekasvu selle arvu kui pikkuse jaoks. Liites need juurdekasvud punkti b koordinaatidega saame mingi punkti c koordinaadid; see punkt asetseb muidugi antud joone pikendusel. Kandes planšetile punkti c niiviisi arvutatud koordinaatide järgi saame juba pikema joone ac, mille järgi orienteerimine ülaltoodu kohaselt on täpsem.

§ 23. Magnetnõela deklinatsiooni määramine.

§-s 17 me nägime, et bussooli abil tõelise meridiaani järgi orienteerimiseks on vaja teada magnetnõela deklinatsiooni.

Magnetnõela deklinatsiooni määramiseks on vaja teada mõne planšetile kantud joone tõelist asimuuti. Nagu edaspidi näeme, on niisugused jooned planšetil alati olemas.

Seame üles mensuli antud joone otsas ja orienteerime hoolikalt selle joone järgi. Siis kippreeglit kohalt mitte liigutades asetame kippreegli joonlaua ääre juurde bussooli selle sirge äärega ning teeme joone magnetilise asimuudi lugemi.

Olgu joone tõeline asimuut (AB), saadud magnetiline asimuut aga — $(AB)_m$. Siis deklinatsiooni saame meile tuntud valemi järgi (vt. I osa, § 50, valem 5):

$$\delta = (AB) - (AB)_m. \qquad (3)$$

Kui seejuures deklinatsioon saadakse positiivne, siis ta on idapoolne; vastasel korral — läänepoolne.

§ 24. Nurga konstrueerimine.

Nüüd võib aru saada, kuidas mensuli abil teostatakse nurga konstrueerimise idee.

Kui on vaja saada nurk planšeti mistahteses kohas, siis mensul seatakse üles nurga tipu kohale, orienteeritakse ta meridiaani järgi ja hargi abil projektitakse nurga tipp maapinnalt planšetile. Viimast projektimist, nagu eespool näeme, ei ole vaja teha, kui plaanistamise mõõtkava on väiksem kui $\frac{1}{2000}$; sel juhtumil võib punkti võtta planšetil mistahteses kohas.

Olgu sel viisil määratud punkt a joonisel 11. Pärast seda viseeritakse ja joonestatakse suund üle a punktile B ja üle a punktile C, mille resultaadina saadakse nurk bac.

Kui nurga tipp a on planšetil antud juba varem, siis suure mõõtkava juures planšett algul tsentreeritakse punktiga a punkti A kohale.

Praktikas tuleb tavaliselt konstrueerida niisuguseid nurki, millede jaoks peale nurga tipu planšetil on antud ka üks nurga haaradest. Ülesande lahendamiseks sel juhtumil on eelkõige vaja planšett tsentreerida ja orienteerida antud nurga haara järgi, siis aga viseerida üle nurga tipu teist haara mööda.

§ 25. Planšetile joonestatud suundade vead.

Iga planšetile joonestatud suuna viga saadakse järgmiste peavigade mõju resultaadina:

1. Tsentreerimise vead.
2. Horisonteerimise vead.
3. Viseerimise vead.
4. Vead tähiste mittevertikaalsusest.
5. Orienteerimise vead.
6. Joonte pliiatsiga väljatõmbamise vead.

Nendest on meil juba teada viseerimise viga, võrdne $\frac{60''}{v}$, ja orienteerimise viga, võrdne $\frac{34{,}38}{l}$.

Kuna kippreegli suurendus ei ole alla 30, siis viseerimise viga siin võib omada suurimat väärtust kõigest $60'' : 30 = 2''$, mispärast me ei hakkagi seda arvestama.

Mis puutub orienteerimise veasse, siis, nagu nähtub §-s 21, tin-

gimusel, et orienteerimise joon ei ole alla 10 cm, see viga on väiksem kui 3',5.

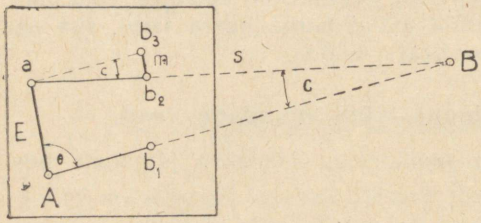
Niisama suureks tuleb pidada ka joonte pliiatsiga väljatõmbamise viga, kuna oluliselt seda tingivad samad põhjused, mis tingivad ka orienteerimise vea (võimatus joonlaua äärt täpselt ühtistada joone otsapunktidega).

Horisonteerimise viga (planšeti mittehorisontaalsusest) on väga väike, ja kui kokku leppida planšeti seadmises alati horisontaalsesse asendisse vesiloe abil, siis selle vea mõju võib täiesti jätta tähele panemata.

Vaatleme ülejäänud vigade mõju.

§ 26. Tsentreerimise viga ja selle mõju joonestatud suundadele.

Oletame, et planšetil on punkt a (joonis 14) ja tsentreerimisel me teeme vea $aA = E$, s. t. punkti a läbiv vertikaaljoon läheb maastiku punktist A mööda tähendatud kauguse E võrra. Selle tagajärjel viseerimisel mingile maastiku punktile B me tõmbame valesuuna ab_2, kuna õige suund peab olema paralleelne suunaga Ab_1. Kui üle a tõmbame suuna ab_3 paralleelselt Ab_1, siis paljastame vea suunas nurga $b_3ab_2 = c$ näol. Ilmselt on ka nurk $aBA = c$. Märkides kauguse mensulist kuni vaadeldava punktini $aB = s$ ja nurga $aAB = \Theta$, siis kolmnurgast aBA siinuslause järgi saame:



Joonis 14.

$$\sin c = \frac{E \sin \Theta}{s}$$

ehk nurga väiksuse tõttu

$$c' \sin 1' = \frac{E \sin \Theta}{s},$$

kust:

$$c' = \frac{E \sin \Theta}{s \sin 1'}$$

ehk

$$c' = 3438 \cdot \frac{E \sin \Theta}{s}.$$

Sõltuvalt nurgast Θ võib viga võtta suurima väärtuse $\sin \Theta = \pm 1$ juures (kui $\Theta = 90^\circ$ või 270°), nii et kõige halvemal juhtumil saame:

$$c' = \pm 3438 \cdot \frac{E}{s}, \qquad (4)$$

s. t. viga suunas on võrdeline tsentreerimise veaga E ja pöördvõrdeline vaadeldava punkti kaugusega.

Kui tsentreerimist teha silma järgi, siis E võib ulatuda kuni 0,2 m ja suuna viga omab ligikaudset väärtust:

$$c' = \pm 690 \cdot \frac{1}{s}. \qquad (5)$$

Siit on kerge arvutada, et kui nõuda suunas täpsust $\pm 3'$, siis silma järgi tsentreerimisel on vaja viseerida vähemalt 230 m kaugusele. Lähedate esemete vaatlemisel võib viga suunas ulatuda tunduva suuruseni, kuid punkti jooneline nihkumine planšetil, nagu allpool näeme, on tähtsusetu, sellepärast võib konstrueerida ka lühemaid jooni, kuid nende järgi ei tohi hiljem orienteerida planšetti.

§ 27. Ebaõigest tsentreerimisest tingitud jooneline nihkumine. Hargi kasutamise tingimused.

Pöördudes uuesti joonisele 14 näeme, et ebaõige tsentreerimise tagajärjel nihkus planšetile tõmmatud joone ab_2 lõpp-punkt tõelisest asendist suuruse $b_3b_2 = m$ võrra. Suuruse m määramiseks sarnastest kolmnurkadest ab_2b_3 ja BaA leiame:

$$m : l = E : s,$$

kust

$$m = E \cdot \frac{l}{s}.$$

Pidades silmas, et suhe $l : s$ on plaanistamise arvuline mõõtkava, s. t. $l : s = 1 : M$, kus M on arvulise mõõtkava nimetaja, saame nihkumise jaoks:

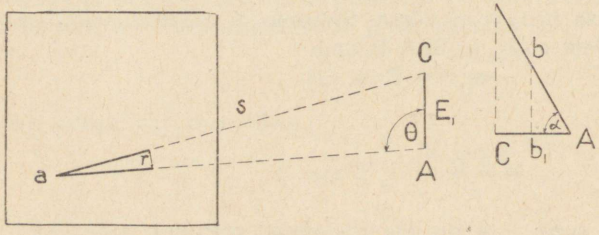
$$m = \frac{E}{M}. \qquad (6)$$

Kui jälle võtta äärmine väärtus $E = 0{,}2$ m, siis näiteks mõõtkava 1 :10 000 jaoks väärtus m valemi (6) kohaselt saadakse $\frac{1}{50\,000}$ m ehk $\frac{1}{500}$ cm, s. t. tunduvalt väiksem graafilisest konstrueerimise veast.

Üldiselt peab m olema võrdne või väiksem kui 0,01 cm (ehk 0,0001 m). Tingimusest $\frac{0{,}2}{M} < 0{,}0001$ leiame $\frac{1}{M} < \frac{1}{2000}$, s. t. mõõtkavade jaoks alates $\frac{1}{2000}$ ja suuremad, jooneline nihkumine silma järgi tsentreerimise tingimusel muutub jämedamaks graafilise konstrueerimise täpsusest. *Suurte mõõtkavade jaoks, alates* $\frac{1}{2000}$ *, on vaja tsentreerimiseks kasutada harki.* Mõõtkavade juures, mis on väiksemad kui $\frac{1}{2000}$ osutub hargi kasutamine asjatuks.

§ 28. Tähiste mittevertikaalsuse mõju suundadele.

Kui tähis AB (joonis 15) seisab viltu ja meile paistab ainult tähise tipp B, siis viseerimisel me nihutame suuna suuruse $AC = E_1$ võrra kõrvale. Planšetile suuna aA asemele me joonestame suuna aC, tehes vea nurga $AaC = r$ kujul.



Joonis 15.

Märkides kauguse $aC = s$ ja nurga $CAa = \theta$ saame vea r jaoks täiesti analoogilise avaldise ebaõigest tsentreerimisest tingitud veaga (võttes suurima väärtuse sin $\theta = \pm 1$):

$$r = \pm 3438 \frac{E}{s}, \qquad (7)$$

s. t. viga on võrdeline suurusega E ja pöördvõrdeline kaugusega s. Silmanähtavalt on suurus E seda väiksem, mida lühem on tähis. Kui meil oleks läinud korda viseerida tähise punktile b, siis see oleks vastanud $E_1 = b_1A$, mis muidugi oleks väiksem CA-st. Seepärast vaatlustel on vaja püüda viseerida tähise nähtava osa alumisele otsale.

§ 29. Nurga konstrueerimise täpsus mensulil.

Kõik käsiteldud suundade joonestamise vead annavad resultaadis mingi üldise suunavea, mida võib kindlaks määrata vigade teooria reeglite järgi. Kui näiteks oletame tsentreerimise vea 2', vea tähiste mittevertikaalsusest 2' ja orienteerimise ning joonestamise vea, kummagi 3',5, siis täielik viga suunas saadakse $\pm 5',7$.

Nurk koosneb kahest suunast. Tähendab, nurga viga on veel suurem. Kui see arvutada vigade teooria kohaselt, siis nurga viga käesoleval juhtumil saadakse $\pm 8'$. Seda mensulil konstrueeritud nurga maksimaalset viga kinnitatakse ka katseliselt.

§ 30. Mensulil konstrueeritud nurga mõõtmine.

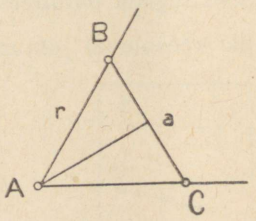
Planšetile konstrueeritud nurga mõõtmiseks on kõige lihtsam kasutada malli. Malliga nurgamõõtmise täpsus on 10'—15' piirides, kui aga kasutada alidaadi ja nooniusega varustatud malli, siis täpsust võib suurendada kuni 4'—5'.

Palju täpsemini saab nurka määrata järgmisel viisil.

Olgu vaja mõõta nurk BAC (joonis 16). Teeme nurga haaradele lõiked $AB = AC = r$. Kui pärast seda mõõta kaugus $BC = a$, siis nurga A jaoks saame:

$$\sin \frac{A}{2} = \frac{a}{2r}. \qquad (8)$$

Valemi kasutamiseks on kõige parem omada tabelit, kust suuruse a järgi oleks võimalik korraga valida vastav nurk. Niisugune tabel on asetatud lisasse 1. Selles on



Joonis 16.

toodud nurgad a väärtuste jaoks 0,1 cm tagant r = 10 cm juures. Kümnendikosade jaoks on vaja interpoleerida.

Tabeli järgi nurga määramiseks on vaja nurga tipust teha 10 cm-lise sirkliavaga lõiked ja kaugus a mõõta kuni sentimeetri sajandikosadeni. Selle kauguse järgi määratakse ka nurk.

Nüride ja 180°-st suuremate nurkade jaoks tuleb määrata nende täiendusnurk 180°-ni.

Iseenesest mõista on mõtet sedaviisi nurki arvutada ainult siis, kui nad on konstrueeritud mensulile eriti hoolikalt ja küllalt pikkade haaradega, sest et vastasel korral konstrueerimise vead muudavad arvutustäpsuse kasutuks.

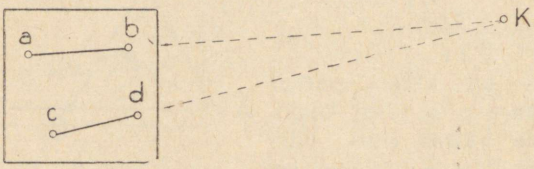
§ 31. Paralleeljoonte tõmbamine planšetil.

Tsentreerimise vea uurimine andis meile punkti jooneliseks nihkumiseks planšetile niisuguse valemi:

$$m = E \cdot \frac{l}{s}.$$

See tähendab, et kui me viseerime ühele ja samale maastiku punktile B üle planšeti kahe punkti a ja A, mis asetsevad teineteisest kaugusel E, nagu joonisel 14, siis joonestatud suunad Ab_1 ja Ab_2 nihkuvad õigest asendist suuruse m võrra.

Kui see suurus m on alla 0,0001 m (0,01 cm), siis ta ei ületa graafilise konstrueerimise piire ja mõlemaid jooni planšetil võib pidada paralleelseiks. Niisiis viseerimist üle kahe planšetil antud punkti ühele ja samale küllalt kaugele esemele võib kasutada nende punktide üle paralleeljoonte tõmbamiseks. Viseeritava punkti minimaalse kauguse määramiseks sel juhtumil võtame E ja l jaoks nende maksimaalsed väärtused, kummagi jaoks 0,4 m. Selleks, et jooni lugeda paralleelseiks, on vaja täita tingimus, et $m < 0{,}0001$, ehk käesoleval juhtumil $0{,}4 \cdot \frac{0.4}{s} < 0{,}0001$, kust saame $s > 1600$ m.



Joonis 17.

Olgu meil vaja planšetil üle punkti c tõmmata paralleeljoon joonega ab (joonis 17).

Asetame planšeti meelevaldsesse

maastiku punkti, horisonteerime selle, asetame joonlaua ääre joone ab juurde ja pöörates planšetti viseerime mingile võimalikult kaugele (mitte alla 1600 m) punktile K. Kinnitades planšeti sellesse asendisse viseerime samale punktile K üle punkti c ja tõmbame joone cd, mida võibki lugeda paralleelseks joonega ab.

III peatükk.

PUNKTIDE MÄÄRAMISE MEETODID PLANŠETIL.

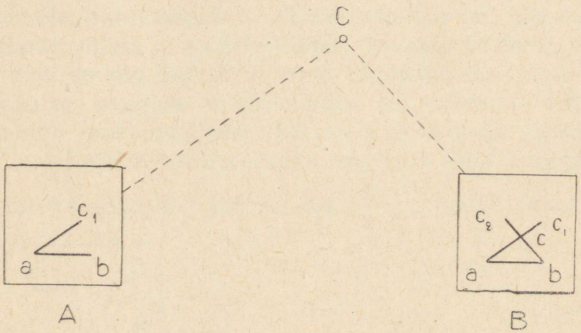
§ 32. Punktide asukoha määramise tähtsus.

Nagu varem selgitatud (vt. I osa § 80), on mõõdistamise (plaanistamisel) aluseks figuuride lihtsamate elementide, s. t. punktide suhtelise asukoha määramine.

Mensuliga plaanistamisel määratakse punktide asend põhiliselt samade meetoditega nagu nurgamõõdulise mõõdistamise juureski. Siiski, nagu allpool näeme, on siin olemas ka oma iseärasusi.

§ 33. Otselõige ehk edasilõige.

Punkti asukoha määramiseks planšetile otselõikega peab planšetile kantud olema kaks punkti, mis on maastikul nähtavad ja milledes võib seista mensuliga (niisuguseid punkte me nimetame *tuntud* ehk *antud punktideks).*



Joonis 18.

Olgu maastikul kaks punkti A ja B, mis planšetil on märgitud tähtedega a ja b (joonis 18). Antud punktidest on hästi näha punkt C. Selle viimase punkti asukoha määramiseks planšetile toimime järgmiselt.

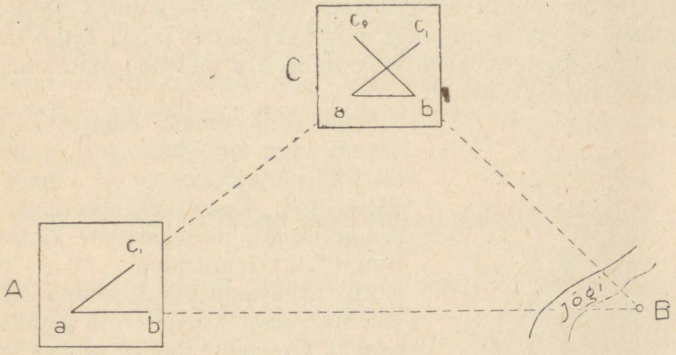
Seame mensuli üles punkti A kohale, orienteerime planšeti joone ab järgi ja siis viseerides üle a punktile C tõmbame suuna ac_1,

ehk, nagu öeldakse, lõikame punkti C. Pärast seda läheme mensuliga punkti B, orienteerime planšeti joone ba järgi ja viseerimisega üle b punktile C tõmbame suuna bc_2. Suundade bc_1 ja bc_2 lõikepunktis saamegi otsitava punkti C asukoha.

§ 34. Vastulõige ehk tagasilõige.

Lõiget nimetatakse vastu- ehk tagasilõikeks, kui punkti määramiseks mensuliga seistakse määrataval punktil endal.

Oletagem, et maastikul ja planšetil on antud kaks punkti A ja B, a ja b, kusjuures punkt B asetseb takistuse taga, näiteks üle jõe (joonis 19). Sel juhtumil me asume mensuliga alguses antud punkti A, orienteerime planšeti joone ab järgi ja lõikame määratavat



Joonis 19.

punkti C, saades suuna ac_1. Pärast seda läheme mensuliga määratavasse punkti, orienteerime planšeti joone c_1a järgi, viseerime üle b punktile B ja tõmbame vastulõikeks suuna bc_2, mis lõikudes suunaga bc annabki otsitava punkti C. On ilmne, et sel viisil saab planšetile määrata ainult ühe punkti, sest et üle kahe punkti b ja B saab tõmmata ainult ühe sirge.

Kui plaanistamise mõõtkava on suur (üle $\frac{1}{5000}$), siis oleks tulnud igas punktis tsentreerida. Kuna punkti C asukoht planšetil on veel teadmata, siis tsentreerimiseks see punkt esialgu tuleb planšetile märkida silma järgi, kandes joont ac_1 mööda plaanistamise mõõtkavas ligikaudse pikkuse AC. Sel juhtumil esmakordne lõige võib

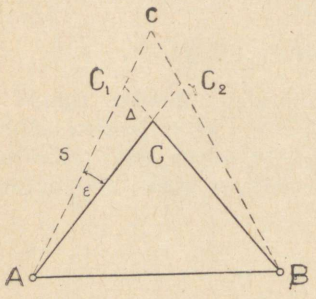
anda punkti C ebaõige asendi. Selle punkti järgi on vaja teha uus planšeti tsentreerimine, pärast mida teiskordne lõige annab otsitava punkti lõpliku asendi.

Et aga määratav punkt seni ei ole veel kuidagi muude punktidega seotud, siis võib kasutada ka teist teed, nimelt võib hargi abil projektida planšetile esmakordse lõikega saadud punkti C maapinnale ning märgi (vaia, tähise) ümber asetada niiviisi maapinnale saadud punkti.

§ 35. Lõikenurk ja selle äärmine suurus.

Lõikenurgaks nimetatakse nurka, mille tipp asetseb määratavas punktis.

Viga lõikega määratud punkti asukohas sõltub lõikenurga suurusest. Otsitav punkt märgitakse kahe pliiatsijoone lõikekohas; need jooned omavad muidugi mõningat laiust ja on selge, et mida teravam on lõikenurk, seda raskem on ära märkida mainitud joonte lõikepunkti tõelist asendit.



Joonis 20.

Peale selle ilmneb määratava punkti asendi viga suundade AC ja BC (joonis 20) väljajoonestamise vigade ε resultaadina. Konstrueerides need vead saame punkti määramatuse *vigade nelinurga* CC_1cC_2 piirides.

Kui arvestada ainult suuna AC viga, siis halvemal korral võib punkt võtta asendi C_1, mille tõttu joone BC asemel me saame joone BC_1 veaga $CC_1 = \Delta$. Selle vea võib arvutada kolmnurgast CAC_1, võttes kolmnurga külje pikkuse $CA = C_1A = s$.

Siinuslause järgi on:

$$\frac{\Delta}{\sin \varepsilon} = \frac{s}{\sin (180^\circ - C)} = \frac{s}{\sin C},$$

kust vea Δ jaoks saame:

$$\Delta = \frac{s \cdot \sin \varepsilon}{\sin C}. \qquad (9)$$

Sellest valemist näeme, et muude võrdsete tingimuste juures viga Δ saadakse seda väiksem, mida suurem on suurus sin C. Suurim väärtus $\sin C = 1$ saadakse $C = 90^\circ$ juures. Tähendab, alati on vaja

taotella seda, et lõikenurgad võimalikult läheneksid 90°, sest et sel juhtumil viga saadakse vähim.

Kui võtta $C = 30°$, siis sin $C = \frac{1}{2}$ ja viga saadakse kaks korda suurem sellest, mis ta oleks olnud 90°-lise lõikenurga juures. 30°-list nurka loetaksegi äärmiseks lõikenurgaks: sellest väiksema (või 150°-ist suurema) nurga juures lõiked loetakse ebakindlaiks.

§ 36. Otse- ja vastulõike võrdlev täpsus.

Punkti määramise erinevus otse- ja vastulõike juures, nagu nägime, seisneb selles, et vastulõike juures on võimatu planšetti korraga tsentreerida. Et aga korduvat tsentreerimist tavaliselt ei tehta, siis teoreetiliselt punkti määramine saadakse vähema täpsusega. Siiski punkti silma järgi planšetile kandmise viga (esimese ülesseadmise juures) võib anda tsentreerimise vea mitte üle 5 cm, mis annab täiesti mittemärgatava vea. Sellepärast praktiliselt vastulõiget võib pidada otselõikega samavõrra täpseks.

§ 37. Punkti asukoha määramine polaarviisiga.

Selle viisi juures pärast mensuli tsentreerimist, horisonteerimist ja orienteerimist viseeritakse kippreegliga üle seisupunkti määratavale punktile ja kippreegli joonlaua äärt mööda kantakse plaanistamise mõõtkava järgi määratava punkti kaugus, mis tavaliselt mõõdetakse kaugusemõõtjaga. Samaaegselt muidugi tõmmatakse väljapoole *planšeti raami* suund määratavale punktile. Selle suuna järgi saab polaarviisiga määratud punktis seismise korral planšetti orienteerida.

Polaarviisiga määratakse sageli niinimetatud *ülemineku punktid* ehk *jaamad* (mensuli ülesseadmise kohad) plaanistamise enese teostamisel. Mõnikord määratakse niiviisi pidev rida ülemineku punkte, siis saadakse niinimetatud *mensuli käik*. Kuidas rajatakse mensuli käike, sellest räägime allpool.

Situatsiooni plaanistamiseks kontuuride karakteerseis punktides valitavad *lati* (reika) või *piketi punktid* (piketid) määratakse ka peaaegu eranditult polaarviisiga, seepärast leiab see viis mensuliga plaanistamisel suurimat rakendamist.

§ 38. Kauguste määramise täpsus kaugusemõõtjaga. Niitide jämeduse ja Maa refraktsiooni mõju.

Kaugusemõõtja valemis $S = kn + c$ on konstant c mõõdetav mistahes täpsusega. Seepärast viga kauguses võib pidada sõltuvaks ainult veast suuruses n.

Viga suuruses n sõltub niitide järgi lugemite veast. Lugemite viga omakorda sõltub viseerimise veast ja kaugusest, kusjuures viseerimise viga teatavasti sõltub pikksilma suurendusest. Kui võtta arvesse ainult need vead, siis relatiivne viga kauguses, kaugusemõõtjaga määramisel saadakse ligikaudu $\frac{1}{700}$. Siiski on veel kaks tähtsat põhjust, mis tugevasti mõjutavad joonte mõõtmist kaugusemõõtjaga ja millede uurimine seab ette tunduvaid raskusi. Need on niitide jämedus ja Maa refraktsiooni mõju. Niitide mõju avaldub selles, et kui peened oleksidki niidid, nad siiski katavad teatavat osa latist, ja mida kaugemal seisab latt, seda suuremaks aina muutub niidiga kaetud lati osa.

On teada, et Päike eriti tugevasti soojendab Maa pinda. Sellepärast Maa pinnaga vahenditult kokkupuutuvad õhukihid soojenevad samuti märgatavalt tugevamini kõrgemal asetsevaist kihtidest. Lati mingist jaotusest instrumendi juurde tulev kiir võib läbida ebaühtlaselt soojenenud, järelikult ka ebaühtlase tihedusega õhukihte. Selle tagajärjel kiir kõverdub, seepärast pikksilmaga saadaval kujutisel kaugusemõõtja niitide vahel me näeme hoopiski mitte neid jaotusi, mida oleksime näinud siis, kui kiired oleksid kulgenud sirgjooneliselt. Niisugust nähtust nimetataksegi refraktsiooniks. Refraktsiooni mõju võib olla väga tugev ning seda on raske arvestada.

Mainitud põhjuste tagajärjel tuletatakse kaugusemõõtjaga määratud pikkuste vead tavaliselt katseist, mis seisnevad kaugusemõõtjaga ning otsesel mõõtmisel saadud ühe ja sama joone pikkuse resultaatide võrdlemises. Niisuguseist katseist on leitud, et konstantse nurgaga (niitidega) kaugusemõõtjatega määratud kauguse keskmine relatiivne viga, joonte jaoks pikkusega mitte üle 300 m, moodustab $\frac{1}{300}$. Mainitud kaugusel äärmiste niitide vahele tavaliselt mahub lati kogu värvitud osa, seepärast kauguse edasisel suurenemisel tuleb mõõtmist toimetada keskmise ja äärmistest ühe niidi järgi tehtud lugemite vahe kahekordistamisega või keskmise ja üle-

mise kui ka alumise ja keskmise niidi järgi tehtud lugemite vahede liitmisega. Need meetodid esinevad uute vigade allikaina.

§ 39. Äärmised kaugused kaugusemõõtjaga mõõtmisel.

Toimugu plaanistamine mõõtkavas 1 : 10 000. Mõõtkava täpsus on sel juhtumil 1 m. Tähendab, kui jooni mõõdetakse kaugusemõõtjaga, siis viga ei tohi ületada 1 m-it. Võttes kaugusemõõtja relatiivseks veaks $\pm\frac{1}{300}$ leiame, et käesoleval juhtumil latti 300 m-ist kaugemale asetada ei või.

Sellise meetodiga võinuks saada ka teiste mõõtkavade jaoks äärmised kaugused, milledest kaugemale latti asetada ei või. Kuid eelmises paragrahvis näidatu põhjal see oleks ebaõige. See küsimus tuleb siingi lahendada katseliste andmete põhjal.

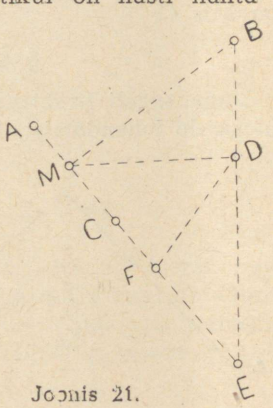
Võib soovitada latti mitte kaugemale asetada alljärgnevas tabelis toodud kaugustest:

Mõõtkava		Äärmine kaugus	
	1 : 5 000		150 m
	1 : 10 000	. . . . .	300 „
	1 : 25 000	. . . . .	450 „
	1 : 50 000	. . . . .	750 „

On ilmne, et töötamise võimaldamiseks kuni 750 m kaugustel on vaja omada latti, mille jaotustega kaetud osa on üle 3 m (kuni 4 m).

§ 40. Mõningaid teisi viise punkti asukoha määramiseks.

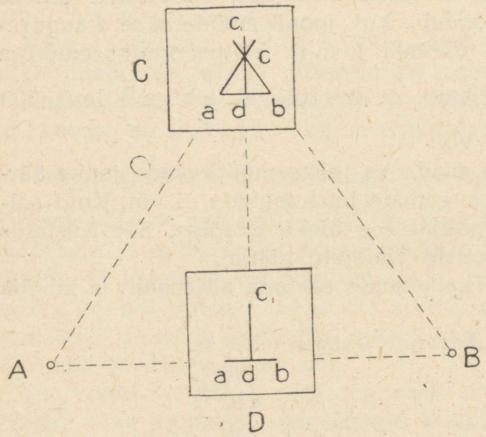
Praktikas on vaja ära kasutada kõiki võimalikke lihtsustusi punkti asendi määramiseks. Nii näiteks, kui maastikul on hästi nähtavad 4 tähist — A, B, C, D (joonis 21) ja nende asend on planšetil määratud, siis uue punkti määramiseks tähistest lõunapoolses rajoonis võib kasutada neid punkte läbivaid sihte, millede järgi on kerge niihästi maastikul kui ka planšetil leida punkt E.



Joonis 21.

Kuid punkt E, mis asetseb mõlema antud joone sihil (lõikepunktis) võib osutuda ebasobivaks plaanistamisel. Palju suurema vabaduse punkti valikuks annab ainult ühe antud joone sihi, näiteks AC kasutamine. Asume mensuliga joone AC sihile; orienteerides planšeti selle joone järgi on kerge leida seisupunkt f vastulõikega, s. t. visee-

rides üle d punktile D ja saades selle suuna lõikepunkti joone ac pikendusega. Antud kolme punkti korral on see viis kõige lihtsam. Asuda sihile võib muidugi ka antud punktide vahele, näiteks punkti M, kuid see võte keerustab mõningal määral tööd, sest siia sihile asetumine on raskem.



Joonis 22.

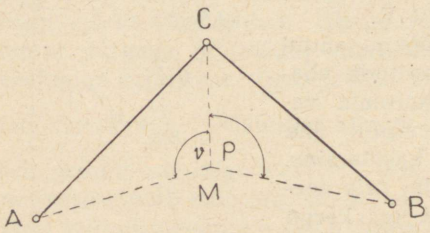
Arutame läbi ka niisuguse ülesande:

Määrata planšetile punkti C asukoht kahe antud ligipääsmatu punkti A ja B järgi (joonis 22).

Valime antud sirgel AB (või, mis lihtsam, selle pikendusel) abipunkti D ja märgime selle punkti asendi d silma järgi planšetile, orienteerides planšeti antud joone ab järgi ja viseerimisega üle d punktile C tõmbame suuna dc_1. Pärast seda läheme määratavasse punkti C, kus planšeti orienteerime joone c_1d järgi, milleks punkti D jätsime tähise, ning vastulõikega (s. t. viseerimisega üle a punktile A ja üle b punktile B) saame otsitava punkti C. Üldiselt öeldud, otsitav punkt ei asetse joonel $c_1 d_1$ — see abijoon on eranditult orienteerimiseks punktis C.

§ 41. Pothénot' ülesanne.

Väga sageli praktikas punkti määramisel kasutatakse Pothénot' ülesande lahendamist. See ülesanne seisneb järgmises:



Joonis 23.

Planšetil ja maastikul antud kolme punkti A, B ja C järgi määrata neljanda punkti M asukoht, seistes mensuliga ainult selles viimases punktis (joonis 23).

Antud punktidest eristame vasakpoolse (A), parempoolse (B) ja keskmise (C). Geomeet-

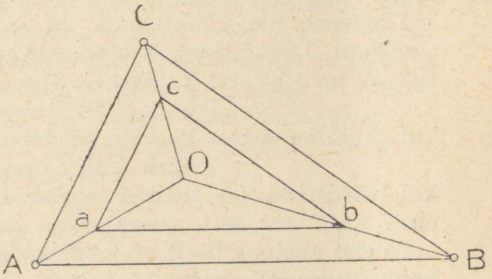
rilisest vaatepunktist on ülesande lahendamine täiesti võimalik. Tõepoolest, punkti M asukoht määratakse nurgaga v, mida me nimetame vasakpoolseks, ja nurgaga p, mida nimetame parempoolseks. Need nurgad võib § 24 kohaselt konstrueerida planšeti mistahes punkti juures, kuna otsitavast punktist M enesestmõistetavalt on näha kõik 3 antud punkti. Niisiis nurki v ja p tuleb pidada antuiks ning otsitav punkt peab asetsema kõõludele AC ja BC konstrueeritud ning piirdenurkadena antud nurki v ja p sisaldavate kaarte lõikepunktis.

Kuna tingimuse kohaselt punkti M määramiseks me asume mensuliga punktis M, siis Pothénot' ülesanne kujutab enesest vastuehk tagasilõiget. Enne selle ülesande lahendamise viiside käsitlemist selgitame üldisi tingimusi ülesannete lahendamiseks vastulõike meetodiga.

§ 42. Üldised tingimused ülesannete lahendamiseks vastulõike meetodiga.

Plaanistamisel planšetile saadakse figuurid, mis on sarnased vastavaile maastiku figuuridele (figuuride horisontaalprojektsioonidele). Kui mensul orienteerida, siis kõik figuuride jooned planšetil on paralleelsed maastiku figuuri vastavate joontega. Niisuguseid figuure, nagu geomeetriast teada, nimetatakse sarnaselt asetatuiks. Nende omaduseks on, et läbi niisuguste figuuride vastavate tippude tõmmatud sirged lõikuvad ühes punktis, mida nimetatakse sarnasuse tsentriks.

Niisiis, *kui mensul on orienteeritud, siis üle planšeti mingite punktide vastavaile maastiku punktidele tõmmatud suunad lõikuvad ühes punktis* (sarnasuse tsentris).



Joonis 24.

Olgu ABC ja abc (joonis 24) kaks sarnaselt asetatud kolmnurka ja punkt O nende sarnasuse tsenter. Viimane, nagu joonisest näha, kujutab enesest punkti, millest võib vaadata suundi OcC, ObB ja OaA mööda. Maastikul esineb niisuguse punktina mensuli seisupunkt. Järelikult sarnasuse tsenter planšetil kujutab mensuli seisupunkti.

Lähtudes esitatust tuleneb järgmine üldreegel punkti määramiseks vastulõikega:

Punkti määramiseks vastulõikega on vaja mensul horisonteerida, hoolikalt orienteerida ja tõmmata (välja joonestada) suunad kippreegliga viseerimisel üle planšetil antud mingite punktide vastavaile punktidele maastikul. Nende suundade lõikena saadakse planšetile instrumendi seisupunkt.

Järelikult, punktide määramisel vastulõikega seisneb ülesanne joone otsimises, mille järgi saaks mensuli hoolikalt orienteerida. Me nägime seda ülesannete lahendamise näiteis § 34 ja 40, kus orienteerimise joone leidmiseks tuli mensuliga seista teistes punktides.

Pothénot' ülesande lahendamisel tuleb samuti algul leida orienteerimise joon, kuid seejuures ei tohi seista teistes punktides peale määratava. Orienteerides selle joone järgi mensuli ja tõmmates eeltoodu kohaselt käesoleval juhtumil kolm suunda saame mensuli seisupunkti.

Kui planšett orienteeritakse ebaõigelt, siis mainitud suunad ei lõiku ühes punktis, vaid moodustavad kolmnurga, mida nimetatakse *vigade kolmnurgaks.*

§ 43. Besseli viis.

Olgu A, B ja C — vasakpoolne, parempoolne ja keskmine antud punkt ning M — otsitav seisupunkt (joonis 25).

Tõmbame üle punktide A, M ja B ringjoone, pikendame joont CM kuni lõikumiseni ringjoonega punktis E ja tõmbame üle punktide A ja B sirged EP ja EK. Siis saame:

$$\text{nurk ABE} = \text{nurgaga AME}, \qquad \text{(a)}$$

kui ühele ja samale kaarele AE toetuvad piirdenurgad. Järelikult ka

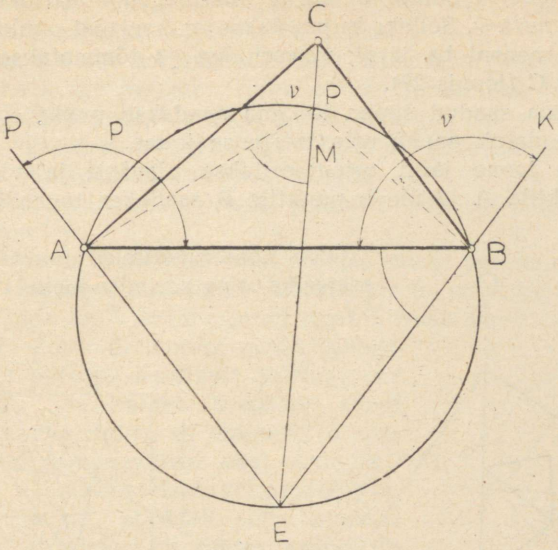
$$\text{nurk ABK} = \text{nurgaga AMC}, \qquad \text{(b)}$$

kui võrdsuses (a) toodud nurkade täiendusnurgad 180°-ni. Kuid nurk AMC = v, s. t. vasakpoolse nurgaga punkti M juures.

Täiesti analoogiliselt võib tõestada, et nurk BAP = p, s. t. parempoolse nurgaga punkti M juures.

Sedaviisi ilmneb, et otsitavat punkti keskmise punktiga ühendaval joonel asetsev punkt E on joonte KB ja PA lõikepunkt; joon BK aga saadakse konstrueerides parempoolse punkti B juurde vasakpoolse nurga v ning joon PA saadakse konstrueerides vasakpoolse punkti A juurde parempoolse nurga p.

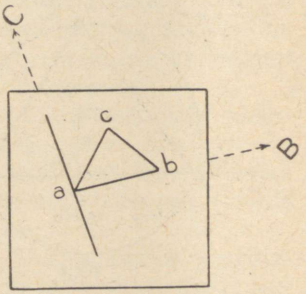
Planšetil on kerge konstrueerida nurki v ja p punktide b ja a juurde.



Joonis 25.

Nurga p konstrueerimiseks punkti a juurde on ajutiselt vaja oletada, et me seisame tipus A, ja konstrueerida nurk planšetil antud nurga tipu a ja ühe haara ab juurde, nagu on seletatud § 24 viimases lõikes. Pärast seda on vaja oletada, et mensul seisab punktis B ja analoogiliselt konstrueerida nurk v tipu b ning haara ba juurde.

Konstrueerides niiviisi nurgad on kerge määrata abipunkt c. Punkte c ja e ühendav joon, nagu on selgitatud, peab läbima seisupunkti. Orienteerides selle joone järgi planšeti viseerimisega punktile C saame seisupunkti m suundade Cc (ehk ce), Aa ja Bb lõikepunktis.



Joonis 26.

Niisiis punkti m määramiseks Besseli viisi järgi on meil olemas selline reegel:

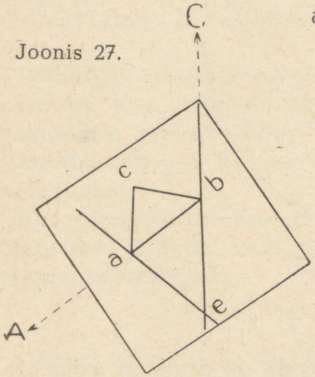
1. *Vasakpoolse punkti a juurde haarale ab konstrueerime parempoolse nurga p.* Selleks kujutellakse end seisvat punktis A, orienteeritakse joone ab järgi, viseeritakse ja tõmmatakse suund üle a punktile C (joonis 26).

2. *Parempoolse punkti b juurde haarale ba konstrueeritakse vasakpoolne nurk v.* Selleks kujutellakse end seisvat punktis B, orienteeritakse mensul ba järgi, viseeritakse ja tõmmatakse suund üle b punktile C (joonis 27).

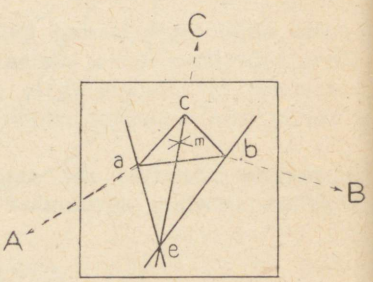
3. Mõlema saadud suuna lõikena saadakse punkt e, mis punktiga c ühendatult annab orienteerimise joone.

4. Selle joone järgi orienteeritakse planšett ja viseerimisega üle a punktile A ja üle b punktile B saadakse tagasilõikega otsitav punkt.

Õige konstrueerimise juures see peab asetsema orienteerimise joonel ec (joon. 28).



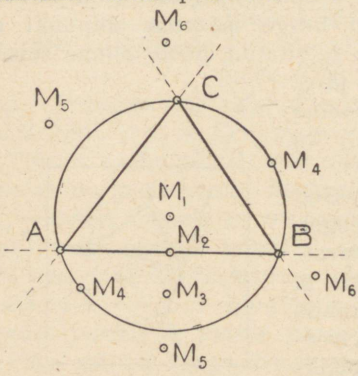
Joonis 27.



Joonis 28.

§ 44. Otsitava punkti asendi kuus juhtumit.

Pathénot' ülesandes on tähtis eristada otsitava punkti asendi 6 juhtumit antud punktide suhtes (joonis 29).



Joonis 29.

1. Punkt (M_1) asetseb antud punktidest moodustatud kolmnurga ACB sees.

2. Punkt (M_2) asetseb ühel kolmnurga külgedest.

3. Punkt (M_3) asetseb väljaspool kolmnurka, ent üle kolmnurga tõmmatud ringi sees.

4. Punkt (M_4) asetseb ringjoonel.

5. Punkt (M_5) asetseb väljaspool ringjoont kolmnurga ühe külje vastas.

6. Punkt (M_6) asetseb väljaspool ringjoont kolmnurga ühe nurga vastas, nurga haarade pikenduste vahel.

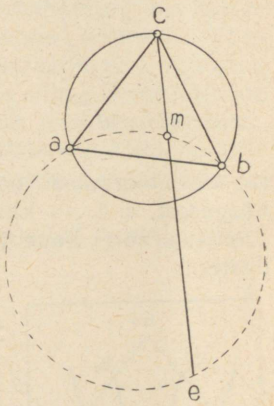
Sõltuvalt neist asendeist saadakse Besseli viisi järgi lahendamisel orienteerimise joon lühem või pikem.

Mainitud kuuest asendist on meil kasulikum valida niisugune, mis annaks kõige pikema orienteerimise joone. See puudutab niihästi määratava punkti valikut antud punktide suhtes kui ka antud punktide valikut määratava suhtes, sest määratavast punktist tavaliselt on näha rohkem kui kolm punkti.

Uurime orienteerimise joone suhtelist pikkust kõigi kuue juhtumi juures.

Läbi otsitava ja antud vasakpoolse ning parempoolse punkti minevat ringjoont nimetame kokkulepitult abiringjooneks, kuna ringjoont, mis läbib kolme antud punkti, nimetame pearingjooneks.

Esimesel juhtumil otsitav punkt asetseb kolmnurga sees ja järelikult abiringjoone sellel osal, mis kulgeb seespool antud kolmnurka. On ilmne, et abipunkt e saadakse abiringjoone välisel osal. Kuid abiringjoone välisosa asetseb väljaspool pearingjoont ja nii, et kõik selle punktid paiknevad sirgjoone ab suhtes vastasküljes punktiga c (joonis 30). On selge, et sel juhtumil orienteerimise joon ce saadakse alati pikk ning orienteerimine selle järgi on kindel.



Joonis 30.

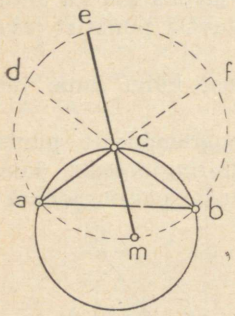
Mida lähemal joonele ab asetseb punkt m, seda väiksem on kaare amb kõverus ja järelikult seda suurem on abiringjoone kõveruseraadius. Kui punkt m asetub kolmnurga küljele *(teine juhtum)*, siis abiringjoone raadius võtab lõpmatu suure väärtuse, tähendab, punkt e saadakse lõpmatuses, orienteerimise joon omab lõpmata suurt väärtust. Sel juhtumil lahendatakse ülesanne nii, nagu on käsiteldud §-s 40 ja see õigupoolest ei esine Pothénot' ülesandena.

Kui otsitav punkt asetseks abiringjoone välisel osal, siis silmanähtavalt saadaks abipunkt antud kolmnurga sees, abiringjoone sisemisel osal (punktid e ja m vahetuvad kohtadel). See on *viies juhtum* ja me näeme, et sel puhul orienteerimise joon mc (joonis 30) saadakse lühike, orienteerimine ebakindel.

Kolmandal juhtumil abiringjoon asetseb osalt seespool pearingjoont (tingimuse kohaselt sellel osal paikneb ka otsitav punkt m), osalt väljaspool seda, punkti c vastas (joonis 31). Punkti m lähene-

misega pearingjoonele läheneb punkt e punktile c ja orienteerimise joon võib muutuda väga lühikeseks ning orienteerimine ebakindlaks.

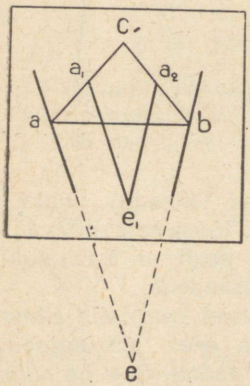
Kui punkt m asetub pearingjoonele, siis mõlemad ringjooned ühtivad, langevad ühte, tähendab ka punkt e ühtib punktiga c, s. t. orienteerimise joon võrdub nulliga. See on *neljas juhtum.* Ülesanne muutub sel puhul määramatuks, sest kõigist antud ringjoone punktidest punkt c on näha ühtede ja samade nurkade v ja p all; teiste sõnadega, antud nurgad v ja p ei saa sel korral anda otsitavale punktile ühte määratud asendit.



Joonis 31.

Kui punkt m asetseb abiringjoone välisel osal, kaare d e f piirides, siis abipunkt võtab endale asendi ilmselt kaare a m b piirides (punktid m ja e vahetuvad kohtadel). See on *kuues juhtum* ja on ilmne, et sel korral orienteerimise joon saadakse alati suurem antud kolmnurga kõrgusest, s. t. — küllaldaselt pikk.

Niisiis, kõigi kuue juhtumi arutlemine toob meid järgmiste järeldusteni:



Joonis 32.

1. Suurima pikkusega orienteerimise jooned saadakse esimesel ja kuuendal juhtumil. Neid juhtumeid tulebki alati taotella praktikas. Tavaliselt püütakse praktikas saada esimest juhtumit.

2. Kolmandal ja viiendal juhtumil orienteerimise jooned võivad esineda lühikestena, kui määratav punkt asetseb pearingjoone lähedal. Neid juhtumeid tuleb vältida.

3. Teisel juhtumil punkt määratakse §-i 40 viimases lõikes näidatud erijuhtumina lihtsa vastulõikega.

4. Neljandal juhtumil ülesannet ei ole võimalik lahendada, sest ringjoone mistahtene punkt annab ühed ja samad nurgad v ja p (ülesanne on määramatu).

Silmas pidades seda viimast (neljandat) juhtumit on vaja võtta reegliks pärast punkti määramist mikromeetrilise kruviga muuta mõningal määral orienteerimist ja taotella vigadekolmnurga saa-

mist. Kui viimast ei saada, siis see tähendab, et punkt asetseb ringjoonel ja seda punkti pole võimalik määrata.

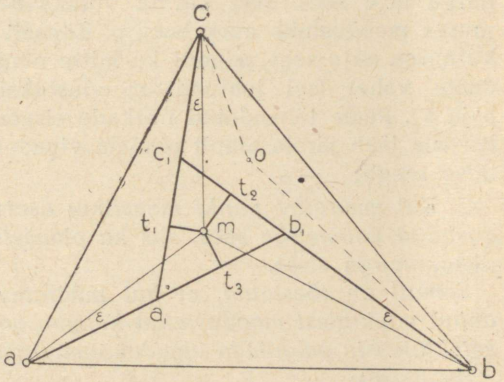
Teisest küljest saadakse esimesel juhtumil punkt e mõnikord väljapoole planšetti (joonis 32). Sel puhul orienteerimise joone saamiseks on vaja küljed ac ja bc jagada ühes ja samas vahekorras (näiteks mõlemad pooleks) ja üle jaotuspunktide a_1 ja a_2 tõmmata jooned a_1e_1 ja a_2e_2, vastavalt paralleelsed saadud joontega ae ja be. Nende lõikepunkt e_1 asendab punkti e.

§ 45. Lehmanni viis.

Lehmann tõestas rea teoreeme vigadekolmnurga ja otsitava punkti vastastikuse asendi \suhtes\ Saanud vigadekolmnurga, on nende teoreemide abil võimalik selle kolmnurga suhtes määrata otsitav punkt silma järgi. Kasutades leitud punkti parandatakse orienteerimist ja uuesti saadakse vigadekolmnurk. See viimane on väiksem esimesest, seepärast selle suhtes saab punkti määrata täpsemini. Nii toimitakse seni, kuni kõik kolm suunda lõikuvad ühes punktis. Vilunud plaanistajad märgivad tavaliselt punkti õigesti esimese korraga.

Et esimene vigadekolmnurk tuleks võimalikult väike, orienteeritakse mensul esialgu bussooli järgi või vähemalt silma järgi. Kui pärast niisugust esimest ligikaudset orienteerimist vigadekolmnurka ei saada, siis tuleb veenduda selles, et tõesti on tegemist õnneliku juhusega ega mitte eelmises paragrahvis kirjeldatud neljanda juhtumiga.

Olgu meil saadud vigadekolmnurk $a_1b_1c_1$ (joonis 33).



Joonis 33.

Kui punkti tõeline asukoht on m, siis joonisel tähega ε märgitud nurgad väljendavad ühte ja sama orienteerimise viga. Tõmmates punktist m vigadekolmnurga külgedega ristjooned saame:

$$\frac{mt_1}{mc} = \frac{mt_2}{mb} = \frac{mt_3}{ma} = \sin \varepsilon,$$

s. t. otsitav punkt asetseb vigadekolmnurga külgedest kaugustel, mis on võrdelised kaugustega kolmest antud punktist.

Kaugused mc, mb ja ma on meile tundmatud, aga silmas pidades vigadekolmnurga külgede vähesust võib neid asendada vastavalt kaugustega cc_1, bb_1 ja aa_1, seepärast

$$\frac{mt_1}{cc_1} = \frac{mt_2}{bb_1} = \frac{mt_3}{aa_1}$$

ehk

$$mt_1 : mt_2 : mt_3 = cc_1 : bb_1 : aa_1. \qquad (10)$$

Siit reegel:

1. *Otsitav punkt tuleb märkida lähemale vigadekolmnurga sellele küljele, mille pikendus antud kolmnurga vastava tipuni on teistest lühem.*

Et mensul töö ajal seisab määratavas punktis, siis punkti igasuguse asendi juures üle planšeti mistahes punkti tõmmatud suunad punktidele B ja C annavad parempoolse nurga p, kuid punktidele A ja C tõmmatud suunad annavad vasakpoolse nurga v. Eriti nurk $bc_1c = p$ ja nurk $aa_1c = v$. Punkt m ei saa asetseda nurga bc_1c sees, sest kui ta võtaks näiteks asendi o, siis tema juures moodustuks nurk $boc > p$. Täpselt samuti ta ei saa asetseda ka nurga aa_1c sees, samuti ka mitte nende nurkade haarade pikenduste vahel (sel juhtumil moodustuksid nurgad väiksemad kui p ja v). Peale tähendatud nurkade siseosa ja nende haarade vahelise ala jääb järele ainult pindala vigadekolmnurga sees. Nii saame teise reegli:

2. *Kui määratav punkt maastikul asetseb antud punktidest moodustatud kolmnurga sees, siis ka planšetil tuleb ta paigutada vigadekolmnurga sisse.*

Samuti on tõestatud, et kui määratav punkt maastikul asetseb antud punktidest moodustatud kolmnurgast väljaspool, siis ka planšetil tuleb ta paigutada vigadekolmnurgast väljapoole.

Seejuures:

a) Kui määratav punkt maastikul asetseb pearingjoone sees (kolmas juhtum) või olgugi sellest ringist väljaspool, ent nurga vastas (kuues juhtum), siis planšetil tuleb ta paigutada keskmisele punktile suunatud vigadekolmnurga külje vastu.

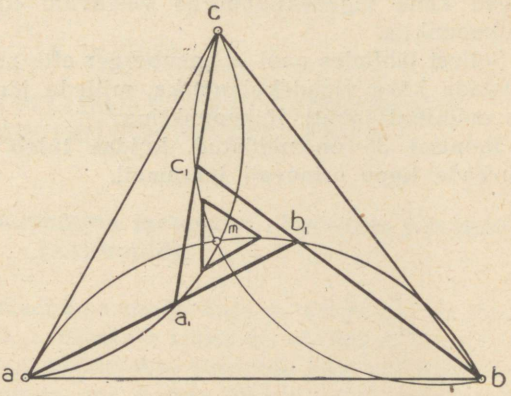
b) Kuuendal juhtumil, s. t. kui maastikul punkt asetseb väljaspool

pearingjoont, ent ühe külje vastas, siis plaňšetil tuleb ta paigutada vigadekolmnurga selle nurga vastu, mis seisab keskmisele punktile suunatud külje vastas.

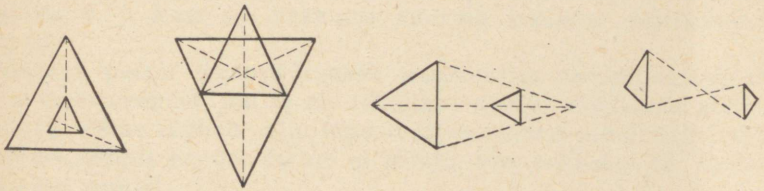
§ 46. Bohnenbergeri viis.

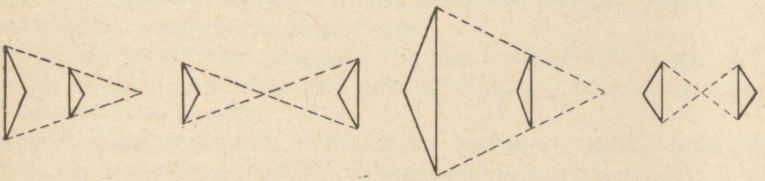
Et nurk $cc_1b = p$, nurk $cmb = p$ (joonis 34), siis nurk cc_1b = nurgaga cmb.

Siit järgneb, et punktid c_1 ja m asetsevad punkte b ja c läbival ringjoonel. Samuti kergesti ilmneb, et vigadekolmnurga tipud b_1 ja a_1 asetsevad samuti koos punktiga m vas-



Joonis 34.





Joonis 35.

tavail ringjoonil. Kui saaksime konstrueerida teise vigadekolmnurga, siis ka selle tipud asetseksid vastavalt samadel ringjoontel. Vigadekolmnurkade vähesuse tõttu võib kaarte osad b_1m, c_1m ja a_1m lugeda sirgeiks. Siis võib öelda, et *otsitav punkt peab asetsema* kahe vigadekolmnurga vastavaid tippe ühendavate sirgete lõikepunktis.

Sellest lähtudes pani Bohnenberger ette punkti määramiseks moodustada kaks vigadekolmnurka, millede järgi otsitav punkt leitakse mainitud joonte lõikepunktina.

Joonisel 35 on näidatud, kuidas tuleb ühendada vigadekolmnurkade tippe erinevail juhtumeil.

IV peatükk.

KALDKIIREGA NIVELLIMINE (GEODEETILINE EHK TRIGONOMEETRILINE NIVELLIMINE).

§ 47. Null-nivoo ehk keskmine merepind. Punktide kõrgused (altituudid).

Täielikuks arutluseks maapinna osade kuju ja vormi üle on vaja kujutada nende reljeef, s. t. üksikute punktide võrdlevad tõusud ja langused. Selle eesmärgiga mõõdetakse punktide kõrgusi. Rääkides maapinna punktide kõrgustest me peame silmas vertikaaljoonelisi kaugusi nende punktideni mingist arvutuse algusest. Siin on ilmselt tähtis kokku leppida, mida me hakkame pidama kõrguste arvutuse alguseks, s. t. kust me hakkame mõõtma mainitud vertikaalseid kaugusi.

Maakera pinnal omab kõrguselt muutumatut asendit ookeanide või merede veepind, kui ta on rahulikus seisus. Hoolimata sellest, et ookeanidesse suubub palju jõgesid ja et nendest aurab palju vett, veepinna kõrgus nendes ikkagi ei muutu, sest ookeanid on võrdlemisi väga suured.

Samuti ei või veepind olla erinev ookeanide ja merede järgi sellepärast, et nad on omavahel üksteisega ühenduses.

Ookeanides tõuseb ja langeb veepind ööpäeva jooksul mitu korda tõusude ja mõõnade tagajärjel. Silmanähtavalt on meie otstarbeiks vaja arvestada veepinna keskmist seisu.

Ookeanide ja merede veepinda rahulikus keskmises seisus, mõtendatult laiendatud ka mandrite alla, nimetatakse keskmiseks merepinnaks ehk null-nivooks.

Punktide kõrgusteks ehk altituutideks loetakse nende punktide kaugusi vertikaaljooni mööda keskmisest merepinnast ehk null-nivoost.

NSVL-s võetakse kõrguste lugemise alguseks Läänemere veepinna keskmine seis (Kroonlinna veemõõtja null).

§ 48. Absoluutsed ja relatiivsed kõrgused.

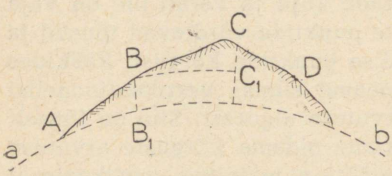
Punktide kõrgusi merepinnast on sageli raske määrata. Paljude praktiliste küsimuste jaoks ei ole sel ka suurt tähtsust. Siin etendab tunduvat osa punktide suhteline asetus üksteise üle; selle kujutlemiseks võib aga võtta kõrgusi mitte tingimata merepinnast.

Kui kõrguste arvutamise alguseks on merepind, — null-nivoo — siis kõrgusi nimetatakse absoluutseiks. Kui kõrgusi arvestatakse mingist teisest pinnast, siis neid kõrgusi nimetatakse relatiivseiks.

§ 49. Kõrguste siirmine. Kõrgusvahed.

Olgu kaar ab null-nivoo (joonis 36).

Kui mingi punkt A asetseb ookeani kaldal merepinna keskmise seisu kõrgusel, siis tingimuse kohaselt me loeme selle punkti absoluutse kõrguse võrdseks nulliga.



Joonis 36

Punkti B kõrguse määramiseks on vaja kindlaks teha, kui palju ta on kõrgemal punktist A, s. t. nii või teisiti mõõta vertikaalne kaugus BB_1. Olgu see h_1. Edaspidi märgime punktide absoluutseid kõrgusi tähega H, märkides all indeksina vastava punkti nimetuse. On ilmne, et

$$H_b = H_a + h_1 = 0 + h_1 = h_1$$

Punkti C kõrguse määramiseks saame samuti

$$H_c = H_b + h_2.$$

kus suurus h_2 näitab, kui palju punkt C asetseb kõrgemal punktist B, s. t. vertikaalset kaugust CC_1.

Suurusi h_1, h_2 ..., mis näitavad, kui palju maapinna üks punkt on kõrgemal (või madalamal) teisest, nimetatakse kõrgusvahedeks.

Kui üldiselt eelneva punkti kõrguse märgime tähega H_1, järgmise — H_2 ja nende vahelise kõrgusvahe, arvestades seda esimesest punktist teise punkti suunas, tähega h, siis saame niisuguse üldvalemi kõrguste siirmiseks ühelt punktilt teise:

$$H_2 = H_1 + h. \qquad (11)$$

Kui maastik esimeselt punktilt teisele minnes tõuseb, siis kõrgusvahe loetakse positiivseks, vastasel korral negatiivseks.

Valemit (11) rakendatakse, kui on teada seisupunkti (eelmise punkti) kõrgus ja otsitakse vaadeldava (järgmise punkti) kõrgust.

Kui vastupidi on teada järgmise punkti kõrgus, siis eelmise punkti kõrguse määramiseks saame:

$$H_1 = H_2 - h. \qquad (12)$$

Teades mingi ühe punkti kõrgust võib tuletatud valemite järgi kõrgusvahede abil määrata mistahes teiste punktide kõrgused.

Me lähtume null-nivoost. Teiste punktide kõrguste määramiseks on vaja mõõta kõrgusvahed. Nivellimisel kogu töö seisnebki kõrgusvahede mõõtmises.

§ 50. Kõrgusvahede määramine kaldkiirega.

Punkti B kõrgusvahe määramiseks punkti A suhtes (joonis 37) asetame punkti A kippreegli, punkti B aga lati või üldiselt tähise BC ja mõõdame kaldnurga ja horisontaalkauguse $Aa = Mm = s$. Joonisest näeme, et otsitav kõrgusvahe koosneb joontest am ja mB:

$$h = am + mB. \qquad (a)$$

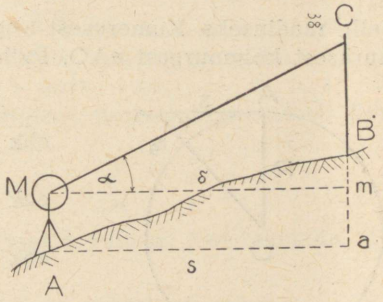
Joont mB omakorda võib vaadelda kui joonte mC ja BC vahet:

$$mB = mC - BC.$$

Asetades selle mB väärtuse võrdsusse (a) saame:

$$h = am + mC - BC. \qquad (b)$$

Siin suurus $am = AM$ on instrumendi kõrgus, mille me märgime tähega i. Seda on alati kerge mõõta ruleti või latiga.



Joonis 37.

Suurus BC on tähise kõrgus, mille märgime tähega l. Ka seda on kerge otseselt mõõta ruletiga.

Lõpuks suuruse mC võib arvutada täisnurksest kolmnurgast CmM, milles ta esineb kaldnurgale vastasseisva kaatetina. Tuntud trigonomeetrilise valemi järgi saame:

$$mC = s \tan \alpha.$$

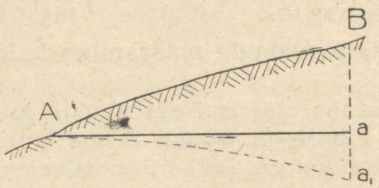
Asetades võrdsusse (b) suuruste am, BC ja mC mainitud väärtused saame (kirjutades liikme $mC = s \tan \alpha$ algusse):

$$h = s \tan \alpha + i - l. \qquad (13)$$

§ 51. Maa kumerusest tingitud parandus.

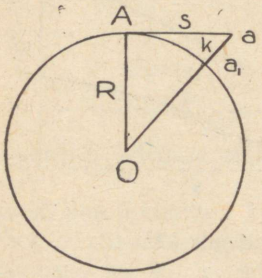
Võrdsus (13) annab võimaluse arvutada vertikaalkaugusi (joonis 38) horisontaalsest sirgjoonest Aa kuni punktini B. Kuid Maa pind läbib punkti A mitte sirgjoont Aa mööda, vaid kõverjoont Aa_1 mööda ja punkti B kõrgusvaheks punkti A suhtes tuleb pidada kaugust Ba_1. Valemi (13) kohaselt arvutatud kaugust Ba tuleb suurendada suuruse $aa_1 = k$ võrra, mida nimetatakse Maa kumerusest tingitud paranduseks.

Olgu O (joonis 39) kerakujulise Maa keskpunktiks, $AO = Oa_1 = R$



Joonis 38.

selle raadiuseks. Kumerusest tingitud parandust saab arvutada täisnurksest kolmnurgast aAO. Pythagorase teoreemi järgi saame:



Joonis 39.

$$OA^2 + Aa^2 = (Oa_1 + a_1a)^2,$$

ehk

$$R^2 + s^2 = (R + k)^2,$$

ehk

$$R^2 + s^2 = R^2 + 2Rk + k^2,$$

ehk

$$s^2 = k(2R + k),$$

kust:

$$k = \frac{s^2}{2R + k}.$$

Viimase võrdsuse parempoolse osa nimetajas võime suuruse k jätta tähele panemata, sest võrreldes suurusega 2R (üle 12 000 000 m) on ta väga väike ja järelikult jagatis $s^2 : (2R + k)$ erineb jagatisest $s^2 : 2R$ kaugelt vähema kui sajandikosade võrra. Niisiis Maa kumerusest tingitud paranduse jaoks saame valemi:

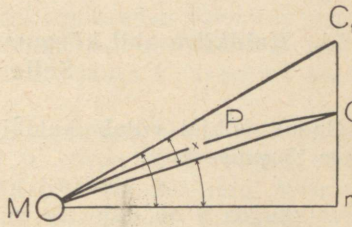
$$k = \frac{s^2}{2R}. \qquad (14)$$

Joonisest näeme, et see parandus tuleb valemi (13) kohaselt arvutatud suurusega h liita.

§ 52. Refraktsioonist tingitud parandus.

Maa refraktsiooni nähtust on kirjeldatud §-s 38.

Refraktsiooni tagajärjel tähise C m punktist C (joonis 40) väljuv kiir ei tule sirgjoont CM mööda, vaid kulgeb kõverjooneliselt CPM, ja me näeme punkti C asendis C_1 (meie silm pikendab kõverjoont MPC puutujat joont MC_1 mööda). Niiviisi me saame nurga CMm asemel nurga C_1Mm, mida võtamegi kaldnurgana. Kaldnurga õige suuruse saamiseks on vaja mõõdetud nurgast lahutada nurk x, mida õigupoolest nimetataksegi Maa refraktsiooniks. Selle suurus oleneb paljudest põhjustest ja allub raskesti arvestusele. Praktikas tavaliselt võetakse (radiaanmõõdus):



Joonis 40.

$$x = 0{,}16\ \frac{s}{2R}. \qquad (15)$$

Korrutis s tan $(\alpha - x)$ võetakse lahus, kuna x on väike:

$$s \tan(\alpha - x) = s \tan\alpha - sx.$$

Siit näeme, et refraktsioonist tingitud parandusega esineb korrutis sx:

$$sx = s \cdot 0{,}16\frac{s}{2R} = 0{,}16\ \frac{s^2}{2R}. \qquad (16)$$

See parandus tuleb valemi (13) järgi arvutatud h-st lahutada.

§ 53. Maa kumerusest ja refraktsioonist tingitud koguparandus.

Liites h-ga kumerusest tingitud paranduse $k = \frac{s^2}{2R}$ ja lahutades sellest refraktsioonist tingitud paranduse $0{,}16\frac{s^2}{2R}$ saame koguparanduse:

$$r = \frac{s^2}{2R} - 0{,}16\ \frac{s^2}{2R},$$

mis annab

$$r = 0{,}42 \cdot \frac{s^2}{R}. \qquad (17)$$

TRÜ Raamatukogu

TARTU ÜLIKOOLI

Praktikas arvestatakse tavaliselt seda koguparandust, kusjuures seda iga üksiku juhtumi jaoks ei arvutata, vaid võetakse tabelist, kuhu on varem arvutatud parandused mitmesuguste kauguste jaoks. Lisas 2 on antud niisugune tabel, mille kasutamine on arusaadav ilma selgitusteta.

§ 54. Kaldkiire abil kõrgusvahede määramise täielik valem. Selle erikujud.

Eelnenu põhjal võtab kaldkiire abil kõrgusvahede määramise valem järgmise kuju:

$$h = s \tan\alpha + i - l + r. \qquad (18)$$

Kui kaugus s on alla 300 m, siis parandus r on väga väike ja seepärast võib jätta ta arvesse võtmata.

Valem võtab siis (13) valemi kuju.

Kõrgusvahede määramiseks pikettidele suunatakse kaldnurkade mõõtmisel kippreegli keskmine niit tavaliselt latil instrumendi kõrguselt tehtud märgendile. Niisugusel juhtumil valemis (13) on vaja võtta $l = i$ ja valem saab lihtsama kuju:

$$h = s \tan\alpha. \qquad (19)$$

Kui kaugus määratakse kaugusemõõtjaga, siis $s = n \cos^2\alpha$, kus n on lugem latilt. Asetades selle s väärtuse valemisse (19) saame:

$$h = n \cos^2\alpha \tan\alpha = n \cos^2\alpha \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = n \sin\alpha\cos\alpha.$$

Kuid $\sin\alpha \cos\alpha$ tuntud trigonomeetrilise valemi järgi on $^1/_2 \sin 2\alpha$. Järelikult kõrgusvahe jaoks saame niisuguse avaldise:

$$h = {}^1/_2 n \sin 2\alpha. \qquad (20)$$

See valem annab võimaluse kõrgusvahesid arvutada kohe latilt lugemite järgi.

Suurte mõõtkavade jaoks $s = n \cos^2\alpha + c \cos\alpha$. Asetades selle s väärtuse valemisse (19) saame pärast hõlpsaid ümberkujundamisi:

$$h = {}^1/_2 n \sin 2\alpha + c \sin\alpha. \qquad (21)$$

§ 55. Kõrgusvahede arvutamise vahendid.

Valemis (18) esinevad suurused i ja l mõõdetakse vahenditult, r valitakse tabeleist, s tan α on vaja arvutada. Viimast avaldist nimetatakse valemi (18) pealiikmeks.

Pealiikme arvutamist võib teostada kas logaritmide järgi või, kasutades aritmomeetrit, tangensite loomulikkude väärtuste järgi. On olemas ka eriti koostatud tabelid. Niisugused on näiteks Savitski tabelid, mis on toodud „Instruktsioonis topograafiliseks mõõdistamiseks mõõtkavades 1 : 25 000 ja 1 : 50 000" (1932. a. väljaanne, lhk. 71—82).

Lisas 3 on toodud tabel, mis annab kõrgusvahed valemi $h=s \tan \alpha$ kohaselt, $s = 100$ m juures, kaldnurkade jaoks 0° kuni 6° iga 10' tagant. Kõrgusvahede saamiseks nurkade jaoks 1' tagant on kõrvuti paigutatud interpolatsiooni tabelid.

Tabelist valitud resultaate on vaja korrutada antud joonepikkuse sadade arvuga. Näiteks joone 435 ja nurga 4°47' jaoks leiame tabelist nurga 4°40' vastas arvu 8,163, vahe 293 järgi leiame 7' jaoks paranduse 0,205; tähendab, kõrgusvahe 100 m-le on 8,163+ + 0,205 = 8,368. Pärast seda h jaoks 435 m-le saame:

$$h = 8{,}368 \cdot 4{,}35 = 36{,}40 \text{ m.}$$

Niihästi selle tabeli kui ka Savitski tabelite kasutamisel on vaja meeles pidada, et nad on koostatud valemi $h = s \tan \alpha$ kohaselt, kus s on kauguse horisontaalprojektsioon. Kui kaugus on antud latilt lugemina n, siis enne on vaja arvutada $s = n \cos^2 \alpha$.

Valemit $h = s \tan \alpha$ kasutatakse juhtumil, kui vahenditult on olemas kauguse horisontaalprojektsioon. See on nõnda alati, kui kaugused mõõdetakse planšetilt sirkliga (geomeetrilise võrgu konstrueerimisel, nagu eespool näeme). Situatsiooni plaanistamisel mõõdetakse kaugused tavaliselt kaugusemõõtjaga ja kõrgusvahede arvutamiseks kasutatakse valemit (20). On olemas ka tabelid selle valemi järgi arvutamiseks, nii näiteks Jordani, Tugulovi jt. tabelid.

Lisas 4 toodud tabelid annavad horisontaalprojektsiooni $s = n \cos^2 \alpha$ ja kõrgusvahe $h = {}^1/_2\ n \sin 2\alpha$ nurkade jaoks 10' tagant $n = 100$ juures. Selle tabeli kasutamine on sarnane lisas 3 toodud tabeli kasutamisega.

Valemite arvutamiseks tuleb numbrid asetada mingis kindlas korras.

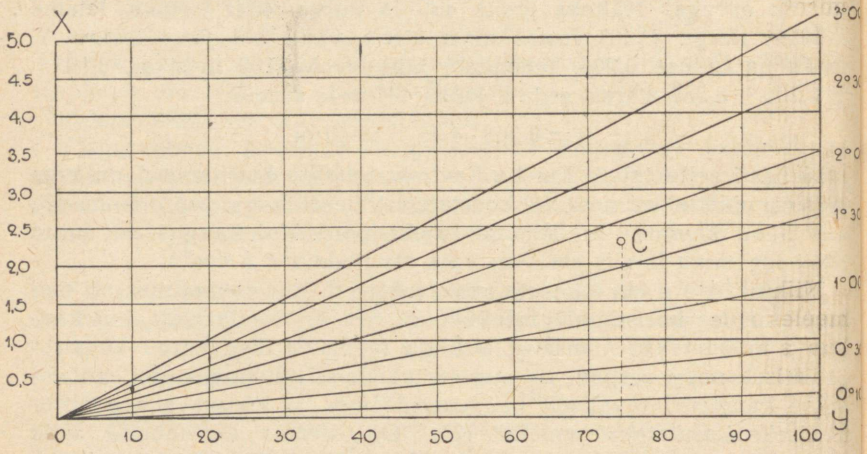
Näiteks logaritmide tabelite järgi arvutamisel on mugav asetada arvud nii (arvutatakse ülaltoodud näidet):

log 435	2,63 849
log tan 4°47'	8,92 262
log h	1,56 111
h	36,40

Valemi $h = \frac{1}{2} n \sin 2\alpha$ arvutamiseks võib tarvitada arvlükatit (logaritmilist joonlauda). Wild'i logaritmiline joonlaud võimaldab ka valemi $s = n \cos^2 \alpha$ arvutamist.

§ 56. Kõrguste mõõtkava.

Kõrgusvahede arvutamiseks pikett-punktidele võib tarvitada nomogrammi (konstruktsiooni paberile mingi valemi graafiliseks lahendamiseks), mida nimetatakse kõrguste mõõtkavaks.



Joonis 41.

Kõrguste mõõtkava konstrueerimiseks võtame kaks vastastikku risti olevat telge OX ja OY (joonis 41) ning kanname: horisontaalsele teljele (vasakult paremale) mistahes joonelise mõõtkava kauguste jaoks (näiteks 1 sentimeetris 10 meetrit), vertikaalsele aga (alt ülespoole) — suurema mõõtkava (näiteks 1 sentimeetris 1 meeter) kõrgusvahede jaoks. Mõõtkava jaotuste punktid märgime vastavate numbritega ja tõmbame üle nende punktide telgedega paralleelsed jooned.

Olgu horisontaalteljel viimane nummerdatud kaugus 100 m. Arvutame selle jaoks $h = \frac{1}{2} \cdot 100 \sin 2\alpha$ mitmesuguste α väärtuste jaoks, võttes neid näiteks 30' tagant. Saame niisuguse tabeli:

α	h	α	h	α	h
0°10′	0,29	2°30′	4,36	5°00′	8,68
0°30′	0,87	3°00′	5,23	5°30′	9,54
1°00′	1,74	3°30′	6,09	6°00′	10,40
1°30′	2,62	4°00′	6,96	6°30′	11,25
2°00′	3,49	4°30′	7,82	7°00′	12,10

Arvutatud h väärtused kanname võetud mõõtkava kohaselt, kauguse 100 m kohalt tõmmatud ristjoont mööda üles, saadud punktid märgime vastavate nurkade suurustega ja ühendame sirgjooneliselt (kiirtega) alguspunktiga O. Niisugusel kujul on kõrguste mõõtkava valmis.

Et kõrguste mõõtkava järgi määrata kõrgusvahe, näiteks 74 m jaoks kaldnurga 1°47′ juures, valime 74 m jaoks silma järgi vertikaaljoone 70 ja 80 vahel ja otsime selle lõikepunkti kiirega 1°30′ ja 2° vahel. See on ligikaudu punkt C. Selle kohaselt loeme silma järgi 2,3 m.

Täpsemaks lugemiseks võib horisontaaljooned tõmmata tihedamalt, näiteks 0,1 m tagant.

§ 57. Kõrgusvahede määramise täpsus.

Uurimised näitavad, et veale kõrgusvahes avaldab kauguse viga vähe mõju. Palju suuremat mõju avaldab kaldnurga viga, mispärast viimaseid on vaja mõõta võimalikult täpsemalt. Väga tugevasti mõjub kõrgusvahe veale refraktsiooni korrapäratu toime, s. t. viga suuruses r.

Valemite (15) ja (16) tuletamisel oletatakse, et *refraktsiooni koefitsient* K = 0,16 on muutumatu suurus. Tõepoolest aga, nagu on näidanud katsed, võib selle koefitsiendi suurus päeva jooksul muutuda 0,08 kuni 0,20. Tema ülaltähendatud keskmine suurus 0,16 on kõige püsivam keskpäeva ajal. Eriti tugev aga on refraktsiooni mõju hommikuti, kohe pärast päikese tõusu, ja õhtuti enne päikese loojangut. Sel ajal vead r-is on sageli suuremad r-ist endast. Eriti avaldub see suurte kauguste juures, sest refraktsiooni koefitsient korrutatakse kauguse ruuduga.

Kui kaugused ei ületa 2 km, siis vead kõrgusvahedes võetakse tavaliselt võrdelisteks kaugusteks. Nendes piirides kõrgusvahe

keskmine viga, kaldnurkade mõõtmise juures üheminutilise ringiga, loetakse 0,02 m 100 m-lisele kaugusele.

Lähtudes eeltoodust on vaja:

a) kaldnurkade mõõtmist ajaldada keskpäevaks,

b) kõrgusvahed kaugemal kahest kilomeetrist mõõta osade kaupa.

V peatükk.

RELJEEFI KUJUTAMINE PLAANIL.

§ 58. Mõiste reljeefi tekkimisest.

Maakera väline pind tekkis hõõguva ja sula massi aeglase hangumise tagajärjel. Järk-järgult tekkis kõva koorik, mille osad veel pika aja vältel muutsid oma asendit Maakera sisetungide tagajärjel. Selliste ümberasetuste resultaadina kujunes primaarne *struktuuriline pind,* mida hakkasid mõjutama mitmesugused välistegurid, nagu vesi, tuul, siis aga ka organismid. See on niinimetatud *denudatsiooniline protsess.*

Denudatsiooniliste protsesside tegevus on võrdlemisi aeglane, selle tagajärjed avalduvad ainult enam või vähem pikemaajalisel perioodil. Need protsessid silusid struktuurilist pinda, mille resultaadina saadi *topograafiline pind.* Viimane omab üldreeglina ümmardatud vorme, ilma nurgeliste murreteta ja järskude hüpeteta.

§ 59. Reljeefi vormid.

Reljeefi, kui seda võtta tervikuna kogu Maakeral, võrreldakse keskmise merepinnaga, kusjuures eristatakse depressioone, madalikke, kiltmaid ja mäestikke.

1. Keskmisest merepinnast madalamal asuvaid piirkondi nimetatakse *depressioonideks* ehk alamikkudeks; niisugune on näiteks Kaspia mere piirkond.
2. Tasandikke kõrgusega mitte üle 330 m nimetatakse madalikkudeks.
3. Tasandikke kõrgusega üle 330 m nimetatakse kiltmaadeks.
4. Maa pinnal järsult vahelduvate kõrgustega kõrgendikke nimetatakse mäestikeks, mis sisaldavad tippe, seljakuid, harju.

Reljeefi plaanistamisel (mõõdistamisel) tuleb tegemist teha erakordselt piiratud maapinna osaga. Sellel on siiski oma lohud ja kõrgendikud. Plaanistajal on vaja igas kohas selgesti ära märkida reljeefi põhivormid, milleks peab oskama reljeefi lugeda.

Need vormid on järgmised:

1. *Seljak* — piklik kõrgendik.

Seljakus on vaja eristada järgmisi elemente:

a) Veelahkme joont ehk seljaku joont, mis ühendab kõrgemaid seljaku punkte.

b) Nõlvu, s. t. seljaku joonest mõlemale poole allalaskuvaid pindu.

c) Kurusid või alanguid — seljaku joone madaldunud kohti.

2. *Org* — piklik, ühest või mõlemast otsast avatud lohk (ümberpööratud seljak).

Orul eristatakse järgmisi elemente:

a) Nõvajoont ehk veevoolu joont. See joon ühendab oru madalamaid punkte.

b) Veere — allalaskuvaid külgpindu.

Tingitud suurusest ja vormist, kannavad orud mõnikord erinimetusi. Nendest eraldatakse näiteks lammorge (lameda põhjaga), moldorge (mille veerud lamenevad põhjaks ilma nurgata), sälkorge V-kujulise ristläbilõikega, kuristikke (tavaliselt kitsad, peaaegu vertikaalsete veerudega) jne.

3. *Mägi* — enam-vähem ühte punkti tõusev kõrgendik (kuplikujuline või kooniline kõrgendik).

Mäe elemendid on:

a) Latv, mis võib olla enam-vähem terav ja mida nimetatakse siis tipuks, või lava taoline — platoo.

b) Nõlvad.

c) Jalg, s. t. piir, kus nõlvad lähevad üle ümbritsevaks tasandikuks.

Madalamaid mägesid nimetatakse vastavalt kõrgustele vaaradeks, kinkudeks ja küngasteks; kurgaanid on kunstlikud künkad.

4. *Sulglohk* — (ümberpööratud mägi).

Sulglohu elemendid on:

a) Põhi.

b) Veerud (külje pinnad).

c) Perv — koht, kus sulglohk läheb üle ümbritsevaks tasandikuks.

5. *Sadul* — ühest seljakust erisuunaliselt hargnevate orgude ühinemise koht. Seljak moodustab siinkohal kuru või alangu.

§ 60. Reljeefi kujutamiseks esitatavad tingimused.

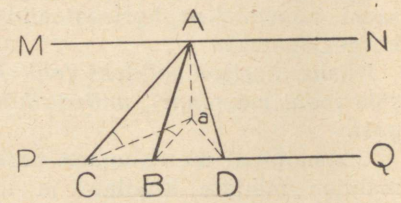
Reljeefi kujutamiselt nõutakse eelkõige näitlikkust, s. t. et selle järgi esimesest pilgust võiks otsustada reljeefi üldise iseloomu üle — kas reljeef on rahulik (s. t. ilma järskude üleminekuteta madalikkudest kõrgendikkudele ja vastupidi) või rahutu, kuidas asetsevad madalikud ja kõrgendikud jne.

Peale selle, arvestades mitmesuguste projektimiste (maakasutuste, põllumajanduslike maatükkide, teede, kanalite, ehitiste jne.) nõudeid, kujutiselt nõutakse, et selle järgi võiks määrata:

1) üksikute punktide kõrgusi;
2) nõlvade (veerude) suunda;
3) nõlvade järskust.

Nõlva (või veeru) järskuseks nimetatakse nõlva mööda mineva mingi joone kaldnurka.

Kujutelgem kallakat tasapinda, mis on piiratud horisontaalseist sirgjoonist MN ja PQ (joonis 42). Mingist punktist A võib tõmmata selles tasapinnas väga palju jooni, näiteks AC, AB, AD jne. Kõik nad omavad suuruselt erinevaid kaldnurki (järskusi) ACa, ABa, ADa (joon Aa on vertikaalne, kolmnurgad AaC, AaB ja AaD — täisnurksed). Nendest nurkadest suurim on see, mille ühe haara moodustab joontega MN ja PQ risti olev sirge. Tõepoolest, kui sirge AB on risti sirgega PQ, siis ta on väiksem joontest AC ja AD.



Joonis 42.

Tähendab, igas kahes suhtes, näiteks $\frac{Aa}{AB}$ ja $\frac{Aa}{AC}$ on esimene teisest suurem. Kuid esimene suhe on nurga ABa siinus, teine aga on nurga ACa siinus. Järelikult, nurk ABa $>$ nurgast ACa.

Nõlva (veeru) kahe horisontaaljoone vahele tõmmatud ristjoon esineb suurima järskusega joonena.

Nõlva (veeru) suuna all mõistetakse nõlval oleva suurima järskusega joone suunda, s. t. nõlva (veeru) horisontaaljoontega risti oleva joone suunda.

§ 61. Reljeefi kujutamine kõrgusarvudega.

Kõrgusarvudega reljeefi kujutamise viis seisneb selles, et plaanile pärast vastavate punktide kujutamist kirjutatakse nende punktide kõrgused.

Sellel meetodil puudub näitlikkus täielikult. Et selle meetodi abil enam-vähem täpselt ilmutada reljeefi, on vaja omada väga palju punkte, mis aga segastab plaani ning teeb tema „pimedaks" (kontuuride eraldamine muutub raskeks).

Reljeefi kujutamist kõrgusarvudega tarvitatakse käesoleval ajal ainult kombinatsioonis teiste meetoditega.

§ 62. Horisontaalid. Reljeefi lõikepinnad. Nõlva alus.

Kujutleme, et antud maatüki reljeef on lõigatud keskmise merepinnaga paralleelseist pindadest. Lõikes saadakse kõverjooned, kusjuures ühe niisuguse kõvera kõik punktid omavad ühte ja sama kõrgust. Kui maatüki pinda oleks võimalik järk-järgult üle ujutada veega, siis veepiirded kujutaksid endast niisuguseid jooni. Neid jooni nimetatakse horisontaalideks ehk isohüpsideks ehk samakõrgusjoonteks.

Niisiis, horisontaalideks (ehk isohüpsideks) nimetatakse niisuguseid jooni maapinnal, millede kõik punktid omavad ühesugust kõrgust.

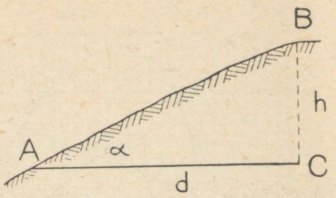
Ülalmainitud merepinnaga paralleelsed pinnad kujutellakse tõmmatuina mingite kindlate ja ühesuguste vertikaalsete kauguste tagant, näiteks iga 5 m, 10 m jne. tagant. On ilmne, et niisugused kaugused väljendavad sel juhtumil naaberhorisontaalide mistahes kahe punkti kõrgusvahet. Teisiti võib neid nimetada kahe naaberhorisontaali vertikaalkauguseks.

Naaberhorisontaalide vahelist vertikaalkaugust nimetatakse reljeefi lõikepindade kõrgusvaheks (ehk lihtsalt lõikevaheks).

Reljeefi kujutamisel kindla lõikevahega horisontaalid projektitakse ühele horisontaaltasapinnale (plaanile). Seejuures horisontaalide kujutised asetuvad muidugi teineteisest mitmesugustel kaugustel, sõltuvalt nõlvade või veerude järskusest: mida järsem on nõlva suund, seda lähedamalt üksteisest mööduvad horisontaalid.

Naaberhorisontaalidel asetseva kahe punkti omavahelist kaugust horisontaaltasapinnas nimetatakse aluseks.

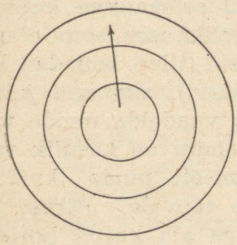
Kui me mingit nõlva lõikame vertikaaltasapinnaga, siis saame nõlva kujutise mingi joone AB (joonis 43) näol, kuna horisontaalide kujutised esinevad punktide A ja B näol. Täisnurkse kolmnurga BCA kaatet BC on lõikepindade kõrgusvahe h, kaatet AC — nõlva alus d ja nurk $BAC = \alpha$ on nõlva järskus.

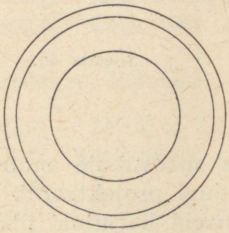


Joonis 43.

§ 63. Reljeefi põhivormide kujutamine horisontaalidega.

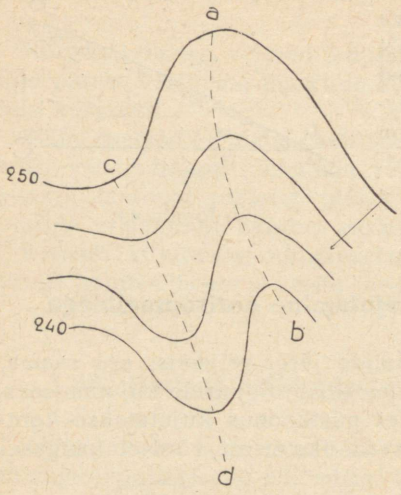
Selleks et ära õppida horisontaalide järgi reljeefist aru saama, on kasulik sooritada harjutusi geomeetriliste figuuride kujutamiseks. On näiteks hõlpsasti kujuteldav, et püstkoonus kujutatakse kontsentriliste ringjoontega, mis asetsevad üksteisest võrdsel kaugusel


Joonis 44.


Joonis 45.

(joonis 44). Samuti kujutatakse poolkera, kuid ainult kaugused kontsentriliste ringide vahel on seda väiksemad, mida kaugemal asetsevad ringid keskpunktist (joonis 45). Mõlemal juhtumil on kujutise järgi raske lahendada küsimust selle üle, kas on kujutatud reljeefi positiivne või negatiivne vorm (kumerus või nõgusus, mägi või lohk). Selle eristamiseks kirjutatakse horisontaalide juurde mõningate vahemaade tagant numbrid, mis väljendavad horisontaalide kõrgust kas üle keskmise merepinna või üle mingisuguse muu kokkulepitud pinna. Mõnikord näidatakse nõlvade või veerude suundi nooltega, mida nimetatakse mäekriipsudeks. Kaldtasapinda kujutatakse ilmselt paralleeljoontega.

Seljakut ja orgu kujutatakse horisontaalidega samuti ühesuguselt ning eristada saab neid ainult numbrite või mäekriipsude järgi. Kui



Joonis 46.

horisontaalid kumerusega on pööratud kõrguste suurenemise poole, siis on meil tegemist oruga; vastasel korral on meie ees seljak. Seejuures *nõvajooned, näiteks ab* (joonis 46), *kulgevad lahus, esinevate horisontaalide suurimaid kaugusi mööda.* Veelahkmejooned, näiteks cd, kulgevad samuti seljaku horisontaalide vahelisi suurimaid kaugusi mööda.

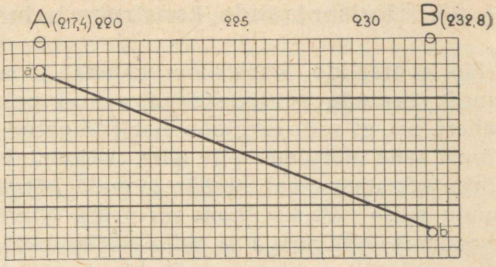
Plaanistajale on erakordselt tähtis vaadates maastikule näha, kuidas maastikul jooksevad, looklevad horisontaalid. Mõnikord aitab selleks kaasa maastikul seisva vee kujutlus. Kui tegelikkuses on olemas veekogusid (tiike, lamedate kallastega järvi), siis igal juhtumil tuleb vaadelda nende veepiiret. Samuti on kasulik vaadata maastikule mööda horisonteeritud planšeti pinda, kui see muidugi projekteerub maapinnale ega mitte taevale. Pärast niisuguseid harjutusi plaanistaja harjub mõninga aja kestel horisontaalide kulgemist nägema vahenditult.

§ 64. Horisontaalide konstrueerimine planšetile arvutamisega.

Mensuliga plaanistamisel me saame planšetile punktid ja vertikaalringi abil määrame nende kõrgused. Viimased saadakse mitmesuguse suurusega ning järgnev ülesanne seisnebki selles, et kahe punkti tuntud kõrguste järgi ära märkida nende punktide vahele punktid, mida läbiksid horisontaalid. Seejuures peab olema teada reljeefi lõikepindade kõrgusvahe; on selge, et *horisontaalide kõrgused peavad olema kordsed lõikevahedega.*

Olgu näiteks saadud planšetile punktid A ja B (joonis 47) ning määratud nende kõrgused 217,4 m ja 232,8 m, lõikevahe olgu võrdne 5 m. Sel juhtumil on vaja joonel AB märkida niisugused

punktid, millede kõrgused oleksid kordsed 5-ga ja mis samal ajal asetseksid 217,4 ja 232,8 m piirides. On lihtne arvutada, et siin esineb 3 horisontaali kõrgustega 220, 225 ja 230 m.



Joonis 47.

Me oletame, et antud punktide vahel nõlv on ühtlane (omab ühte ja sama järskust); kui seda poleks olnud, siis oleks tulnud igas nõlva käänukohas (igas reljeefi karakteerses punktis) asetada latt ja määrata koha kõrgus.

Nõlva ühtluse tingimusel on punktide vahelised kaugused võrdelised nende punktide kõrgusvahedega.

Kogukaugus AB tavaliselt mõõdetakse sirkliga plaanilt (kaugus võib olla teada ka mõõtmisest kaugusemõõtjaga). Olgu see näiteks 211,0 m.

Kõigi punktide vahelised kõrgusvahed saadakse hõlpsasti nii:

Kõrgusvahe A ja 1. horisontaali vahel = 220,0 — 217,4 = 2,6 m.
Kõrgusvahe 1. ja 2. „ „ = 5,0 m (lõikevahe).
Kõrgusvahe 2. ja 3. „ „ = 5,0 m.
Kõrgusvahe 3. horisontaali ja B vahel = 232,8 — 230,0 = 2,8 m.

Tähendab, kaugus 211,0 m on vaja jagada vahekorras 2,6 : 5 : 5 : 2,8 (võrdeliselt kõrgusvahedega). Selleks võtame summa 2,6 + 5 + 5 + + 2,8 = 15,4 ja arvutame kaugused:

A kuni 1. horisontaalini $2{,}6 \cdot \frac{211{,}0}{15{,}4} = 35{,}6$

1. kuni 2. horisontaalini $5 \cdot \frac{211{,}0}{15{,}4} = 68{,}5$

2. kuni 3. horisontaalini $5 \cdot \frac{211{,}0}{15{,}4} = 68{,}5$

3. horisontaalist kuni B $2{,}8 \cdot \frac{211{,}0}{15{,}4} = 38{,}4$

Kandes arvutatud kaugused järjestikku punktist A saame punktid, mida peavad läbima horisontaalid.

§ 65. Horisontaalide konstrueerimine graafilise meetodiga.

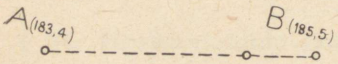
Horisontaalide konstrueerimiseks joonisel 47 võib joone AB juurde asetada ruutudeks lineeritud paberi, näiteks millimeeterpaberi, nii, et selle sirgjooneliselt lõigatud äär tuleks täpselt joonele. Pärast seda märgime selle ääre ristjoontele punktidest A ja B nende kõrgused, andes paberi äärejoonele kõrguse 215 m ja lugedes iga ruudu külje näiteks üheks meetriks. Niiviisi saadud punktid a ja b ühendame joonlauaga ja selle lõikepunktid paberil jämestatud joontega projektime joonele AB. Need projektsioonid näitavadki horisontaalide kohti. Jämestatud jooned tuleb tõmmata paberile juba varem, arvestades lõikevahet ja mõõtkava, milles kanti paberile kõrgused. Nii võrdub käesoleval juhtumil lõikevahe 5 m, ja kõrguste kandmisel paberile me võtsime iga ruudu külje üheks meetriks, tähendab, jämestada tuleb jooned iga 5 ruudu tagant.

See horisontaalide konstrueerimise viis nõuab palju vähem aega ja praktikas kasutatakse seda kõige sagedamini.

§ 66. Horisontaalide tõmbamine silma järgi.

Juhtumil, kui antud punktide vahet läbib ainult üks horisontaal, on selle asendit kerge määrata(mõnikord öeldakse „interpoleerida") silma järgi.

Olgu näiteks punkti A kõrgus 183,4 m ja punkti B kõrgus 185,5 m, lõikevahe olgu 5 m (joonis 48). Nende punktide vahelt peab läbima ainult üks horisontaal — 185 m. Selle horisontaali kõrgusvahed punktidest A ja B on vastavalt 1,6 m ja 0,5 m (meile on siin tähtis kõrgusvahe absoluutne väärtus). Et punktide vahelist kaugust jagada vahekorras 1,6 : 0,5, asendame selle lihtsamaga 1,5 : 0,5 = 3 : 1. Nüüd näeme, et kogu kaugus on vaja jagada 4 osaks, mida on kerge teha silma järgi, ja punkt märkida ¼ kaugusel punktist B. Seejuures, et rohkem läheneda suhtele 1,6 : 0,5, võib punkti mõnevõrra nihutada punkti B poole.



Joonis 48.

Selline viis on puhtmatemaatilisest vaatepunktist vähem täpne, kuid arvesse võttes seda, et nõlvad punktide vahel õigupoolest kunagi ei ole ühtlased, ei maksa taotella matemaatilist täpsust, sest

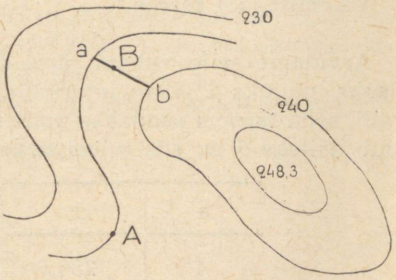
sellega ikkagi ei saa määrata horisontaalide tõelist asendit. Vastuoksa, kui horisontaalid on märgitud kas või isegi eriti täpselt — arvutusega, siiski vilunud plaanistajad, arvestades maastikku, lähendavad neid üksteisega või kaugendavad üksteisest (nagu öeldakse — „siluvad").

§ 67. Reljeefi kujutamise tingimuste täitmine horisontaalidega.

Vaatame, kuidas täidetakse reljeefi kujutamiseks esitatud tingimused (§ 60) horisontaalidega.

1. *Üksikute punktide kõrguste määramine.*

Kui punkt A (joonis 49) juhuslikult osutub horisontaalil asetsevaks, siis on selle kõrgust hõlpus määrata lihtsa horisontaalide loetlemisega. Joonisel ta omab kõrgust 235,0 m.



Joonis 49.

Kui punkt asetseb horisontaalide vahel, nagu näiteks punkt B, siis selle kõrguse määramiseks tõmbame üle punkti aluse ab = d ligikaudu risti lähemate horisontaalidega ja mõõdame sirkliga niihästi selle aluse pikkuse d kui ka lõigu aB = e. Märgime punkti B kõrgusvahe üle punkti a (mille kõrgus on teada, sest ta asetseb tingimuse kohaselt horisontaalil) x-ga; lõikevahe, s. t. punkti b kõrgusvahe üle punkti a märgime h-ga. Et kõrgusvahed on võrdelised horisontaalkaugustega, kirjutame võrde:

$$\frac{h}{d} = \frac{x}{e},$$

kust leiame

$$x = \frac{he}{d}. \qquad (22)$$

Liites selliselt saadud x punkti a kõrgusega saame punkti B otsitava kõrguse.

2. *Nõlvade suuna määramine.*

§-s 60 selgitati, et nõlva suuna all mõistetakse suurima järskusega joonte suunda, need jooned aga kulgevad risti horisontaalidele. Järelikult nõlvade suuna määramiseks on vaja tõmmata joon risti hori-

sontaalidega. Näiteks punktist b suundub nõlv joont ba mööda (joonis 49).

3. *Nõlvade järskuse määramine. Järskuste ehk aluste mõõtkava. Kalle.*

Joonisest 43 saame vahenditult:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d}. \qquad (23)$$

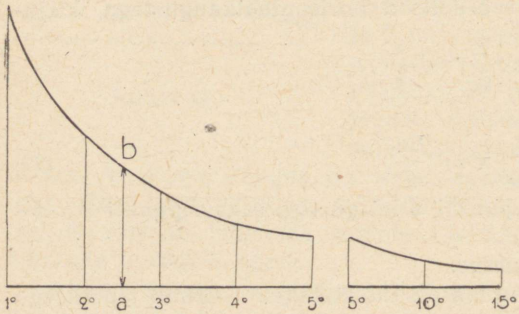
Lõikevahe h on alati teada, aluse d võime alati sirkliga mõõta, seega võib alati omada andmeid nõlva järskuse (kaldnurga) arvutamiseks valemi (23) järgi. Siiski praktikas nõlvade järskuse määramiseks kasutatakse harva valemit (23), vaid igal horisontaalidega plaanil konstrueeritakse selle valemi järgi nomogramm, mida nimetatakse *järskuste* ehk *aluste mõõtkavaks.*

Valemist (23) saame

$$d = h \cot \alpha. \qquad (24)$$

Arvutame selle valemi järgi d väärtused mitmesuguste nurkade jaoks, näiteks 1°-liste intervallide tagant (mida väiksem on intervall, seda täpsem saadakse konstruktsioon). Kui lõikevahe meil võrdub näiteks 5 m, siis tulemusena saame niisuguse väärtuste tabeli:

a	d	a	d
1°	286,5	10°	28,4
2°	143,2	15°	18,7
3°	95,4	20°	13,7
4°	71,5	25°	10,7
5°	57,2	30°	8,7



Joonis 50.

Võtame horisontaalse joone, kanname sellele mistahes mõõtkavas nurkade suurused, võttes näiteks 1° jaoks 1 sentimeetri, ja nummerdame vastavalt. Saadud punktidest kanname ristjooni mööda üles *plaani mõõtkavas* nurkadele vastavad alused, nende otsad ühendame pidevalt sujuva kõ-

verjoonega (lekaali järgi). 5° juures rebendatakse tavaliselt mõõtkava, sest edasi nurgad võetakse suuremate intervallide tagant (joonis 50). Et sellise mõõtkava järgi määrata mingi horisontaalide vahelise joone järskust, võetakse see joon sirklisse ja kantakse mõõtkavale, seades sirkli haru ühe teraviku horisontaalsele joonele, teise aga kõverale nii, et sirkli otsi ühendav sirgjoon oleks paralleelne ristjoontega. Kui sirkli teravikud võtavad näiteks asendi ab, siis joone järskus on 2°30'. See nurk hinnatakse silma järgi täpsusega kuni 15'.

Sageli järskust iseloomustatakse mitte nurgaga, vaid kaldega.

Kaldeks nimetatakse lõikepindade kõrgusvahe suhet alusega, ehk üldiselt *kahe punkti kõrgusvahe suhet nende punktide vahelise horisontaalkaugusega.* Valemi (23) kohaselt see suhe kujutab endast kaldnurga tangensit. Kallet kasutatakse mitmesuguste tehniliste ehitiste (teede, kanalite jm.) arvutlustel; kalle tavaliselt avaldatakse kümnendmurruna, näiteks 0,005, 0,008 jne.

Kui kalde märgime tähega p, siis definitsiooni kohaselt saame:

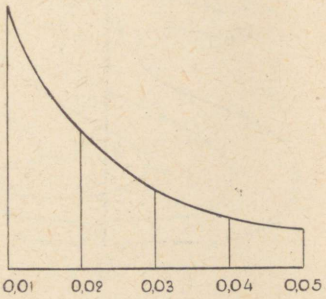
$$p = \frac{h}{d}, \tag{25}$$

siit

$$d = \frac{h}{p}. \tag{26}$$

Asetame valemisse (26) kallete mitmesugused väärtused teatava intervalli tagant, näiteks 0,01 tagant, siis saame vastavad d väärtused, millede järgi võib konstrueerida *kallete mõõtkava* (joonis 51), täiesti analoogiliselt sellega, kuidas konstrueeritakse aluste mõõtkavagi.

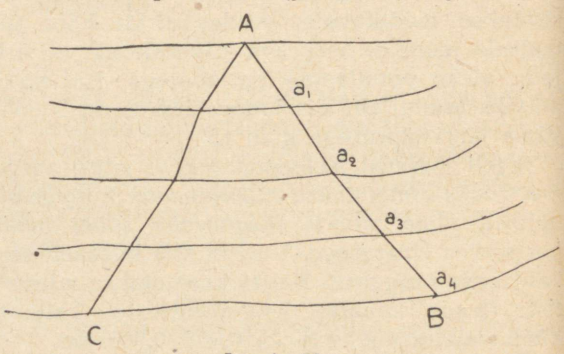
4. *Näitlikkus* väljendub horisontaalidega nõrgalt. Plaanile reljeefi näitlikkuse andmiseks kujutatakse mõnikord reljeef kriipsudega, millede jämedus võetakse olenevalt järskusest: mida järsem nõlv, seda jämedamate kriipsudega teda kujutatakse. Kriipsude asemel kasutatakse mõnikord tuši või seepiaga *uhtu.* Uhtviisi juures kaetakse mitmesuguse järskusega kallakud tumeduselt erinevate varjudega: mida järsem nõlv, seda tumedam vari.



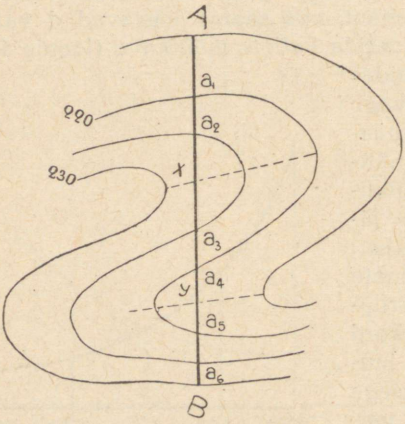
Joonis 51.

§ 68. Horisontaalidega plaanil lahendatavaid ülesandeid.

1. Ülesanne. Antud punktist tõmmata nõutavas suunas joon antud kaldega. Olgu näiteks antud punktist A (joonis 52) vaja tõmmata joon antud kaldega p ja seejuures nii, et see kulgeks punkti B poole (sama kaldega joone võib tõmmata ka punkti C poole). Kui plaanil on olemas kallete mõõtkava, siis on kõige lihtsam võtta sellelt sirkliga alus antud kaldega ja siis sellega lõigata horisontaale, alates antud punktist. Lõigete tulemusena saadakse punktid a_1, a_2, a_3, a_4, mida mööda peabki minema otsitav joon. Kui kallete mõõtkava puudub, siis tuleb esialgu arvutada nurk α võrdsusest $\tan \alpha = p$, siis aga selle kohaselt võtta sirkliga järskuste mõõtkavalt alus ning toimida eelmisel viisil.



Joonis 52.

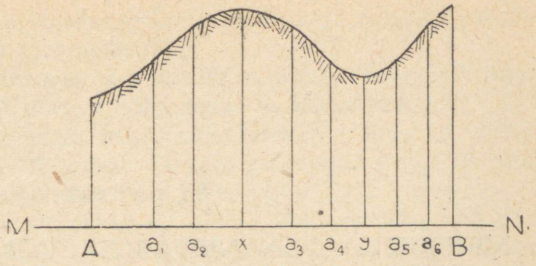


Joonis 53.

2. Ülesanne. Konstrueerida profiil antud suunas.

Olgu näiteks vaja koostada profiil joont AB mööda (joonis 53). Selleks tõmbame sirgjoone MN (joonis 54) ja kanname sellele alused Aa_1, a_1a_2, a_2x, xa_3 ..., võttes kaugused Aa_1, a_1a_2, a_2x jne. sirkliga otseselt plaanilt; punktidest kanname ristjooni mööda üles mingis suures mõõtkavas nende punktide kõrgused (joonisel 215, 220, 225 m jne.), võttes joone MN

punktide kõrguseks, näiteks 200 m. Ühendades pealekantud punktid sirgjoontega saame profiili. Punktide x ja y (lõikepunktid veelahkme- ja nõvajoonega) määrame silma järgi interpoleerimisega.



Joonis 54.

VI peatükk.

MENSULIGA PLAANISTAMISE VÕI KAARDISTAMISE TÖÖDE ORGANISEERIMINE JA TEOSTAMINE.

§ 69. Eriotstarbelised ja riiklikud mõõdistamised.

Eriotstarvete kohaselt mõõdistamisi (plaanistamisi või kaardistamisi) teostavad paljud asutised. Kõik sellised mõõdistamised kannavad *eriotstarbeliste mõõdistamiste* nimetust. Siia kuuluvad näiteks maakorralduslikud, metsakorralduslikud, markšeideri mõõdistamised, mitmesugused inseneriala eeluurimistööd jne.

Eriotstarbeliste mõõdistamiste kõrval teostab riik *riiklikke mõõdistamisi,* mille põhiliseks eesmärgiks on materjali andmine kaartide koostamiseks.

§ 70. Aluspunktid ja nende saamise meetodid. Geodeetiliste põhitööde mõiste.

Nagu varem on mainitud, peab mõõdistamise põhireegli — üldisest üksikasjadesse — täitmiseks, maastikule enne mõõdistamist rajama *aluspunktid,* millede asend üksteise suhtes peab olema määratud võimalikult täpselt.

Mõõdistamise aluse rajamine moodustab erilise liigi geodeetilisi toiminguid, mida nimetatakse *geodeetilise aluse töödeks.*

Kõige täpsem ja levinum viis aluspunktide saamiseks on niinimetatud *triangulatsioon,* mis skemaatiliselt seisneb järgmises.

Maastikul märgistatakse rida kolmnurki küljepikkustega 1 kuni 40 km. Niisugust kolmnurkade süsteemi nimetatakse *trigonomeetriliseks võrguks.* Kõigis kolmnurkades mõõdetakse kõik nurgad. Peale selle mõõdetakse eriti täpselt ühe kolmnurga üks külg. Sellist külge nimetatakse *baasiks.* Lähtudes baasi pikkusest arvutatakse trigonomeetriliste valemite järgi kõigi ülejäänud külgede pikkused kõigis

kolmnurkades, siis aga arvutatakse kõigi kolmnurga tippude koordinaadid; need tipud ongi aluspunktideks.

Sõltuvalt külgede pikkusest ja nurkade mõõtmise täpsusest jagatakse trigonomeetrilised võrgud järgedesse ja klassidesse.

Kõrgema järje võrke, mida teisiti nimetatakse *riiklikeks võrkudeks,* moodustavad I ja II klassi võrgud, küljepikkustega 10 kuni 40 km ja enam. Neid mõõdetakse ja arvutatakse eriti täpselt.

Alama järje võrke moodustavad III, IV ja V klassi võrgud küljepikkustega 1 kuni 10 km. Need rajatakse tavaliselt mõõdistamisi teostavate asjast huvitatud asutiste poolt ja üldreeglina need võrgud arendatakse kõrgema järje võrgu punktide vahele.

Kinnises maastikus, kus nurkade vaatlemine ühest punktist on mitmes suunas takistatud, kasutatakse alama järje aluse saamiseks erilist meetodit, mida nimetatakse *polügonomeetriaks.* Polügonomeetria olemus seisneb selles, et maastikul rajatakse rida üksteisega piirnevaid polügoone, mille tipud ongi kasutatavad aluspunktidena. Selle meetodi juures on vajalik mõõta peale nurkade ka kõik küljepikkused kõigis polügoonides.

Lõppeks neis kohtades, kus ei ole trigonomeetrilisi ega polügonomeetrilisi punkte, tuleb sageli toetuda *astronoomilistele punktidele,* s. t. niisugustele punktidele, millede jaoks on määratud praktilise astronoomia reeglite järgi geograafilised koordinaadid.

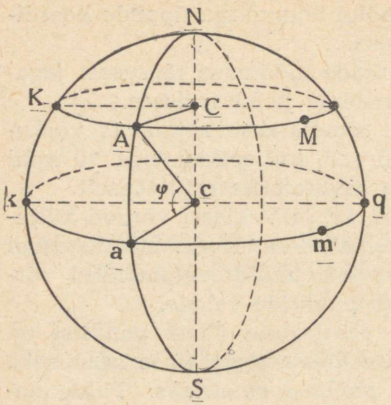
§ 71. Geograafilised koordinaadid.

Kahtlemata tuleb kõik eriotstarbelised mõõdistamised teostada nii, et nende tulemusena saadav mõõdistamismaterjal võiks olla kasutatav üldise kartograafia otstarbeiks võrdselt riiklike mõõdistamiste materjalidega. Selleks on vajalik, et kõik, sageli laialdastel maa-aladel teostatavad mõõdistamised oleksid ühendatud ühe ja sama koordinaatide süsteemiga, ühisest algpunktist.

Selliseks ühiseks koordinaatide süsteemiks kogu Maakera jaoks on geograafiliste koordinaatide süsteem.

On teada, et kui Maakera lõigata teljele NS risti oleva ja tsentrit c (joonis 55) läbiva tasapinnaga, siis lõikena saadakse suur ring kamq, mida nimetatakse ekvaatoriks. Lõiketasapinda ennast nimetatakse *ekvaatori tasapinnaks.*

Mingi punkti A asend määratakse nurgaga Aca = φ, mille moodustab antud punkti läbiv vertikaaljoon ekvaatori tasapinnaga. Seda nurka nimetatakse punkti *geograafiliseks laiuseks.*



Joonis 55.

Maapinnal võib leida palju punkte, mis omavad ühesugust laiust. Niisugused on näiteks punktid K, A, M. Ühesugust laiust omavate punktide kogum moodustab väikese ringi, näiteks K A M, mida nimetatakse *paralleeliks*. Sageli antakse punkti asend laiuse asemel paralleeliga, mis on üks ja sama. Näiteks võib öelda: „linna Štšigrõ laius on 51° 52′ 4″; kuid samuti öeldakse: „Štšigrõ linn asub paralleelil 51° 52′ 4″."

Niisiis ühe laiusega määratakse lugematu hulk punkte, mis moodustavad paralleeli. Et eristada nendest ühte antud punkti, tarvitatakse teist koordinaati — *λgeograafilist pikkust* .

Pikkuseks nimetatakse antud punkti meridiaani nurgalist kaugust meridiaanide lugemise kokkulepitud algusest, kusjuures seda kaugust loetakse algmeridiaanist ida suunas. Kui näiteks meridiaanide lugemise alguseks võtta meridiaan N K k S, siis punkti A pikkuseks on nurk k c a ekvaatori tasapinnal või temale võrdne nurk KCA paralleeli tasapinnal. Neid nurki mõõdetakse: esimest — ekvaatori kaarega k a, teist paralleeli K A kaarega. On ilmne, et pikkust võib mõõta iga ekvaatorile paralleelse ringi kaarega, algmeridiaani ja antud punkti meridiaani vahel.

Käesoleval ajal võetakse meridiaanide lugemise alguseks meridiaan, mis läbib Inglise astronoomilise observatooriumi Greenwichis (Londoni lähedal). Seda meridiaani nimetatakse Greenwichi meridiaaniks. Varem Venemaal võeti meridiaanide lugemise alguseks Pulkovo meridiaan, mis läbib Vene observatooriumi Pulkovos (Leningradi lähedal, pikkus Greenwichist 30°19′39″).

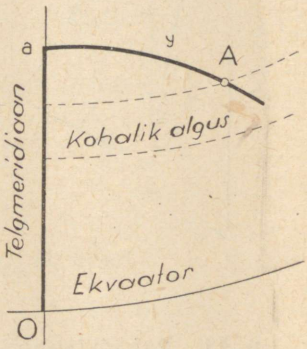
On ilmne, et laius võib omada kõiki tähendusi 0° (ekvaatoril) kuni 90° (poolusel), kusjuures on vaja eraldada *põhja*laiused punktidele, mis asuvad põhjapoolkeral ja *lõuna*laiused — punktidele lõunapoolkeral. Pikkused võivad omada kõiki tähendusi 0 kuni 360°.

§ 72. Gauss-Krügeri koordinaatide skeem. Direktsioonnurgad.

Geograafiliste koordinaatide ebamugavus seisneb selles, et arvutamised nendega on küllalt keerukad. Joonte, tasapindade, nurkade jne. arvutused toimuvad palju lihtsamini ristkoordinaatide abil, seepärast teostatakse kõik mõõdistamised nendes koordinaatides. Kuid ka ristkoordinaadid peavad samuti määrama punktide asukohad kaardil. Selleks on vajalik, et ristkoordinaatide järgi saaks igal ajal arvutada geograafilised koordinaadid ning vastupidi.

Küsimusi selle üle, kuidas saadakse selliseid koordinaate (neid on mitu süsteemi), arutellakse kõrgemas geodeesias. Meil siin on tarvilik tutvuda Gauss-Krügeri tasapinnaliste koordinaatide skeemiga, sest käesoleval ajal nende järgi arvutatakse geodeetiline alus.

Gauss-Krügeri süsteemis koordinaatide alguseks võetakse punkt O (joonis 56) — ekvaatori lõikepunkt mingi meridiaaniga, mida nimetatakse algmeridiaaniks (ehk telgmeridiaaniks). Meil võetakse algmeridiaanideks meridiaanid kordsed kolmega, lugedes Greenwichist, ja sel viisil iga vööndi (tsooni) jaoks ulatusega pikkuse järgi 3° määratakse oma algus.



Joonis 56.

Tarvitatakse samuti *kuuekraadilisi* tsoone, millede telgmeridiaanideks võetakse miljonilise kaardi lehtede keskmised meridiaanid (vaata allpool).

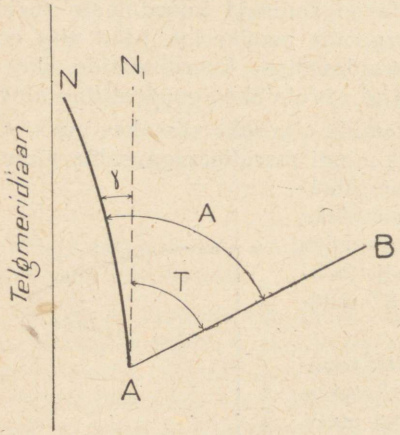
Abstsissid x *loetakse telgmeridiaani mööda ekvaatorist kuni suure ringini, mis läbib antud punkti ja on risti telgmeridiaaniga.* Põhjapoolkeral on nad positiivsed, lõunapoolkeral negatiivsed. Et ei oleks tegemist suurte arvudega, alatakse abstsisside arvestust sageli miljonilise kaardi lehtede keskmistest paralleelidest (vaata eespool), s. t. *paaris, kuid mitte neljaga kordsest* paralleelist. Neid paralleele nimetatakse *kohalikeks algusteks.*

Ordinaadid y *loetakse telgmeridiaanist antud punktini telgmeridiaanile risti olevat suurt ringi a A mööda, mis läbib antud punkti.* Kui nad kulgevad ida suunas (paremale), siis loetakse neid positiivseiks, vastasel korral — negatiivseiks.

Olgu mõõdistamine teostatav Štšigrõ linna rajoonis, mille geograafilised koordinaadid (tehnikumi hoone) omavad tähendust

$\varphi = 51^\circ\ 52',4$ ja $\lambda = 36^\circ\ 55',0$. Algmeridiaaniks tuleb siin võtta 3-ga kordne lähim meridiaan, s. t. 36°. See meridiaan saab abstsisside teljeks vööndile laiusega 3°, s. t. vööndi jaoks, mis on piiratud vasakult meridiaaniga 34° 30′ ja paremalt — 37° 30′. Selle vööndi laius 50°-lisel geograafilisel laiusel on umbes 215 km. Kohalikuks alguseks võetakse siin paralleel 50°. Iga tsooni piirides orienteeritakse jooned telgmeridiaani järgi.

Joonte ja telgmeridiaaniga paralleelse suuna vahelisi nurki nimetatakse direktsioonnurkadeks.



Joonis 57.

Võtame joone AB (joonis 57) ja tõmbame läbi punkti A meridiaani AN ning suuna AN_1, paralleelse telgmeridiaaniga. Joone asimuudiks on nurk $NAB = A$, direktsioonnurgaks aga — $N_1AB = T$. Vahet asimuudi ja direktsioonnurga vahel, s. t. nurka $NAN_1 = \gamma$ nimetatakse *meridiaanide koondumiseks* (konvergentsiks). Joonisest on ilmne, et

$$\gamma = A - T. \qquad (27)$$

§ 73. Rahvusvaheline planšettide jaotamine. Miljonilise kaardi lehed. Planšettide nomenklatuuri määramine.

Mõõdistamismaterjali kasutamise otstarbel suurte maa-alade kaartide koostamiseks, lõppresultaadis aga — kogu Maakera kaartide valmistamiseks piiristatakse igal planšetil mõõdistamist varem kindlaksmääratud piiridega nii, et mõõdistamine igal planšetil algaks sellest kohast, kus ta peaks lõppema naaberplanšetil. Selleks kantakse planšettidele enne raamid, mis kujutavad endast — vasakult ja paremalt mõningaid meridiaane, ülevalt ja alt aga — paralleele.

Tavaliste mõõdetega planšetil mõõtkavas 1 : 1 000 000 mahub vabalt maapinna iga osa, mis omab paremalt vasakule 6° pikkust ja ülevalt alla 4 laiust.

Niisuguste mõõdete põhimõttele on rajatud rahvusvaheline kaartide koostamise süsteem.

Rahvusvahelises süsteemis jagatakse kogu Maakera läänest itta kolonnideks ehk tulpadeks, igas kolonnis 6° pikkust. Need kolonnid nummerdatakse araabia numbritega. Kolonn, mis asetseb meridiaanide 0° ja 6° vahel Greenwichist, kannab nr. 31, kolonn meridiaanide 6° ja 12° vahel kannab nr. 32 jne. Kolonn nr. 1 asetseb meridiaanide 180° ja 186° vahel Greenwichist.

Teisest küljest, alates ekvaatorist pooluste poole, jagatakse Maakera ridadeks, 4° laiust igas reas, kusjuures need read märgitakse, alates ekvaatorist, ladina alfabeedi suurte tähtedega. Põhjalaiuse 0° ja 4° vahel on rida A, siis rida B jne.

Vahemaa ekvaatorist kuni 80° paralleelini omab järgmisi ridu:

40°		80°	
	J		T
36°		76°	
	I		S
32°		72°	
	H		R
28°		68°	
	G		Q
24°		64°	
	F		P
20°		60°	
	E		O
16°		56°	
	D		N
12°		52°	
	C		M
8°		48°	
	B		L
4°		44°	
	A		K
ekvaator 0°		40°	

Samasuguste nimetustega kulgevad read ka lõunapooluse poole.

Kui Maakeral tõmmata kolonnid ja read, siis tema pind jaguneb ekvaatorist põhja ja lõunasse ahenevaisse trapetsitesse, millede

alusteks on 6° pikkust (paralleeli mööda) ja külgedeks 4° laiust (meridiaani mööda). Lähenedes poolustele omavad need trapetsid üha väiksemaid ja väiksemaid joonelisi aluseid.

Mainitud trapetseid nimetatakse *rahvusvahelise, mõõtkavas 1 : 1 000 000, kaardi lehtedeks.*

Rahvusvahelise kaardi lehed eralduvad kergesti üksteisest kahe märkega — rea nimetusega ja kolonni numbriga. Sellist märgistamise süsteemi nimetatakse *1 : 1 000 000 kaardi lehtede nomenklatuuriks.*

Teades mingi punkti geograafilisi koordinaate, on hõlpus määrata selle kaardilehe nomenklatuur, milles punkt asetseb. Vastava kolonni äärmisteks meridiaanideks on ilmselt antud pikkusele lähimad, 6-ga kordsed meridiaanid. Näiteks Novosibirski pikkus on 82° 55', tähendab, temale vastava kolonni äärmised meridiaanid on 78° ja 84°.

Kolonni äärmise suurema parempoolse meridiaani järgi, mille me märgime tähega λ, on kerge määrata kolonni number valemist (meie Liidu jaoks):

$$\text{Nr.} = \frac{1}{6}\lambda + 30. \qquad (28)$$

Meie näites kolonni number on:

$$\frac{1}{6} \cdot 84 + 30 = 44.$$

Kolonni numbri määramiseks võib meie Liidu jaoks kasutada järgmist tabelit:

24°	30°	36°	42°	48°	54°	60°	66°	72°	78°	84°	90°
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
90°	96°	102°	108°	114°	120°	126°	132°	138°	144°	150°	
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55		

Novosibirski laius (ligikaudu) on 55°. Järelikult ta asub reas põhjalaiuse 52° ja 56° vahel, mis omab märget N. Niisiis rahvusvahelise kaardi selle lehe nomenklatuur, milles asub Novosibirsk, on N — 44.

Rahvusvahelise 1 : 1 000 000 kaardi iga leht jaotatakse 144 trapetsiks mõõtkavas 1 : 100 000. Selliste trapetsite saamist võib kujutada järgmiselt: 1 : 1 000 000 kaardi lehe iga külg jagatakse 12 võrdseks osaks, saadud punktid ühendatakse joontega; nende lõikepunktidega saadaksegi trapetsid 1 : 100 000. On ilmne, et nende mõõted pikkuses (paralleeli mööda) on 6° : 12 = 30' ja laiuses (meridiaani mööda) 4° : 12 = 20'.

Edasine alljaotus on näha järgmisest tabelist:

Mõõtkavad	Trapetsite mõõted meridiaani mööda	Trapetsite mõõted paralleeli mööda
1 : 1 000 000	4°	6°
1 : 100 000	20′	30′
1 : 50 000	10′	15′
1 : 25 000	5′	7′ 30″
1 : 10 000	2′ 30″	3′ 45″

Kõigi mainitud trapetsite jaoks on võetud järgmised märked:

a) trapetsid mõõtkavas 1 : 100 000 märgitakse araabia numbritega 1 kuni 144;

b) trapetsid 1 : 50 000 — vene alfabeedi nelja esimese suure tähega А, Б, В, Г;

c) trapetsid 1 : 25 000 — vene alfabeedi nelja esimese väikese tähega а, б, в, г;

d) trapetsid 1 : 10 000 — araabia numbritega 1 kuni 4.

Iga nende trapetsite nomenklatuur peab sisaldama viidet kõigile neile suurtele trapetsitele, milledesse tema kuulub. Seda saavutatakse sellega, et enne antud trapetsi märgistamist, millega näidatakse tema koht eelmises suuremas trapetsis, kirjutatakse eelnevate veel suuremate trapetsite märked, kuhu tema kuulub. Näiteks nomenklatuur N — 44 — 135 — Б — г — 4 räägib sellest, et mõõtkavas 1 : 10 000 antud trapets kuulub 1 : 25 000 trapetsisse г, see viimane kuulub 1 : 50 000 trapetsisse Б; trapets Б, omakorda aga kuulub mõõtkava 1 : 100 000 trapetsisse 135, mis asetseb 1 : 1 000 000 mõõtkavas kaardi 44 kolonnis, N reas.

Planšeti nomenklatuuri määramiseks peab teadma mõõdistamise mõõtkava ja mõõdistamise rajoonis omama ühe-kahe punkti jaoks geograafilisi koordinaate.

Olgu näiteks vaja määrata planšeti nomenklatuur mõõtkavas 1 : 10 000, kusjuures mõõdistamise rajoonis on punkt koordinaatidega $\varphi = 51° 52' 25''$ ja $\lambda = 36° 55' 00''$. Ülaltoodud tabelite järgi määratakse kohe miljonilise kaardi lehe nimetus: M — 37.

1 : 100 000 trapetsi nimetuse määramiseks skitseerime miljonilise kaardi selle lehe alljärgneva skeemi ja eraldame selles tulba 36° 55′-le lähemate pikkustega, arvestades, et tulbad sisaldavad 30′ pikkust. Ilmselt on selleks vasakult teine tulp.

36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°

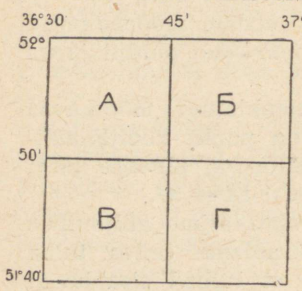
52° 40′	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13				17							24
20′	25				29							
51°	37				41							
					53							
					65							
50°					77							
					89							
					101							108
49°	109				113							120
	121											132
48°	133											144

52°

48°

Nüüd eraldame 51° 52′-le lähemate laiustega rea, arvestades, et read sisaldavad 20′ laiust. Ilmselt on selleks ülevalt esimene rida. Eraldatud rea ja tulba lõikes saame trapetsi 2.

Pärast seda skitseerime eraldatud trapetsi skeemi (joonis 58) ja eraldame uuesti selles tulba ja rea antud geograafilistele koordinaatidele lähemate pikkuste ja laiustega, arvestades, et nüüd read sisaldavad laiusi 5′ kaupa, tulbad aga pikkusi 15′ kaupa. Sel kombel meie juhtumil eraldub trapets Б.



Joonis 58.

Toimides nii ka edasi saame nomenklatuuri: М — 37 — 2 — Б — г — 3.

Suuremõõduliste (1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000) mõõdistamiste planšettide raamid joonestatakse ruutude kujul, kusjuures

mõõtkava 1 : 5 000 jaoks võetakse ruut küljega 40 cm, teiste mõõtkavade jaoks — küljega 50 cm. Niiviisi mõõtkava 1 : 5 000 jaoks planšetile joonestatakse koordinaatide võrgu 16 detsimeetrilist ruutu, teistes mõõtkavades — 25 ruutu. Planšetile plaanistatud pindala mõõtkavas 1 : 5 000 sisaldab 400 ha, mõõtkavas 1 : 2 000 — 100 ha, mõõtkavas 1 : 1 000 — 25 ha.

Suurte mõõtkavaliste planšettide nomenklatuur koostatakse telgmeridiaani, raami edela (SW) tipu abstsissi ja ordinaadi märkimisega kilomeetrites ning arvulise mõõtkava tähendamisega. Seejuures, et vältida negatiivseid ordinaate, lisatakse neile juurde 500 km kuuekraadiliste tsoonide juures või 300 km kolmekraadiliste tsoonide juures.

§ 74. Planšettide raamide konstrueerimine.

Planšeti teadaoleva nomenklatuuri järgi saadakse hõlpsasti teada tema raami nurkade geograafilised koordinaadid.

Olgu näiteks antud nomenklatuur M — 37 — 53 — Б — б — 2. Märkide M — 37 järgi määrame kindlaks miljonilise kaardi lehe nurkade koordinaadid, kasutades eelmises paragrahvis toodud tabeleid.

M — 48° ja 52° laiuse vahel
37 — 36° ja 42° pikkuse „

Joonestades selle lehe skeemi, määrame kindlaks trapetsi 53 nurkade koordinaadid:

$\varphi = 50° 20' — 50° 40'$; $\lambda = 38° — 38° 30'$.

Joonestades selle trapetsi skeemi määrame ära planšeti Б nurkade koordinaadid:

$\varphi = 50° 30' — 50° 40'$; $\lambda = 38° 15' — 38° 30'$.

Toimides samal viisil ka edasi, saame antud planšeti nurkade järgmised koordinaadid:

Ülemine vasak nurk: $\varphi = 50° 40'$; $\lambda = 38° 26' 15''$
Ülemine parem nurk: $\varphi = 50° 40'$; $\lambda = 38° 30'$.
Alumine vasak nurk: $\varphi = 50° 37' 30''$; $\lambda = 38° 26' 15''$
Alumine parem nurk: $\varphi = 50° 37' 30''$; $\lambda = 38° 30'$.

Raami konstrueerimiseks on vaja saadud geograafilised koordinaadid ümber arvutada Gauss-Krügeri tasapinnalisteks koordinaatideks. Selleks on koostatud tabelid insener-geodeetide L. M. Dmitrijevi ja G. A. Utjanski poolt. Tabelid on trükitud „Topograafilise mensuli mõõdistamise instruktsioonis, mõõtkava 1 : 10 000" (1933. a. väljaanne, lk. 139—203). Nendes tuuakse Gauss-Krügeri koordinaa-

did laiuse ja antud pikkuse ning telgmeridiaani pikkuse vahe järgi. Meie juhtumil ülemise vasaku nurga jaoks saame: $\varphi = 50^\circ\ 40'$; pikkuse vahed $\Delta\lambda = 38^\circ 26' 15'' - 39^\circ = -33' 45''$.

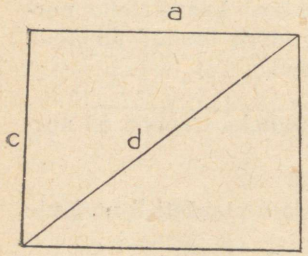
Nende andmete järgi leiame tabelist lk. 149.

$$x = 5\,614\,578{,}8; \quad y = -39\,763{,}4.$$

Analoogiliselt määratakse ka ülejäänud kolme tipu koordinaadid.

Raami konstrueerimiseks on vaja planšetile joonestada koordinaatide võrk ja siis koordinaatide järgi kanda planšetile raami tipud.

Koordinaatide võrk joonestatakse hästi teritatud pliiatsiga planšeti „ümbrikule" (planšetti katvale aleksandriit paberi lehele) ja pärast kontrollimist kantakse vatmani paberile. Raamide pealekandmise õigsuse kontrollimiseks on „Raamide mõõdete tabelid mõõtkava 1 : 10 000 jaoks", mis on toodud ülalmainitud instruktsioonis lk. 47—68 (lisa 2). Mõõtkava 1 : 50 000 jaoks on samasugused tabelid toodud mõõtkavas 1 : 25 000 ja 1 : 50 000 mõõdistamiste instruktsioonis. Tabeleis on antud trapetsi ülemise ja alumise aluse a mõõted (joonis 59) sõltuvalt laiusest. Nii me leiame näiteks laiuse $50^\circ 40'$ jaoks leheküljel 55, et $a = 44{,}182$ cm (mõõtkava 1 : 10 000 jaoks). Siinsamas on ka antud raamide pikkused c meridiaani mööda ja trapetsi diagonaal d. Trapetsi jaoks laiuste $50^\circ\ 37'{,}5$ ja $50^\circ\ 40'$ vahel me leiame: $c = 46{,}345$ cm ja $d = 64{,}044$ cm. Järgmises tulbas on antud trapetsi pindala $P = 20{,}4852$ km² (ehk 2 048,52 ha).



Joonis 59.

Konstrueerides koordinaatide järgi nurkade tipud tuleb valida tabeleist kõik mainitud kaugused ja nendega kontrollida planšetil saadud vastavaid pikkusi.

§ 75. Ettevalmistustööd.

Kui selgub töö asukoht ja ulatus, tuleb viivitamatult hankida mõõdistamise rajoonis ja selle läheduses äärmiste planšettide raamide taga asetsevate aluspunktide Gauss-Krügeri ristkoordinaatide nimestik, punktide kõrgused ja teised andmed (joonte pikkused, direktsioonnurgad jm.), mis võivad olla kasulikud mõõdistamisel.

Väga tähtis on samuti saada varem mõõdistatud naaberplanšettide raame mööda *ääriste kokkuvõtteid*, s. t. kuni poole sentimeetri laiu-

sega koopiaid nende planšettide ääreribadest, mis otseselt piirnevad mõõdistatavate planšettidega.

Planšeti ettevalmistust tuleb instruktsiooni kohaselt alustada laua ülevaatusega; laud peab omama tasast, siledat, ilma lõhedeta ja lohkudeta pealmist pinda. Seejärel puhastatakse laua ääred hoolikalt eelmisest kleepimisest säilinud paberist, riidest ja naeltest. Laua peale tõmmatakse tihedalt linane lõuend või tihe kalingur, mis katab pealmise pinna ja mis kinnitatakse laua külgtahkude külge peente, võimalust mööda lamedapealiste vasknaeltega. Linase lõuendi või kalinguri peale kleebitakse üleni lauale sile vatmani paberi leht, mis katab laua pealmise pinna ja tema külgtahud, millede külge paberi lehe ääred hoolikalt kleebitakse tärklise kliistriga. Enne kleepimist niisutatakse vatmani paber kergelt veega ja kaetakse kleepimiseks kliistriga. Pärast 2—3-päevast kuivamist tõmmatakse üle vatmani paberi planšetile aleksandri (ehk teine tihe ja sile) paber, kusjuures see kleebitakse tihedalt ainult mensuli laua külgede külge. Aleksandri paberi pealekleepimist tuleb teha hoolikalt, silmas pidades, et selle peal tuleb täita esialgseid graafilisi töid.

Juhtumil, kui kasutatakse alumiiniumi või peent kuiva kõrgekvaliteedilist, hästi kaua hoitud vineeri (dikti) paksusega 1,5—3,0 mm, kleebitakse vatmani paber ilma lõuendita või kalingurita vahenditult mensuli laua pealmise pinna suurusega võrdsele alumiiniumi või vineeri (dikti) lehele. Niisugune leht asetatakse seejärel mensuli lauale ja kinnitatakse selle külge kruvidega, naelakestega või tärklise kliistriga.

Vineeri või alumiiniumi lehele kleebitud vatmani paber kaetakse ülevalt aleksandri paberiga, mis mensuli laua külgede külge kinnitatakse samuti, nagu tavalise ettevalmistuse juureski.

Vatmani paberi kleepimist vineerile teostatakse fotograafilise läbipaistva liimiga või vedela puusepa-liimiga.

Vineeri kasutamisel tuleb see tagaküljest kleepida tiheda, tugeva paberiga.

Pärast 6 päeva, kui liimimisega ettevalmistatud planšett on hästi ära kuivanud, kantakse aleksandri paberi peale trapetsi raamid, milleks paberile joonestatakse ristkoordinaatide võrk 10-cm-liste vahemikkudega. Sellel alusel teostub trapetsi nurgapunktide konstrueerimine ja alusvõrgu punktide pealekandmine Gauss-Krügeri ristkoordinaatide järgi. Trapetsite raamid asetatakse võimalikult sümmeetriliselt planšeti äärte suhtes.

Pärast võrgu, raamide ja punktide hoolikat pealekandmist ja selle kontrollimist torgitakse planšetile kantud trapetsi nurgatipud, koor-

dinaatide võrk ja punktid peene nõelaga läbi aleksandri paberi vatmani paberile nii, et vatmani paberile jääksid peened, ent selged iga pealekantud punkti torked.

Viga trapetsi raamide konstrueerimises ja aluspunktide pealekandmises lubatakse mitte üle 0,2 mm plaanil.

Mõõdistamisplanšettide ruudukujuliste raamide konstrueerimisel on vaja ära näidata ruudu nurgatippude geograafilised koordinaadid.

Pärast punktide pealekandmist tõmmatakse tušiga aleksandri paberile konstrueeritud trapetsite raamid. Raamide taha kirjutatakse planšeti nomenklatuur, mõõtkava, teostamise aasta, punktide koordinaadid ja koordinaatide võrk, märkide kõrgused ning aluspunktide absoluutsed kõrgused.

Tööde teostamiseks vajalikud kaugusemõõdu latid, kaheküljelised, arvult 2—3 iga kippreegli jaoks, valmistatakse õigeaegselt. Lattide jaotamine teostatakse mõõdistaja enda poolt.

Valmistatud latid peavad rahuldama järgmisi nõudeid:

a) lati jaotused peavad olema pikksilmas teravalt nähtavad;

b) kaugusemõõtja koefitsient antud kippreegli jaoks peab olema võrdne 1-ga;

d) latid peavad tagama lugemise täpsuse vastavalt mõõdistamise mõõtkavale. Mõõtkava 1 : 10 000 juures peab lati vähim jaotus olema võrdne 0,2 dm; väikesteks jaotusteks jagatakse ainult osa latist;

e) jaotustest vabale osale — lati ühele küljele — kirjutatakse kippreegli number.

§ 76. Aluse tihendamine. Geomeetriline võrk.

Alusest trigonomeetriliste punktide näol tavaliselt ei piisa. Parimal juhtumil, kui maastikule on loodud V klassi võrk, tuleb planšetile 1 : 10 000 5—6 punkti, keskmiselt aga nõutakse 20—30 punkti. Seepärast seisneb mõõdistaja esimene töö alati aluspunktide tihendamises, milleks trigonomeetriliste punktide vahele rajatakse niinimetatud geomeetriline võrk.

Geomeetriliseks võrguks nimetatakse kolmnurkade võrku, mis planšetile saadakse eranditult graafiliselt (lõigetega). Need kolmnurgad peavad kujult lähenema võrdkülgseile.

Võrgu küljed planšetil peavad omama mõõteid mitte alla 5 cm. Siiski liiga suuri külgi ka ei saa moodustada, sest mida suuremad on küljed, seda vähem saadakse punkte. Seejuures tuleb lähtuda

niisuguseist kaalutlusist: mõõdistamisel mõõtkavas 1 : 10 000, 1 km²-le peab tulema 1 punkt. Punktide üldarv igal planšetil peab olema 15—30, olenedes reljeefist, situatsioonist ja kohalikest tingimustest.

Geomeetrilise võrgu rajamisel on tööd vaja korraldada nii, et vead oleksid minimaalsed ja jaguneksid kogu pindalale.

Tööde järjekord on järgmine:

1. Rekognostseerimine (järelevaatus).
2. Märkide asetamine.
3. Konstrueerimine planšetil.

§ 77. Rekognostseerimine.

Rekognostseerimise ülesandeks on valida kohad punktide jaoks. Punktide kohad on vaja valida kõrgendikel ja samaaegselt ka niisugused, et punktidega moodustuvad kolmnurgad oleksid lähedased võrdkülgseile. Igal juhtumil tuleb taotella, et lõikenurgad punktidel saaksid mitte alla 40°. Tuleb samuti arvestada, et kõige kasulikumad on maastiku need punktid, mis kontuuride ja reljeefi suhtes esinevad kõige karakteersemaina.

Niisiis rekognostseerimisel on vaja käia kõrgendikult kõrgendikule, määrates silma järgi nende vahelisi kaugusi ning saadavate kolmnurkade kujusid. Seejuures tuleb teostada silmamõõdulist mõõdistamist ja eriti ära märkida väljapaistvaid esemeid, mida võib kasutada punktidena: silotorne, vabrikute korstnaid, poste jms.

§ 78. Märkide asetamine.

Valitud kohtadesse püstitatakse tähised kõrgusega 5—7 m, mis on märgitud numbrite või tähtedega. Märgid peavad olema kirjutatud tähistele enestele.

Tähiste tippu kinnitatakse tavaliselt õletuustid, nende alla aga asetatakse põikpuu. Tähised kaevatakse maasse vähemalt 0,75 m. Tähise kõrvale taotakse maaga tasa vai. Sellest vaiast kuni tähise põikpuuni mõõdetakse tähise pikkus ja kirjutatakse väliraamatusse ning tähisele. Maasse taotud vaia kõrgusel raiutakse kirvega tähisele märk.

§ 79. Geomeetrilise võrgu konstrueerimine planšetil.

Pärast rekognostseerimist ja tähiste püstitamist minnakse mensuliga maastikule ning asutakse ühte aluspunktidest, kus mensul orienteeritakse kõige kaugemal asetseva punkti järgi ja lõigatakse kõik näha olevad tähised, kusjuures kõik suunad tõmmatakse kõva pliiatsiga (4 H — 6 H) ka planšeti raamide taga, kus ka näidatakse missugusest punktist ja missugusesse kulgeb antud suund. Enne töö lõpetamist antud punktis on vaja veenduda orienteerimise muutumatuses.

Pärast seda minnakse teisele aluspunktile ning toimitakse samuti, jne. Võib muidugi asetuda ka geomeetrilise võrgu kindlalt määratud punktidele. Mensuli ülesseadmisel eemaldatakse tähis ning mensul tsentreeritakse silma järgi. Väikestes mõõtkavades plaanistamisel võib mensuli asetada tähise kõrvale.

Geomeetrilise võrgu iga punkt peab olema saadud vähemalt kolmest aluspunktist.

Geomeetriline võrk koostatakse üle vatmani paberi tõmmatud aleksandri paberile. Seejuures neis kohtades, kuhu on kantud trigonomeetrilised või teised aluspunktid, lõigatakse aleksandri paberisse enne ettevaatlikult aknad, paljastades vatmani paberile torgetega kantud punktid, et võimaldada nende järgi orienteerimist.

Kui kõik suunad mingile punktile lõikuvad ühes punktis, siis see loetakse kindlalt määratuks ning kantakse torkega üle vatmani paberile.

Võrgu punktide hulka on vaja lülitada kõik paikkonnas asetsevad maastiku alalised esemed (vabrikukorstnad, ehitiste tipud, tuletõrje tornid, tuuleveskid jne.). Eriti tähtis on nii toimida iga naaberplanšeti raamide lähedal, et tagada kindlat sidet nende vahel. Kui viimasel juhtumil alalisi esemeid ei leidu, siis tuleb siin olemasolevad tähised kindlustada tulpade asetamisega.

§ 80. Geomeetrilise võrgu punktide kõrguste määramine.

Mõõdistamise kõrguste põhitamiseks on vaja igal planšetil omada 1—2 sellist punkti, mille kõrgused määratakse niinimetatud geomeetrilise ehk tehnilise nivellimisega, mida käsitleme allpool. Neist punktidest siirdakse geomeetrilise võrgu rajamisel kõrgused kõigile võrgu punktidele kaldkiirega nivellimise meetodil. Selleks mõõdetakse võrgu konstrueerimisel samaaegselt kaldnurgad kippreegli

vertikaalringiga. Nurkade mõõtmist teostatakse vertikaalringi kahes asendis otse- ja vastusuunas kolmnurkade iga külge mööda, s. t. ühest otsast teise ja vastupidi. Tavaliselt viseeritakse alguses kõigile ümbritsevaile punktidele vertikaalringi ühes asendis, siis aga samadele punktidele ringi teises asendis.

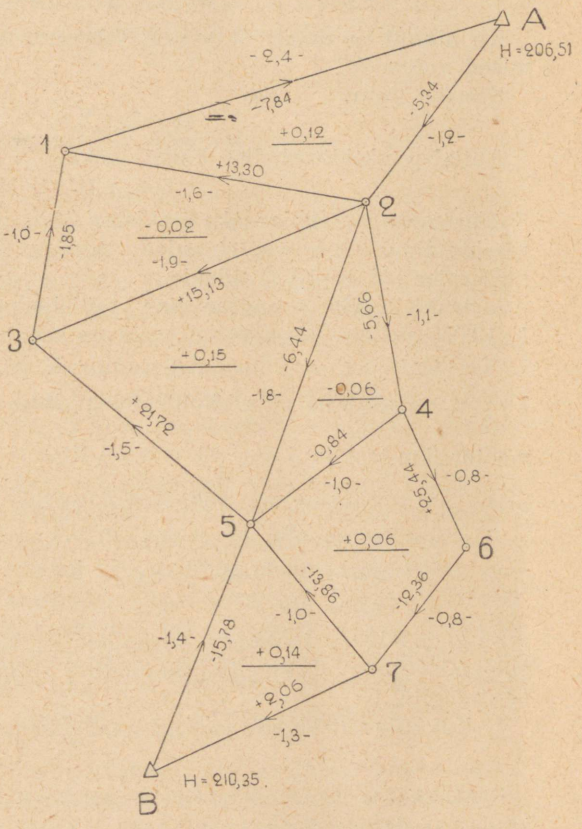
Külgede pikkused kõrgusvahede arvutamiseks võetakse plaanilt sirkliga. Igas jaamas on muidugi vaja mõõta instrumendi kõrgus, samuti on vaja teada kõigi tähiste kõrgused. Selleks teostataksegi § 78 mainitud tähiste kõrguste mõõtmisi.

Vertikaalnurkade mõõtmiste tulemused kirjutatakse väliraamatusse, mille vorm on toodud lisas 5.

Kõrguste arvutamist alustatakse otse- ja vastukõrgusvahe määramisega igal küljel valemi (18) järgi. Lahkuminekud otse- ja vastukõrgusvahede vahel lubatakse mitte üle 0,4 m kauguse kilomeetri kohta. Lubatavuse korral võetakse keskmine kõrgusvahe otse- ja vastukõrgusvahest (absoluutseist väärtusist).

§ 81. Kõrgusvahede tasandamine.

Kõrgusvahede tasandamiseks koostatakse skeem nii, et kõik punktid oleksid seotud kolmnurkade ridadega või teiste lihtsamate suletud figuuridega. Skeemil figuuride külgi



Joonis 60.

mööda kirjutatakse keskmised otse- ja vastukõrgusvahedest, figuuride sisse aga kirjutatakse sulgemisvead, mis arvutatakse kõigis figuurides mingis ühes suunas, näiteks kellaosuti käigu suunas (joonis 60).

Ilmne kõrgusvahede tingimus kolmnurkade või üldse suletud figuuride külgi mööda seisneb selles, et nende kõrgusvahede summa peab võrduma nulliga:

$$\Sigma h = 0.$$

Siin mõeldakse summeerimist mingis ühes suunas.

Kui kahe tuntud kõrgustega H_1 ja H_2 vahel murdjoont mööda on mõõdetud mitu üksikut kõrgusvahet, siis tingimuseks on:

$$\Sigma h = H_2 - H_1 \text{ ehk } \Sigma h - (H_2 - H_1) = 0.$$

Kirjutatud tingimustest saame sulgemisvigade arvutamiseks järgmised valemid:

Kinnise figuuri jaoks:

$$W_h = \Sigma h. \tag{29}$$

Antud punktidevahelise käigu jaoks:

$$W_h = \Sigma h - (H_2 - H_1). \tag{30}$$

Äärmiseks sulgemisveaks kinnistes figuurides loetakse 0,02 m, korrutatud figuuri perimeetri sadade arvuga. Sulgemisvigu üle 0,75 m figuurides üldse ei või lubada.

Instruktsioonis topograafilise mõõdistamise jaoks mõõtkavas 1 : 10 000 antakse äärmise sulgemisvea arvutamiseks järgmine valem:

$$\Delta h = \pm m_h \sqrt{Pd}, \tag{31}$$

kus m_h on äärmine viga kilomeeter-pikkuse kohta, P — figuuri perimeeter (km-tes) ja $d = \frac{P}{n}$ kus n on figuuri külgede arv (kolmnurga jaoks $n = 3$). Suurus m_h võetakse sõltuvalt kallaku nurkadest α :

α juures alla 5° $m_h = 0{,}4$

α juures 5° kuni 7° $m_h = 0{,}6$

α juures üle 7° $m_h = 0{,}8$.

Sulgemisvigade jaotamist (tasandamist) on kõige lihtsam teostada sulgemisvigade võrdlemise meetodil.[1]) Meenutagem selle meetodi põhireeglid:

1. Kui sulgemisvigade märgid naaberfiguurides on erisugused, siis

[1]) Mõõtkavas 1 : 10 000 mõõdistamisel teostatakse geomeetrilise võrgu kõrgusvahede tasandamist samuti nagu V klassi trigonomeetrilise võrgu kõrguste tasandamistki. V klassi võrgu tasandamine on käsiteldud 3-ndas osas.

tuleb parandada võimalikult *siduva* (mõlemale figuurile ühise) külje kõrgusvahesid.

2. Kui sulgemisvigade märgid naaberfiguurides on ühesugused, siis tuleb võimalust mööda parandada *vahepealsete* (mitte ühiste) figuurikülgede kõrgusvahesid.

3. Muude võrdsete tingimuste juures sulgemisvead peavad olema võrdelised külgede pikkustega.

Joonisel 60 tuleb esmalt selliselt tasandada kõrgusvahed kõigis kolmnurkades (koos nelinurgaga 4—6—7—5), siis aga, opereerides juba figuuride järgi parandatud kõrgusvahedega, tasandada punktide A ja B vahel esmalt käik A—1—3—5—B ja pärast seda käik A—2—4—6—7—B, jaotades sulgemisvead võrdeliselt külgede pikkustega.

§ 82. Mensuli käikude rajamine.

Kinnisel maastikul, kus geomeetrilise võrgu arendamine on takistatud, kasutatakse aluspunktide tihendamiseks mensuli käikude rajamist aluspunktide vahele. Mensuli käigud tuleb rajada kõige sobivamaid teid ja metsasihte mööda, keskmise punktidevahelise kaugusega 250—350 m. Käikude üldpikkus sõltub mõõtkavast. Mõõtkava 1 : 10 000 juures ta ei tohi ületada 3 km planšeti orienteerimisel suundade järgi ja 1 km orienteerimisel bussooli järgi, mõõtkava 1 : 25 000 juures — 4 km ja mõõtkava 1 : 50 000 juures — 8 km.

Mensuli seisupunktid märgitakse tavaliselt kraavikestest ümberpiiratud vaiadega.

Mensuli käiku alustatakse aluspunktist, kus mensul tsentreeritakse ja orienteeritakse. Pärast seda kippreegli pikksilm suunatakse latile, mis on asetatud vaiale mensuli käigu esimeses punktis nii, et kippreegli joonlaua äär läbiks seisupunkti; siis tehakse lugemised kaugusemõõtja ja vertikaalringi järgi (kusjuures enne vertikaalringi lugemist niitristiku keskmine niit suunatakse lati ülemisele otsale), tõmmatakse suund esimesele punktile planšeti raami taha ja kantakse joonele kaugusemõõtjaga mõõdetud kaugus. Pärast seda minnakse üle esimesele punktile, kus mensul orienteeritakse tõmmatud esimese suuna järgi jne.

Kaugus punktide vahel mõõdetakse kaks korda — otse ja vastu. Erinevused joonte pikkuste otse- ja vastukauguste määramisel ei tohi ületada kaugusemõõtja täpsuse piire, s. t. $\frac{1}{300}$ joone pikkusest.

Kui erinevus on lubatav, siis kahest määramisest võetakse aritmeetiline keskmine.

Jooni, pikemaid kui 300 m, mõõdetakse üldreeglina osade kaupa.

Vertikaalnurkade mõõtmine peab teostuma vertikaalringi kahes asendis.

Kui me hakkame viimasest jaamast käiku sulgema, s. t. orienteerime siin mensuli ja viseerime üle viimase punkti planšetil maastiku aluspunktile (või suletud käigu puhul maastiku lähtepunktile), siis saadud suund üldreeglina ei läbi vastavat punkti planšetil (või kui me kippreegli joonlaua ääre seame ühte aluspunktiga planšetil, siis pikksilm ei suundu vastavale punktile maastikul). Mõõtes ja mõõtkava järgi planšetile kandes viimast joont me saame joonelise sulgemisvea, sarnase sellega, mis saadakse polügooni pealekandmisel rumbide järgi.

Äärmine jooneline (relatiivne) sulgemisviga mensuli käikudes võetakse tavaliselt võrdseks $\frac{1}{300}$ käigu perimeetrist.

Topograafilise mõõdistamise instruktsioonides mõõtkava 1 : 10 000 jaoks antakse äärmise relatiivse joonelise sulgemisvea arvutamiseks järgmine valem:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{10^4} \sqrt{\frac{4000}{n} + 8n + 24},$$

kus n on käigu külgede arv.

Kui sulgemisviga on lubatav, siis ta jaotatakse käigu kõigile punktidele paralleeljoonte viisiga.

Erinevused otse- ja vastukõrgusvahede vahel käigu iga joone jaoks ei tohi ületada 0,03 m 100 m pikkuse kohta. Kui erinevus on lubatav, siis otse- ja vastukõrgusvahest võetakse aritmeetiline keskmine.

Sulgemisvead kõrgusvahedes arvutatakse valemi (29) või (30) järgi, sõltuvalt sellest, kas käik on kinnine või lahtine.

Äärmine sulgemisviga kõrgustes arvutatakse mõõtkavas 1 : 10 000 mõõdistamisel valemi (31) järgi.

Lubatav sulgemisviga jaotatakse käigu kõigile kõrgusvahedele võrdeliselt külgede pikkustega.

Peale mensuli kirjeldatud *põhikäikude* rajatakse mõnikord maatüki kinnistes osades veel kõrvalisi mensuli käike. Selliste käikude rajamisel kasutatakse enam lihtsustatud viise. Nii mõõdetakse jooned kaugusemõõtjaga ühekordselt, vertikaalnurgad — ringi ühes

asendis (kui on olemas veendumus nulliaseme püsivuses), mensulit võib orienteerida bussooli järgi ja seejuures mensuliga asuda punktides üle ühe. Need käigud rajatakse tavaliselt mensuli põhikäikude punktide vahele. Joone lubatav sulgemisvea piir alaneb kuni $\frac{1}{200}$ perimeetrist.

§ 83. Mõõdistuspunktid.

Üksikasjade mõõdistamisel asutakse esimeses järjekorras mensuliga aluspunktidele ja plaanistatakse ümbritsev maa-ala. Kuid et ainult aluspunktidest ei ole võimalik mõõdistada kogu maa-ala, siis tuleb valida jaamade jaoks veel rida punkte, mida nimetatakse mõõdistuspunktideks ehk abipunktideks.

Ilmselt peab mõõdistuspunktid valima sellistes kohtades, kust on kõige mugavam teostada mõõdistamist, ja seejuures nii, et kogu plaanistatud paikkond oleks nendest mõõdistatav latipunktide (pikettide) abil. Nende-vaheline kaugus sõltub reljeefist. On vajalik, et mõõdistuspunktist oleksid selgesti ja arusaadavalt näha kontuuride ja reljeefi kõveruste piirjooned, järelikult, mida keerukam on reljeef, seda väiksem kaugus tuleb võtta jaamade vahel.

Mõõdistuspunktid, samuti nagu mensuli käigu punktid kinnitatakse kraavikestest ümberpiiratud vaiadega.

Mõõdistuspunktide asukohti võib määrata kõigi tuntud viisidega: lõigetega, polaarviisiga, Pothénot' ülesande lahendamisega.

Mõõdistuspunktide määramisel polaarviisiga tuleb nende punktide read rajada polügoonide kujul aluspunktide vahele (mensuli käikude rajamine).

Kauguste määramiseks kasutatakse kahekülgelist latti, kaugused mõõdetakse otse ja vastu ning kaugused parandatakse olenevalt kallakusest ja viseerimise telje mitteristiolekust latiga. Kui kaugust ei ole võimalik mõõta äärmiste niitide lugemisega (latt on lühike), siis tehakse lugemid osade kaupa — alguses ühe äärmise ja keskmise, siis teise äärmise ja keskmise niidi järgi, kaugus saadakse nende lugemite summana. Lahkuminekud joonte otse- ja vastumõõtmiste vahel ei tohi maksimaalsete kauguste juures ületada 2 m.

Vertikaalnurgad mõõdetakse vertikaalringi kahe asendi juures. Mõõdistuspunktide kõrgusvahede määramiseks võetakse keskmine otse- ja vastumõõtmisest. Pothénot' ülesande lahendamise juhtumil

mõõdistuspunktide kõrgus siirdakse vähemalt kolmest aluspunktist ning saadud kõrgustest võetakse aritmeetiline keskmine.

Kui mõõdistuspunktid moodustavad aluspunktide vahele rea, siis tavaliselt teostatakse nendest mõõdistamist pärast nende sidumist lõpu aluspunktiga ja vastavat tasandamist. Kui sulgemisviga kõrgusvahedes ei ületa 0,1 lõikevahest, siis viimase mõõdistuspunkti (järgneva aluspunkti naaberpunkti) kõrgus võetakse keskmine kahest tulemusest — eelmisest mõõdistuspunktist ja aluspunktist siirdud kõrgustest, teiste mõõdistuspunktide kõrgused jäetakse muutmata. Vigade kuhjumise vältimiseks on vaja alati võimaluse korral kontrollida käigu keskmiste punktide kõrgusi nähtavate aluspunktide järgi.

Joonelise sulgemisvea piiriks võetakse $\frac{1}{200}$ käigu pikkusest.

§ 84. Kontuuride ja reljeefi joonestamine.

Üksikasjade mõõdistamise eel paljastatakse planšeti vastavas osas vatmani paber ülemise aleksandri paberi ettevaatliku väljalõikamise teel, mensul orienteeritakse ning latimees saadetakse kontuuri kõigile nähtavaile käändudele.

Mõõdistaja juhib kippreegli vertikaalselt asetatud latile nii, et joonlaud läbiks seisupunkti, loeb kaugusemõõtja järgi kauguse (tarviduse korral parandab saadud andmed alaliste parandustega ja kallaku parandusega), kannab kauguse sirkliga antud mõõtkavas joonlaua äärt mööda jaamast lati suunas, torkega märgib punkti ja kirjutab selle juurde piketi numbri. Saades sel viisil iseloomustavaid punkte on otsekohe vaja joonestada kogu kontuur.

On vaja tähendada, et ei ole tarvidust asetada joonlaua äärt täpselt üle seisupunkti, mis võtab palju aega. Olgu ta pealegi natuke eemal, — sel juhtumil tuleb ainult ka mõõdistatav punkt kanda samasugusele kaugusele joonlauast.

Kõik juhtnööride kohaselt mõõdistamisele kuuluv ja looduses mõõdistatav kantakse tingimata *väljas* pliiatsiga vatmanni paberile tarvitatavais tingmärkides.

Latipunktide arv määratakse alati vajaliku tingimusega, et need oleksid seisupunktist selgesti ja arusaadavalt nähtavad.

Äärmine viga kontuuride planšetile kandmisel loetakse võrdseks:

a) selgesti piiristatud ja rangelt määratud piiridega kontuuride jaoks 0,5 mm plaanil;

b) ebaselgesti piiristatud kontuuride jaoks 1mm plaanil.

Reljeefi joonestamiseks on vajalik asetada latt kõigisse karakteerseisse selgesti nähtavaisse reljeefi punktidesse niisuguse kaalutlusega, et naaberpunktide vahel oleks võimalik interpoleerida horisontaale, s. t. et nende vahelist nõlva võiks lugeda nõutava täpsuse piirides ühtlaseks. Vilunud plaanistajad muide alati ei toimi selle üldreegli järgi ja joonestavad reljeefi silma järgi, toetudes võrdlemisi väikesele kindlate kõrgustega punktide arvule: oskuses hästi ja küllalt täpselt joonestada reljeefi silma järgi seisabki plaanistaja vilumus.

Juhtnöörid nõuavad samuti lati asetamist kõigile niisugustele reljeefi punktidele, mida saab maastikul kergesti leida: mäeharjadele, veelahkmeile, orgudesse, sulglohkudesse, aukudesse, trehtreisse; kuristikkude, jõgede, ojade suudmete ja alguste juurde; allikate, kaevude juurde; üksikult seisvate puude, teenäitajate juurde jne. (vaata instruktsiooni topograafiliseks mõõdistamiseks mõõtkavas 1 : 10 000. § 298 ja edasi.

Maastiku reljeefi joonestamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata veelahkme joonte ja nõvajoonte suundadele (reljeefi skeletile) Kui reljeef on jäme ja seljandikkude ning nõvajoonte suunad selgesti väljendatud, siis need tuleb planšetil märkida pliiatsis punktiiriga; need abijooned kustutatakse pärast nende kasutamist reljeefi lõplikul väljajoonestamisel.

Horisontaalid tuleb tõmmata tingimata maastikul, arvestades saadud kõrgusi ja reljeefi vorme, joonestades igas seisupunktis ainult need reljeefi osad, mis on mensuli juurest hästi nähtavad. Reljeefi edasist joonestamist võib teostada kas uuest mõõdistuspunktist või nende vahele bussooli järgi vastuviseerimisega määratavast punktist.

Tuleb silmas pidada, et kõik nõlvade painded ja reljeefi vormid on eriti hästi nähtavad, kui vaadelda neid alt üles või külje pealt, ning vastupidi, kõrgendatud punktidelt paljud maastiku voldid näivad tasaseina ning nõlvad paistavad palju järsemaina.

Kui plaanistajal tuleb joonestada reljeefi kinnisel maastikul, kus ei ole võimalust näha nõlvade kõiki paindeid, tuleb ettevalmistavalt koostada mensuli käikude kava selliselt, et käigud kulgeksid mööda nõvajooni ja nendega risti olevaid suundi.

Kui kinnised maa-alad piirnevad lahtistega, siis tuleb kinniste maa-alade mõõdistamisele asuda vaid nendega piirnevate lahtiste osade mõõdistamise lõppedes, mis annab võimaluse jälgida reljeefi vorme kinniste osade mõõdistamisele siirdumisel.

Lahtisis mägiseis maastikes tuleb põhireljeefi teravalt ja selgelt

väljendatud vormide juures erilist tähelepanu pöörata nõlvade järskuse muutumiste õigele kujutamisele.

Metsades kasutatakse reljeefi joonestamiseks kõiki lahtisi kohti: teid, metsasihte, jalgradu, lagendikke, põlendikke, raiestikke, jõgede ja ojade orge jms., raiutakse aga ka päris kitsaid visiire, et saada täielik kujutlus reljeefist ja võtta selle joonestamiseks tarvilikke kõrgusi.

Latipunktide kõrgused määratakse üldreeglina otsese viseerimisega latile ringi ühe asendi juures ning arvutatakse kõrguste mõõtkava või Jordani, Tugulovi jms. tabelite järgi. Neid andmeid väliraamatusse ei kanta, vaid resultaadid märgitakse planšetile punkti asukohta tähendava sirkli teraviku torke kohale. Sellest üldreeglist erandiks on ülalloeteldud kõige iseloomustavamad reljeefi punktid, mida võib kergesti maastikul üles leida ja kasutada lähtena igat liiki maršruutide jaoks. Selliste punktide kõrgused peavad olema kantud mõõtmiste väliraamatusse, näidatud kõrguste kalkal ning planšetil, ja määratuina ühest mõõdistuspunktist, kontrollitud teistest mõõdistuspunktidest, kui see osutub võimalikuks.

Põhiline lõikepindade kõrgusvahe juhtnööride kohaselt on meil mõõtkava 1 : 10 000 jaoks võetud 2 m. Seda lõikevahet mägiste maastikkude jaoks võib suurendada kuni 5 m, tasaste stepimaastikkude jaoks — vähendada kuni 1 m. Kui reljeefi erinevusi põhiliste tähishorisontaalidega ei saa küllaldaselt kujutada, tõmmatakse täiendavalt poolhorisontaalid ja isegi veerand-horisontaalid. Mõõtkavades 1 : 25 000 ja 1 : 50 000 põhilised lõikevahed võetakse vastavalt 5 ja 10 m.

Äärmised vead kõrgustes horisontaalide pealekandmisel on instruktsiooniga kindlaks määratud järgmiselt:

Kallaku nurgad	Lõikevahe 2 m	Lõikevahe 1 m	Lõikevahe 0,5 m
0° kuni 1°	0,50 m	0,35 m	0,25 m
1° „ 3°	0,50 „	0,50 „	0,35 „
3° „ 5°	0,70 „	0,70 „	0,50 „
5° „ 10°	1,00 „	—	—

Maastiku juures keskmise kallakuga üle 10° peab horisontaalide arv vastama kõrguste vahele.

§ 85. Planšettide ühistamine.

Selleks, et ühistuksid naaberplanšettide kontuurid ja horisontaalid, tuleb neid mõlemal planšetil nihutada nende vahelise keskmise kauguse peale. Seda võib muidugi teha ainult sel juhtumil, kui lahkuminekud nende asendeis ei ole suuremad äärmiselt lubatud vahedest.

Selle võimaldamiseks jätkatakse mõõdistamist planšeti raamide taha 2 mm kaugusele, asulates aga 4 mm kaugusele. Mõõdistamise lõpetamisel koostab iga plaanistaja vahapaberile koopiad planšeti raame mööda (äärised), seejärel võrreldakse need äärised ja parandatakse.

§ 86. Kontuur- ja kõrguskalkad.

Riiklike topograafiliste mõõdistamiste planšettidele kantakse peale kontuurid ja reljeef maastikul töötamisel pliiatsiga, ja sellisel kujul planšett jääb seisma kuni kameraaltööde talvise perioodini, millal siis plaan joonestatakse välja tušis tingmärkide järgi.

Kontuurides arusaamatuste või koguni kontuuride tähenduse täieliku kadumise vältimiseks, samuti ka geomeetrilise võrgu- ja mõõdistuspunktide asetuse näitlikkuseks, peetakse välistööde ajal 2 kalkat — üks kontuuride — teine kõrguste jaoks.

Kalkadeks kasutatakse vahariiet; erandjuhtumeil viimase puudumisel võib kasutada ka vahapaberit.

Kalka asetatakse planšetile nii, et vahariide lõunapoolne äär oleks paralleelne plaani lõunapoolse raamiga ja ulatuks sellest 6—7 cm madalamale, lääne- ja idapoolsed servad aga oleksid plaani lõunapoolse raami nurkadest vastavalt 4—5 cm kaugusel. Pärast niisugust planšetile asetamist kinnitatakse vahariie nurkadest rõhknaeltega 0,5 cm kaugusel äärtest planšeti külge. Neidsamu täkkeid tuleb kasutada ka edaspidisel kalka täiendamisel, et asjatult mitte rikkuda plaani ääri raami taga. Kopeerimiseks asetatakse kalka planšetile läikepoolega vastu planšetti, mattpoolele aga tehakse kopeering.

Kontuur- ja kõrguskalkadele kopeeritakse planšetilt tušiga selle raamid, nomenklatuur, astronoomilised, trigonomeetrilised, polügonomeetrilised, nivellimiste punktid — üldse kõik antud aluspunktid. Kontuurkalkale aluspunktide juurde kirjutatakse lühendatult nende nimetused, kõrguskalkale aga nende juurde peale selle veel kirjutatakse murrulugejas märgi kõrgus tušiga, nimetajas — karmiini või punase tindiga märgi kõrgus merepinnast. Peale selle kalkad varustatakse pealkirjaga „kontuurkalka" või „kõrguskalka".

Planšeti järk-järgulise täitumisega välistöödel kopeeritakse väliraamatusse kantud geomeetrilised punktid, mõõdistuspunktid ja veepindade kõrgused kõrguskalkale.

Samuti järk-järguliselt täidetakse kontuurkalka mõõdistatud kontuuride planšetile kogunemist mööda.

Kopeeritud kõlvikute märkimine kontuurkalkale teostatakse sulega, samade tingmärkidega, milledega järgnevalt märgitakse kontuurid planšetile.

§ 87. Üksikute väikeste maatükkide mõõdistamise iseärasusi.

Kui mensuliga on vaja plaanistada üksik väike maatükk, mis tavaliselt teostatakse suurtes mõõtkavades (1 : 10 000 ja suuremates), siis muidugi langeb ära vajadus planšeti raamide konstrueerimiseks, sest mõõdistamine piiristub maatüki omade piiridega. Kui seejuures maatükil kui ka selle läheduses ei leidu aluspunkte, siis geomeetrilise võrgu rajamise võimaldamiseks maatükil valitakse ja mõõdetakse *baas*.

Baas on vaja valida plaanistataval maatükil ligikaudu maatüki keskele, võimalust mööda tasasele kohale (piki teed, mööda piiripeenart) nii, et selle otsadest oleks näha võimalikult palju punkte tulevase geomeetrilise võrgu jaoks. Baasi pikkus peab olema selline, et ta planšetil tuleks välja 7—8 cm.

Baas mõõdetakse 2—3 korda teraslindiga, kusjuures baasijoon peab olema enne seda hoolikalt tähistatud. Mõõtmisel võetakse arvesse kaldnurgad alates 2°. Lahkuminek mõõtmiste vahel ei tohi ületada $\frac{1}{3000}$ baasi pikkusest. Lõplikuks pikkuseks võetakse lubatavate lahkuminekute korral aritmeetiline keskmine.

Pärast mõõtmist tuleb baas võimalust mööda siduda trigonomeetrilise võrguga ja igal juhtumil on teda vaja orienteerida kas või magnetilise meridiaani järgi.

Mõõdetud baas kantakse planšetile niisuguse arvestusega, et planšetile mahuks kogu plaanistatav maa-ala. Baasipikkuse pealekandmine peab tehtama eriti hoolikalt, sest sellel joonel põhineb kogu võrk.

Pärast baasi pealekandmist planšetile minnakse mensuliga maastikule ning asutakse baasi ühte otsa, kus mensul tsentreeritakse ja orienteeritakse baasi järgi ning tehakse lõiked kõigile nähtavaile

tähiseile, tõmmates suunad planšeti raamide taga. Siis minnakse baasi teise otsa ning toimitakse samuti. Edasi minnakse üle ühele niisugusel viisil baasi otsadest määratud tähisele jne. Ka siin võrgu iga punkti asukoht määratakse vähemalt mõnest kolmest punktist.

Kui maatüki ringpiir kantakse planšetile koordinaatide järgi, siis baasi muidugi ei vajata. Sel juhtumil geomeetrilise võrgu konstrueerimiseks on olemas ringpiiri punktid.

Kontuuride ja reljeefi mõõdistamist teostatakse üldiselt ülaltoodu järgi.

§ 88. Mensuli kasutamine aerofotomõõdistamisel.

Käesoleval ajal hakatakse maastiku plaanide saamiseks ikka enam ja enam rakendama aerofotomõõdistamist, s. t. maapinna pildistamist lennukilt. Sel kombel saadud ülesvõtteid nimetatakse aeroülesvõtteiks.

Aerofotomõõdistamise eelised tavalise mõõdistamise ees on: selle kiirus, kontuuride detailsem mõõdistamine, kontuuride piirjooned saadakse õigemad (täpne koopia tegelikkusest); plaanide saamise võimalus läbipääsmatuist kohtadest (soodest, padrikuist, limaanidest jne.) ja ligipääsmatuist kohtadest (näiteks sõjategevuse ajal — vaenlase asukoha rajoonist).

Kui pildistamise momendil fotoaparaadi objektiivi optiline telg on vertikaalasendis ja järelikult fotoplaat seisab horisontaalselt, siis pildil saame *plaanilise kujutise*, s. t. sellise, milles kõik pildistatud maapinna osad saadakse vähendatuina ühesuguse arvu võrra (ülesvõtte mõõtkava on kõigis osades ühesugune). Niisugust ülesvõtet on küllaldane *dešifreerida*, s. t. selgitada kõik pildistatud kontuurid ja neid märkida kasutatavate tingmärkidega; siis aga määrates ülesvõtte mõõtkava me saame kohe maastiku plaani.

Siiski osutub mõõdistamise teostamine fotoaparaadi objektiivi optilise telje vertikaalasendi juures raskeks. Tavaliselt saadakse ülesvõtted objektiivi optilise telje viltuse asendi juure, ning siis ülesvõtted on *maakoha perspektiivilised kujutised*, s. t. niisugused, millede erinevates osades mõõtkava on erinev. Nendest plaani saamiseks on neid vaja eriliselt ümber töötada. Niisugust ümbertöötamist nimetatakse *transformeerimiseks*. Tavaliselt tuleb pildistatava maakoha plaani saamiseks teha suur arv ülesvõtteid, mis peale selle, et osutuvad perspektiiviliselt moonutatuiks, omavad ka igaüks erinevat keskmist mõõtkava. Transformeerimisel parandatakse ära ka

see puudus, s. t. kõik ülesvõtted taandatakse ühele antud mõõtkavale.

Transformeerimise võimaluseks, nagu seda selgitatakse vastavas teoorias, on tarvis omada igas ülesvõttes 4 niisugust punkti, millede asend on geomeetriliselt määratud. Selle viimase eesmärgi jaoks tarvitatakse väga sageli mensulit. Skeemiliselt tehakse seda nii:

Ettevalmistavalt koostatakse niinimetatud *alus*, s. t. paberileht, millele on kantud nõutavas mõõtkavas kõik aluspunktid (põhilised aluspunktid peavad tingimata maastikul olema). Siis märgitakse aeroülesvõttel 4 kõige selgemat punkti ning seatakse ülesandeks saada need ka alusel. Selleks kinnitatakse alus planšetile ja lõigetega määratakse mainitud nelja *orienteerimise punkti* asukohad, mis muidugi peavad vaieldamatult olema ära tuntud maastikul.

Aerofotomõõdistamise juures kasutatakse mensulit ka reljeefi joonestamisel.

Aeromõõdistamise lõpliku tulemusena saadakse *fotoplaanid*, mis koostatakse („monteeritakse") teatavast hulgast transformeeritud aeroülesvõtteist. Nad kujutavad endast *kontuurplaane*, s. t. nendele on kujutatud ainult kontuurid, kuid reljeefi ei ole. Reljeefi kujutamise ülesanne fotomõõdistamise meetodiga on väga keerukas; seda võib lahendada ainult siis, kui ühte ja sama maakohta pildistatakse kahest erinevast punktist. Praktikas reljeefi joonestamist tehakse kontuuriplaanil mensuliga mõõdistamise tavalise viisiga, milleks fotoplaan kinnitatakse planšetile ning sellega minnakse maastikule. Seejuures võib tööd tunduvalt kergendada seega, et enamiku punktide asukohad planšetil on juba antud; seepärast on vaja ainult määrata nende kõrgused (planšetti võib isegi üldse mitte orienteerida). Muidugi, kui töö käigus on vaja määrata kõrgus niisugusele punktile, mis fotoplaanile ei ole tähendatud, siis horisontaalide tõmbamise võimaluseks tuleb määrata selle punkti asukoht ka horisontaaltasapinnas.

Niisugust reljeefi joonestamist mensuli abil võib teostada mitte ainult fotoplaanil, vaid ka vahenditult ülesvõttel (niinimetatud *kontakt-äratõmbel)*, mis seejärel läheb edasisele ümbertöötamisele juba pealekantud reljeefiga.

VII peatükk.

PLAANIDE KOPEERIMINE.

§ 89. Kopeerimise graafilised viisid.

Mitmesuguste praktiliste tarviduste jaoks tekib sageli vajadus võtta planšettidelt ja plaanidelt koopiad.

Kopeerimist võib teostada kas samas mõõtkavas või mõõtkava vähendamisega.

Kopeerimist mõõtkava muutmata võib teostada graafiliselt, s. t. plaani lihtsa ümberjoonestamisega teisele paberile.

Selleks tarvitatakse mõnikord *punktide* lihtsat *läbitorkimist* originaalilt koopiale.

Läbitorkimiseks kinnitatakse originaal ühes koopiaga rõhknaeltega joonestuslauale ja siis terava nõelaga torgitakse polügoonide tipud, mõõdistamise aluspunktid ja kontuuride iseloomustavad punktid. Pärast läbitorkimist eemaldatakse originaal koopialt ja viimase peal kõik läbitorgitud punktid ühendatakse pliiatsiga, arvestades originaali. Seal, kus punkte peab ühendama sirgjooneliselt, kasutatakse joonlauda.

Teine graafiline kopeerimise viis seisneb ümberjoonestamises *graafiitpaberi* abil. Viimane asetatakse musta küljega koopiale, selle peale asetatakse plaan ning see kõik kinnitatakse rõhknaeltega joonestuslauale. Siis plaani kõiki jooni ja kontuure mööda veetakse erilise kõva (luust või kõvast puust) teravaotsalise pulgaga, mille tulemusena paberil saadakse plaani täpne koopia, mis hiljem tõmmatakse välja tušiga.

Kolmas graafilise kopeerimise viis *klaasil* seisneb selles, et plaan kinnitatakse klaasile, selle peale kinnitatakse koopia. Kui seejärel klaas pöörata enam või vähem tugeva valguse vastu, siis plaan paistab läbi, milletõttu teda võib ümber joonestada koopiale otseselt

tušiga. Läbivalgustamise mugavuse jaoks asetatakse paks klaas raami ja kinnitatakse alusele nii, et klaasi oleks võimalik pöörata ja kallutada igasse külge; seda seadeldist kasutataksegi klaasi valguse kätte asetamiseks ja mugavama joonestamise asendi loomiseks. Niisuguseid riistu nimetatakse *klaaspultideks.* Palju paremaiks riistadeks osutuvad laudpuldid klaaskaantega, millede alla seatakse tugevad elektrilambid reflektoritega.

Kõigist kirjeldatud graafilise kopeerimise viisidest parimaiks osutuvad kopeerimised klaasil. Kaks esimest viisi omavad seda suurt puudust, et nende kasutamisel rikutakse tugevasti originaale.

Kopeerimist kalkal teostatakse järgmisel viisil: kalka asetatakse plaanile, kinnitatakse rõhknaeltega laua külge ja joonestatakse otse tušiga.

§ 90. Valguskopeerimise viis.

Valguskopeerimise viis seisneb selles, et koopiad saadakse valgustundlikul paberil päeva- või tugeva elektrivalguse mõjul. Selleks valmistatakse esmalt kalkale koopiad, mis hiljem asetatakse koos klaasiga raami kinnitatud valgustundlikule paberile. Kui niisugune raam panna valguse kätte, siis tušiga kaetud kohtades valguse mõju ei avaldu ja need kohad jäävad puhtaks, kuna muu osa paberist valguse mõjul nii või teisiti muudab oma värvust. Pärast seda tuleb koopia kinnitada vastavais keemilisis lahuseis, pesta ja kuivatada. Koopiad saadakse sinised või mustad valgete joontega, mõnikord aga valged mustade joontega.

Valguskopeerimise viisi puuduseks on see, et koopiad alludes märjale töötlemisele deformeeruvad tugevasti ja ebaühtlaselt, mispärast nende täpsus saadakse väga väike.

§ 91. Kopeerimine mõõtkava muutmisega.

Kogu mõõdistatud maa-ala üldplaani koostamiseks või kaartide valmistamisel tuleb mõõdistusmaterjali kasutamiseks üksikuid plaanšette või plaane kopeerida üheaegselt mõõtkava vähendamisega. Kopeerimist mõõtkava vähendamisega võib teostada eriliste mehaaniliste abinõudega (proportsionaalsirkel, pantograaf), mispärast seda viisi ennast mõnikord nimetatakse mehaaniliseks. Vähendatud koopiaid võib saada ka päevapildistamise teel.

§ 92. Proportsionaalsirkel ja sellega töötamine.



Joonis 61.

Proportsionaalsirkel kujutab endast 2 võrdset metallist liistu, milledesse pikuti on lõigatud pilu (joonis 61).

Piludesse asetatakse kahekordne liikuv kelk šarniiril. Kelku võib kinnitada erilise kruviga. Liistude otsades on terasest teravikud. Ühe liistu servale on kantud kriipsud numbritega $^1/_1$, $^1/_2$, $^1/_3$ jne. Need numbrid tähendavad osade suhet, missuguseks iga kriips jagab liistu kogupikkuse teravikust teravikuni. Kriips on olemas ka kelgul, seetõttu võib kelku sättida ja kinnitada liistu mistahes kriipsu kohale. Pärast niisugust sätet osutuvad sirkli harud avanevaiks nii, et nende teravikkude vahelise kauguse suhe on võrdne selle murruga, millele on seatud kelgu kriips; see järgneb kolmnurkade abc ja ABc (joonis 62) sarnasusest:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{ac}{cB} = \frac{bc}{cA}.$$

Niisuguse sirkliga kopeerimiseks kaetakse originaal ettevalmistavalt pliiatsis ruutude või kolmnurkade võrguga. Samasugune võrk kantakse kopeerimise mõõtkavas ka koopiale. Pärast seda kõik võrgu joonte ja kontuuride lõikepunktid võetakse plaanilt sirkli vastavasse avasse ja sirkli teise avaga kantakse koopia vastavale kohale.

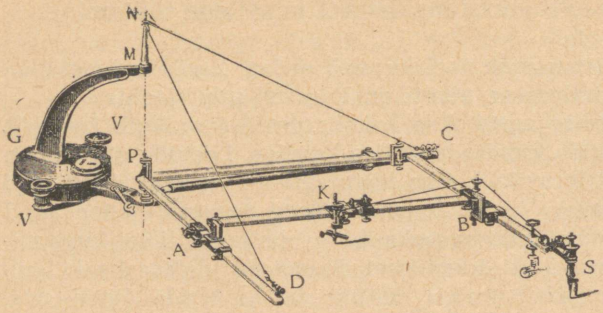
§ 93. Pantograaf.

Skeemiliselt kujutab pantograaf endast 4 joonlauda PC, PD, CS ja AB, mis on omavahel punktides A, C, P ja B šarniiriga ühendatud paralleelogrammi kujuliseks (joonis 63). Šarniiride tõttu võivad joonlauad neis punktides pöörduda.

Töö juures punkt P kinnitatakse püsivalt raskuse G külge nii, et selle punkti ümber kogu pantograafi parallelogramm võib pöörduda. Punkti P nimetatakse pooluseks. Raskuse peale on kinnitatud vinn GM, mille ülemisest otsast joonlaudadele PC ja PD on tõmmatud traadid NC ja ND. Põikjoonlaual AB asetseb erilises muhvis pliiats K. Muhvi saab nihutada piki joonlauda ja kinnitada joonlauale kantud ning murdudega $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ jne. märgitud kriipsude vastu.



Joonis 62.



Joonis 63.

Joonlauda ennast saab ka otsadest vastavate muhvide abil nihutada piki joonlaudu CS ja PD. Neid muhve võib samuti kinnitada joonlaudadele CS ja PD kantud kriipsude kohale. Kui pliiatsi muhv ja joonlaua otsade muhvid sättida ühenimelistele kriipsudele, siis punktid P, K ja S osutuvad ühel sirgjoonel asetsevaiks ning selles asendis pantograaf on töövalmis. Punktis S on kinnitatud teravik. Kui pärast mainitud sätet vedada teravikuga mingeid jooni mööda, siis pliiats tõmbab jooni, mis moodustavad teravikuga veetud joonest niisuguse osa, millise murru vastu on asetatud muhvid.

Kopeerimiseks kinnitatakse originaal rõhknaeltega teraviku alla, koopia aga asetatakse pliiatsi alla. Ettevalmistavalt konstrueeritakse koopiale tarvilikus mõõtkavas kolm niisugust punkti, mis on olemas omas mõõtkavas ka originaalil. Parem on selleks kasutada raami, kui see on originaalil olemas. Koopia seadmisel pliiatsi alla asetatakse teravik järjestikku kolmele tähendatud punktile originaalil, koopia jaoks määratud paberit aga pööratakse ja nihutatakse nii, et pliiats satuks vastavaisse koopia punktidesse. Saavutanud niisuguse ühtimise, kinnitatakse paber rõhknaeltega ning siis veetakse teravikuga üle kõik kontuurjooned, kusjuures pliiats joonestab paberile nende koopiad.

Pliiatsi tööd reguleeritakse erilise kangiga, mille liigutamisega saab pliiatsit tarvilikes kohtades niidi abil paberilt eemaldada.

Töötamiseks seatakse pantograaf üles lauale, mille ülemine pind peab olema tasapind ja seatud kas või ligikaudu horisontaalsesse asendisse. Pantograafi telg NP peab võtma vertikaalse asendi. Selle nõude täitmiseks raskuse G peal on ümmargune vesilood U, mille mull asetatakse keskele tõstekruvide VV abil. Joonlauad PC ja PD tuleb samuti horisonteerida. Seda tehakse väikese tõstetava silindrilise vesiloe abil, mis asetatakse joonlaudadele ja mille mull seatakse keskele traatide NC ja ND pikendamise või lühendamise teel.

Tehniline (geomeetriline) nivellimine (nivellimine horisontaalse kiirega).

Peatükk VIII.

TEHNILISE NIVELLIMISE ALUSED JA INSTRUMENDID.

§ 94. Tehnilise nivellimise ja nivelliiri olemus. Otsast ja keskelt nivellimine.

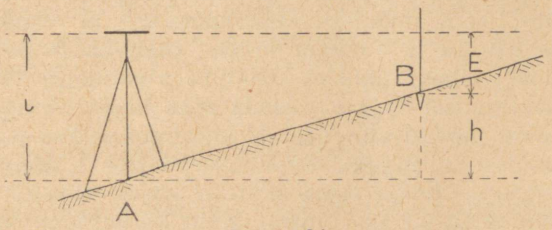
Tehniliseks nimetatakse niisugust nivellimist, kus ühe punkti kõrgusvahe teise suhtes mõõdetakse horisontaalse vaatekiirega. Seepärast tehnilist nivellimist ennast nimetatakse sageli nivellimiseks horisontaalse vaatekiirega (samuti seda nimetatakse ka geomeetriliseks nivellimiseks).

Horisontaalse vaatekiire saamise võimaldamiseks seatakse pikksilm silindrilise vesiloega sellisesse ühendusse, mille juures pikksilma viseerimise telg on paralleelne vesiloe teljega. Tulemusena saadakse instrument, mida nimetatakse nivelliiriks.

Nivelliiri tingimata vajalikuks päraldiseks on nivellimislatt, millele on kantud sentimeetrilised ja mõnikord veelgi väiksemad jaotused.

Kahe punkti kõrgusvahe määramiseks nivelliiri ja lati abil võib toimida kahesugusel viisil:

1. Asetame ühte antud punkti, näiteks punkti A (joonis 64), nivelliiri, teise punkti B aga vertikaalselt lati; seame pikksilma viseerimise telje horisontaalsesse asendisse, viseerime latile ja keskmise niidi järgi teeme mingi lugemi E. Siis kõrgusvahe h, nagu joonisest näha, arvutatakse nii:



Joonis 64.

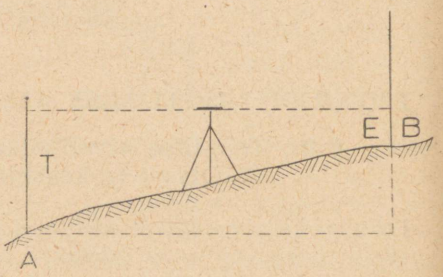
$$h = i - E. \qquad (32)$$

Siin on tähega i märgitud instrumendi viseerimise telje kõrgus, mida võib mõõta sama latiga.

Lugemeid latilt on nivellimise juures hakatud nimetama *vaateiks.* Aruteldaval juhtumil me saame *edasivaate,* sest me oletame, et töö läheb punktist A punkti B. Tähendab, sel juhtumil *kõrgusvahe võrdub instrumendi kõrgusega ilma edasivaateta (instrumendi kõrgus miinus edasivaade).*

Niisugust meetodit nimetatakse otsast nivellimiseks.

2. On palju mugavam, kui instrument asetada kuskile antud punktide vahele, punktidesse enestesse aga asetada latid (joonis 65). Sel juhtumil, nagu joonisest on näha, kõrgusvahe saadakse valemi järgi:



Joonis 65.

$$h = T - E, \qquad (33)$$

kus tähega T tähendatakse vaade tagasi ja tähega E vaade edasi; siin ei ole vaja mõõta instrumendi kõrgust, mida enamvähem täpselt teha on raske. Niisugust meetodit nimetatakse keskelt nivellimiseks. Seejuures valemi kohaselt *võrdub kõrgusvahe vaatele tagasi ilma vaateta edasi (vaade tagasi miinus vaade edasi).*

§ 95. Maa kumeruse ja refraktsiooni mõju.

Mensuliga plaanistamisest on meil teada, et mõõdetud kõrgusvahet on vaja parandada Maa kumeruse ja refraktsiooni pärast. Tehnilisel nivellimisel võetakse kaugus nivelliirist kuni latini harva üle 100 m, mistõttu Maa kumeruse ja refraktsiooni mõju on siin tähtsusetu (s = 100 m juures kumerus ja refraktsioon = 0,0007 m. Siiski silmas pidades tehnilise nivellimise suurt täpsust on otsast nivellimisel vaja arvestada Maa kumerusest ja refraktsioonist sõltuvat parandust. Täpselt keskelt nivellimisel seda ei nõuta. Tõepoolest, niisuguse nivellimise juures lugemid tagasi ja edasi on vigased ühe ja sama suuruse võrra, näiteks mõlemad lugemid on suuremad 0,7 mm võrra. Kuid kõrgusvahe vastavalt valemile (33) on võrdne nende lugemite vahega, vahe aga, nagu aritmeetikast teada, ei muutu vähendatava ja lahutatava suurendamisest või

vähendamisest ühe ja sama suuruse võrra. Järelikult ei sõltu kõrgusvahe Maa kumeruse ja refraktsiooni parandusest. See on üheks põhjuseks, miks praktikas alati nivellitakse keskelt nivellimise meetodiga, kusjuures instrument püütakse asetada võrdseile kaugustele lattidest.

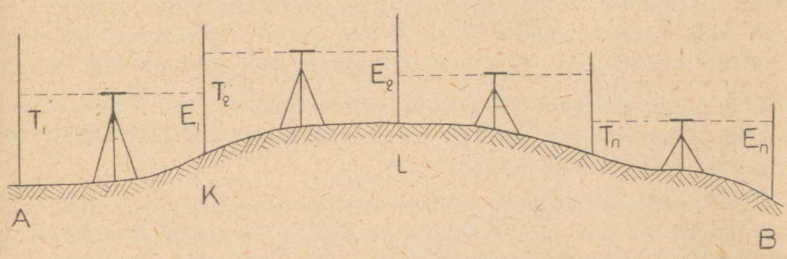
§ 96. Liitnivellimine.

Kui punktid A ja B, millede vahel määratakse kõrgusvahe, asetsevad teineteisest tunduval kaugusel (joonis 66), siis kogu see kaugus jaotatakse väiksemaiks osadeks AK, KL jne. pikkusega 75—100 m ja siis järk-järgult mõõdetakse kõrgusvahe iga sellise osa otsade vahel. Niisugust nivellimist nimetatakse liitnivellimiseks. On ilmne, et kõrgusvahe lõpp-punktide A ja B vahel võrdub kõigi osade kõrgusvahe summaga:

$$h = h_1 + h_2 + \ldots + h_n = (T_1 - E_1) + (T_2 - E_2) + \ldots + (T_n - E_n)$$

ehk

$$h = \Sigma\, h = \Sigma\, T - \Sigma\, E\,. \qquad (34)$$



Joonis 66.

Liitnivellimisel kõrgusvahe lõpp-punktide vahel võrdub tagasivaadete summale ilma edasivaadete summata (tagasivaadete summa miinus edasivaadete summa).

§ 97. Nivellimislatid. Latialused.

Nivellimislatid valmistatakse kuivast kauahoitud kuusepuust. Jaotused kantakse nendele jaotusmasina abil ning kaetakse kindla õlivärviga. Lati *tald* rautatakse metalliga.

Meie „3., 4. ja 5. järgu nivellimise instruktsioon" (1937. a. väljaanne) nõuab kaheküljeliste lattide, s. t. niisuguste kasutamist, milledel jaotused on kantud mõlemale küljele (on värvitud mõlemad küljed), kusjuures ühe külje värvimiseks tarvitatakse musta värvi (must külg), teise jaoks aga — punast (punane külg). Lati must külg on jaotatud sentimeetreiks ja nullpunkt ühtib täpselt latitallaga. Punane külg on samuti jaotatud sentimeetreiks, kuid tallaga ei ühti jaotuste null, vaid mingi muu arv, näiteks, nagu on võetud tarvitusele ülalmainitud instruktsioonis, 4,687 m (ehk 4687 mm, — lugemid lattidelt tehakse alati millimeetreis). See tähendab, et kõik lugemid sellel (punasel) küljel on suurendatud musta külje lugemite suhtes 4687 mm võrra. Seejuures ühel kahest latist (oletatakse keskelt nivellimist ja järelikult tööks vajatakse 2 latti) soovitatakse punase talla lugemit veel muuta 100 mm võrra, sest kui esimesel latil see lugem on võetud nagu mainitud, 4687 mm, siis teisel latil see on 4787 mm. *See on latt alandatud nulliga.* Kõik see tehakse, nagu eespool näeme, lugemite kontrolli teostamiseks jaamades.

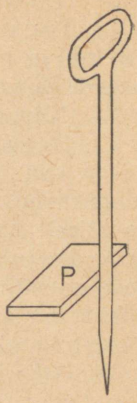
Lati pikkus on kindlaks määratud 3 m. Iga lati juures on veel neljas lisameeter, mida saab kinnitada põhilati külge, mistõttu latt võib alati omada pikkust 4 m. 5-nda järgu nivellimisel lubatakse kasutada üheküljelisi lahtitõmmatavaid ja kokkupandavaid latte.

Enne tööle väljasõitu on vaja kontrollida nii lati üldist pikkust kui ka tema üksikuid jaotusi. Kontrollimine teostatakse Genfi joonlaua ehk terasruletiga.

Genfi joonlaud kujutab endast vaskjoonlauda, mille äärtest üks on jagatud 0,2 mm jaotusteks, teine aga — 1 mm jaotusteks. Kontrollimisel asetatakse joonlaud latile ja loetakse joonlaualt lati kriipsude 0 ja 10, 10 ja 20, 20 ja 30 asend. Lugemite vahe annab alumise, keskmise ja ülemise latimeetri pikkuse. Pärast seda mõõdetakse üksikud latidetsimeetrid ning kontrollitakse üksikuid jaotusi. Viga jaotuste pealekandmises ei tohi ületada 0,5 mm.

Töö juures seatakse latt üles latialustele või tugevasti maasse löödud vaiadele, mida nimetatakse *punktideks* ehk *pikettideks.* Vaiade pead peavad olema saetud puhtalt ja korrapäraselt. Latialus kujutab endast terasvarrast (joonis 67), mille külge mõningale kaugusele varda teravast otsast on kinnitatud aste P. Latialus vajutatakse maasse kuni astmeni, mille peale töö juures asetataksegi latt.

Latt seatakse töö juures püsti vertikaalselt. Selleks varustatakse ta kas ripploega või ümmarguse vesiloega või lõppeks kahe vastastikku ristioleva silindrilise vesiloega. Juhtumeil, kus ei nõuta suurt täpsust, võib latti püsti seada silma järgi. Seejuures suuremaid kui 1,5 m lugemeid tehes tuleb latti instrumendi suunas kõigutada enda poole ja endast eemale nii, et ta läbiks vertikaalse asendi; kõigutamise ajal võetakse nivelliiri niitristiku horisontaalniidi järgi latilt vähim lugem, mis vastab lati vertikaalsele asendile a (joonis 68) sellepärast, et selles asendis on latt risti viseerimise kiirega, ristjoon aga on lühem igast mistahes vildakust joonest.

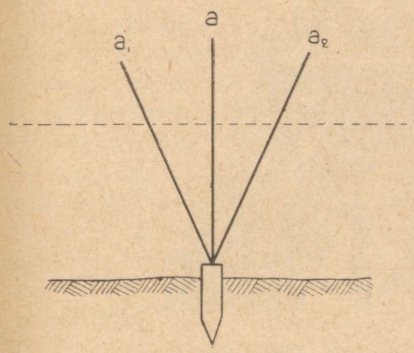


Joonis 67.

Kui latt on varustatud ümmarguse vesiloega, siis enne tööd on vaja seda kontrollida. Selleks asetatakse latt ripploe järgi vertikaalselt üles ja õiendades vesiloodi paranduskruvidega seatakse loe null keskele. Tuulise ilmaga tuleb kontrollimist teostada kinnises ruumis.

§ 98. Nivelliiride tüübid.

Kõigis nivelliirides kinnitatakse pikksilm ja vesilood nii või teisiti *metallist alusele*, mis alt varustatakse *koonilise vertikaalteljega*. Viimane asetatakse instrumendi aluse (kolmjala) vastavasse puksi. Instrumendi alus kinnitatakse põhikruvi abil statiivi külge.



Joonis 68.

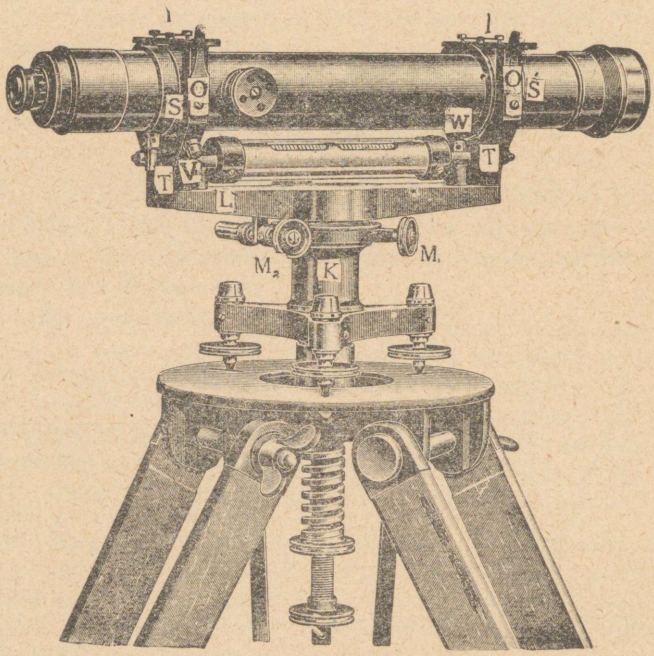
Mainitud osiste ühendamise viisid võivad olla erinevad ning sellest olenevalt eristatakse mitmesuguseid nivelliiride tüüpe. Nivelliiride peatüübid on järgmised:

1. K i n n i s e d n i v e l l i i r i d. Nende pikksilm kinnitatakse oma aluse külge liikumatult. Vesilood kinnitatakse pikksilma külge. Seda tüüpi nimetatakse ka inglise tüübiks.

2. Nivelliirid ümbertõstetava pikksilmaga ja vesiloega pikksilma küljes. Pikksilm siin on aluselt äravõetav ja nii ümbertõstetav, et objektiivi ots võtab okulaari otsa asendi ja vastupidi.

3. Nivelliirid ümbertõstetava pikksilmaga ja vesiloega pikksilma aluse küljes. Vesilood kinnitatakse siin mitte pikksilma, vaid selle aluse külge. See tüüp on konstrueeritud prantsuse inseneri Egault' poolt, mispärast seda tavaliselt nimetataksegi Egault' nivelliiriks.

3-nda, 4-nda ja 5-nda järgu nivellimise juhtnööris mainitakse põhiinstrumendina igal pool 2. tüübi nivelliiri, s. t. nivelliiri vesiloega pikksilma küljes või uuema konstruktsiooniga kinnisi nivelliire. 3-ndat tüüpi, Egault' nivelliire, lubatakse kasutada 5-nda järgu nivellimiseks ja äärmisel korral 4-nda järgu nivellimiseks.



Joonis 69.

§ 99. Egault' nivelliir.

Egault' nivelliir (joonis 69) kujutab endast alust L, millele on kinnitatud toed TT pikksilma jaoks. Pikksilma alus pöördub instrumendi aluse — kolmjala — K puksis: jämedaks ja täpseks pealejuhtimiseks on kinnituskruvi M_1 ja mikromeetriline kruvi M_2.

Märgime järgmised nivelliiri osised:

1. *Laagrid* OO — nii nimetatakse ülemisi kahvlitaolisi tugede osi — milledesse asetatakse pikksilm.
2. *Tapid* (kaelad) SS, need on silindrilised rõngad, milledega pikksilm laskub laagritesse.
3. *Lingid* ll pikksilma kinnitamiseks laagritesse.
4. *Tugede paranduskruvid* V.
5. *Vesiloe paranduskruvi* W.

§ 100. Nivelliiri üldine järelevaatus.

Enne välistööle asumist tuleb teostada instrumendi üldist järelevaatust, pöörates erilist tähelepanu kõigi kruvide (tõste-, kinnitus-, mikromeetriliste ja paranduskruvide) õigele tööle.

Samuti tuleb uurida pikksilma tema optiliste omaduste suhtes. Hea pikksilm peab andma esemeist selgeid ja õigeid kujutisi. Selle uurimiseks joonestatakse laua külge kleebitud valgele paberile korrapärased mustad figuurid (ruudud, ringid) suurusega 20—50 mm ning vaadeldakse neid hea valgustuse juures läbi pikksilma kuni 50 m kauguselt.

Heas pikksilmas peavad figuurid näima mustadena, korrapäraseina, teravate piirjoontega ning ainult nende äärtel võib olla märgatav kerge sinakas-violetne varjund. Kui aga figuurid ilmuvad mitte mustadena, on viiratud värvilise (punase, kollase, rohelise) äärisega või näivad ebakorrapäraseina, siis pikksilm tööks ei kõlba.

Pikksilma okulaari toru käigus ei tohi olla võnkumisi. Seda võib uurida pikksilma juhtimisega mingile selgesti nähtavale punktile. Pärast seda, vaadates liikumatu silmaga lakkamatult läbi pikksilma punktile, on vaja okulaari toru liigutada kremaljeeri abil sisse- ja väljapoole. Kui niitide ristpunkt punktilt ei nihku, siis on tingimus täidetud.

Samuti tuleb veenduda laagrite ja tappide korrasolekus.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata järgmistele asjaoludele:

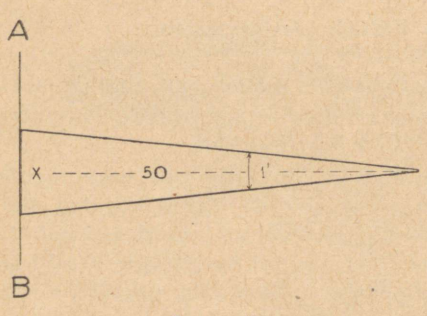
1. kas pikksilma suurendus on küllaldane nõutava täpsuse saavutamiseks kavatsetavate vaatekaugustega töötamisel;
2. kas pikksilma suurendus vastab vesiloe fundlikkusele.

§ 101. Pikksilma suurenduse, lugemise täpsuse ja vaatekauguse vastavus.

Normaalse silma nägemise piiriks loetakse 1'-list nurka, s. t. kui vaatenurk antud eseme peale on alla 1', siis me ei taju selle eseme ulatust (kriitiline vaatenurk).

Kui latt AB on asetatud silmast 50 m kaugusele (joonis 70), siis nägemise piiril on latil mõõted x, mis saadakse võrdsusest

$$x = 50 \sin 1' = \frac{50}{3438} = \text{umbes } 0{,}015 \text{ m.}$$



Joonis 70.

Kui latti vaatleme läbi pikksilma, mille suurendus on v, siis see piir väheneb v korda, s. t. siis piiriks on $\frac{0{,}015}{v}$ m. Kui me soovime 50 m kauguselt lugeda täpsusega kuni 1 mm, siis $\frac{0{,}015}{v} = 0{,}001$, kust saame $v = 15$, s. t. *kui me soovime 50 m kauguselt lugeda täpsusega kuni 1 mm, siis peame omama pikksilma suurendusega mitte alla 15.*

Lähtudes sellest pole raske leida vajalikku suurendust ka teiste lugemistäpsuste ja vaatekauguste jaoks. Märgime täpsuse millimeetreis t, kauguse s ja suurenduse v kaudu. Et lugemise täpsuse arvuline väärtus kahaneb pikksilma suurenduse kasvamisega ning kasvab vaatekauguse suurendamisega (t arvuline väärtus on pöördvõrdeline v-ga ja võrdeline s-ga), siis võib kirjutada

$$t = K \cdot \frac{s}{v}.$$

Võrdelisuse koefitsiendi K määramiseks saame eeltoodu põhjal:

$$K \cdot \frac{50}{15} = 1, \text{ kust } K = 0{,}3; \text{ ja järelikult:}$$

$$t = 0{,}3 \cdot \frac{s}{v} \cdot \qquad (35)$$

Näide 1. Missugune peab olema pikksilma suurendus, et 120 m vaatekauguse juures võiks latilt lugeda millimeetreid?

Asetades valemis (35) $t = 1$ ja $s = 120$ saame suurenduseks 36. Tähendab, suurendus peab olema vähemalt 36.

Näide 2. Missugust vaatekaugust võib võtta nivelliiriga, mille suurendus on 30, kui soovitakse saada lugemise täpsust 1 mm?

Vastus: mitte üle 100 m.

Näide 3. Missuguse täpsusega saab töötada 75 m-lise vaatekauguse juures nivelliiriga, mille suurendus on 30?

Vastus: ligikaudu 0,8 mm.

§ 102. Pikksilma suurenduse ja vesiloe tundlikkuse vastavus.

Vastavus pikksilma suurenduse ja vesiloe jaotuse väärtusega iseloomustatava vesiloe tundlikkuse vahel on vajalik järgmistel kaalutlustel. Kui vesilood on liiga tundlik, siis selle seadmiseks raisatakse palju aega. Kui pikksilma suurendus seejuures on väike, siis see vesiloe liigne tundlikkus ei avalda mõju lugemite täpsusele, sest viseerimise telje asendi vastavad muutumised ei ole pikksilma vähese suurenduse tõttu märgitavad (latilt lugem ei muutu).

Kui vastupidi vesilood on väga jäme (väikese tundlikkusega), siis latil me suudame märkida niisuguseid viseerimise telje muutusi, mida ei tabata vesiloega: mulli ühe ja sama asendi juures me saame latilt mitmesuguseid lugemeid.

Olgu vesiloe jaotuse väärtus μ''. Nivelliiride vesiloodidel kantakse jaotused niisuguse pikkusega, et saab lugeda jaotuse $^1/_{10}$ osi. Tähendab, lugemi viga on $\pm 0{,}1\ \mu''$. On ilmne, et viseerimise telje asendi vastav muutumine peab olema märgitav ka lati järgi tehtava lugemi muutumisega. Kuid lugemi muutust võib normaalne silm märgata vaid sel juhtumil, kui viseerimise telg moodustab endise asendiga nurga mitte vähem kui $\frac{60''}{v}$. Järelikult vesiloe vastavuseks pikksilma suurendusele peab olema võrratus

$0{,}1\ \mu'' < \frac{60''}{v}$, kust

$$\mu'' < \frac{600''}{v}. \qquad (36)$$

Sellest valemist järgneb, et pikksilma 15-kordse suurenduse juures vesilood peab omama jaotuse väärtust mitte üle 40″.

Meil, vastavalt instruktsioonidele, on keskmise vaatekauguse 100 m juures (5-nda järgu nivellimine) ja mitte väiksema kui pikksilma 18-kordse suurenduse juures vesiloe jaotuse väärtus kindlaks määratud mitte üle 25″.

§ 103. Vesiloe jaotuse väärtuse määramine.

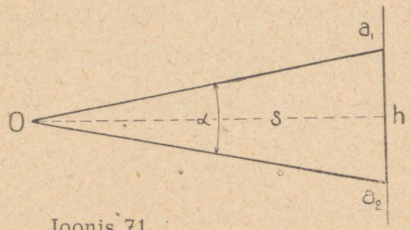
Nivelliiri vesiloe jaotuse väärtuse määramine võib teostuda nivellimislati abil järgmisel viisil.

Asetame lati vertikaalsesse asendisse kuhugi plangu (tara) või tulba najale, 50 m kaugusele temast aga asetame katsetatava nivelliiri nii, et selle üks tõstekruvi asetuks lati suunas, teised kaks aga risti selle suunaga. Horisonteerime nivelliiri ja viseerime latile. Siis keerates lati suunas asetsevat tõstekruvi ajame vesiloe mulli pikksilma objektiivi poolsesse otsa nii, et mulli ots ei väljuks jaotuste (kriipsude) piiridest, ning teeme lugemid vesiloe jaotustelt mulli otsade järgi ja latilt niitristiku horisontaalniidi järgi. Olgu need lugemid:

mulli objektiivipoolse otsa järgi P_1
„ okulaaripoolse „ „ V_1
latilt a_1

Seejuures vesiloe jaotuste keskkohast paremale (objektiivi poole), asetsevate kriipsude järgi tehtud lugemid võtame positiivseiks, vasakule asetsevate järgi aga negatiivseiks.

Pärast seda ajame sama tõstekruviga mulli pikksilma okulaaripoolsesse otsa ja teeme uuesti lugemid, mis olgu vastavalt P_2, V_2 ja a_2. On ilmne, et mull paigutub ümber jaotuste arvu $n = P_1 - P_2 = V_1 - V_2$ võrra ning samal ajal viseerimise telg asetub lati suhtes ümber $h = a_1 - a_2$ võrra (joonis 71). Telje kahe asendi vahemiku vahel moodustub nurk $a_1 O a_2 = \alpha$, mida võib leida vahekorrast $\sin\alpha = \frac{h}{s}$, kus s on kaugus nivelliirist latini (vaatekaugus), mis peab olema täpselt mõõdetud lindiga. Nurga väiksuse tõttu võib kirjutada



Joonis 71.

$$\alpha'' \sin 1'' = \frac{h}{s},$$

kust

$$\alpha'' = \frac{h}{s \sin 1''} = \frac{h}{0{,}000\,005 \cdot s}.$$

Jaotuse väärtus on aga ilmselt sellest nurgast n korda väiksem:

$$\mu'' = \frac{\alpha''}{n} = \frac{h}{0{,}000\,005 \cdot ns}. \qquad (37)$$

Siin peab h muidugi mõista olema avaldatud meetreis. On ilmne, et vahe (P — V) väljendab mulli pikkust vesiloe jaotustes. Kuna kogu töö toimub võrdlemisi lühikese aja vältel, siis see suurus peab olema üks ja sama, mis võib olla lugemite õigsuse kontrolliks.

Uurimiste tulemused tuleb kanda sellisesse skeemi:

P	V	P — V	a	h	n	α''	μ''
+8	0	8	2,038	0,038	6	152″	25″
+2	−6	8	2.030				
+9	+1	8	2,084	0,038	6	152″	25″
+3	−5	8	2,046				

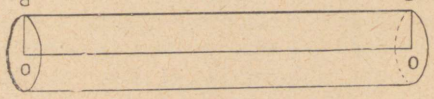
§ 104. Nivelliiride kontrollimised.

Nivelliirile esitatav peanõue tuleneb otseselt horisontaalse vaatekiirega kõrgusvahede määramise ideest endast: *pikksilma viseerimise telg peab olema paralleelne vesiloe teljega.*

Kas see tingimus on täidetud, selles veendutakse ümbertõstetava pikksilmaga nivelliiride (Egault' nivelliirid ja nivelliirid vesiloega pikksilma küljes) juures selle silindri abil, mis kujutab endast pikksilma tappe.

Silindri all mõistetakse siin keha, mis moodustub ristküliku ooaa (joonis 72) pööramisel tema ühe külje ümber. Sellisel juhtumil nimetatakse seda külge (oo) silindri teljeks (geomeetriliseks); joont aa aga moodustajaks jooneks.

Peale mainitud peatingimuse on vajalik ka vesiloe telje ristiolek instrumendi vertikaaltelje ja niitristiku ühe niidi horisontaalne seis töö ajal.



Joonis 72.

Mainitud tingimuste täitmise järjestu Egault' nivelliiris on järgmine:

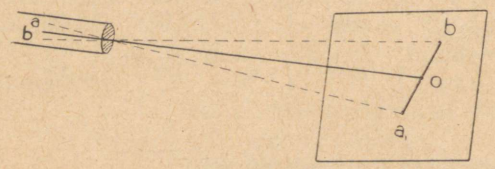
1. *Vesiloe telg peab olema risti nivelliiri pööramise vertikaalteljega.*

Selle tingimuse kontrollimist ja õiendamist teostatakse samuti nagu teodoliidi juures. Vesiloe paranduskruvi Egault' nivelliirides valmistatakse tavaliselt suure peaga, et võimaldada vahenditult käega töötamist. Sätte (õienduse) kinnitamiseks on veel olemas külgkruvi, millega saab kinni pigistada paranduskruvi mutri. Enne paranduskruviga töötamist tuleb tähendatud külgkruvi lõdvendada.

2. *Pikksilma viseerimise telg peab olema paralleelne vesiloe teljega.* See peatingimus täidetakse kolme järgmise üksiku toiminguga:

a) Eelkõige taotellakse pikksilma *viseerimise telje ühtimist geomeetrilise teljega.*

Selleks, horisonteerides nivelliiri, sihitakse pikksilmaga instrumendist 40—50 m kaugusel olevale seinale ning abilise kaasabil märgitakse ära niitristiku lõikepunkt, näiteks punktis a_1 (joonis 73).



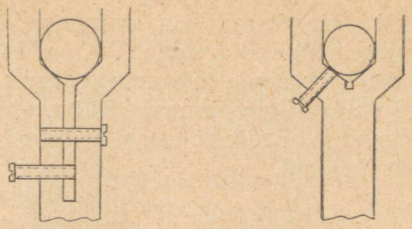
Joonis 73.

Pärast seda, jättes pikksilma laagritesse ning mitte puudutades instrumendi teisi osiseid, pööratakse pikksilm ümber geomeetrilise telje 180° võrra. Kui pärast seda niitide lõikepunkt ei ühti punktiga a_1, vaid satub näiteks punkti b_1, siis teljed ei ühti. Ühendades punktid a_1 ja b_1 ning märkides nende vahelise keskkoha o, taotellakse *niitristiku paranduskruvidega* niitristiku lõikepunkti ühtimist punktiga o.

b) Pärast seda taotellakse *vesiloe telje paralleelsust tappide alumise moodustajaga,* või teisiti öeldult — *pikksilma tugede võrdsust.*

Latt asetatakse 75 m kaugusele instrumendist ja instrument seatakse horisontaalsesse asendisse. Pikksilma suunas asetseva tõstekruviga seatakse vesiloe mull keskele ning tehakse latilt lugem. Siis tõstetakse pikksilm laagrites ümber, pööratakse kogu pikksilma alus ümber vertikaaltelje 180° võrra, seatakse vesiloe mull keskele ja tehakse latilt teine lugem. Kui pikksilma toed on võrdsed, siis mõlemad lugemid peavad ilmselt olema ühesugused (isegi siis, kui tappide diameetrid ei ole võrdsed; sel juhtumil lugemid on ebaõiged, s. t. lugemid ei vasta horisontaalsele vaatekiirele, kuid omavahel on nad võrdsed). Kui lugemid teineteisest

erinevad, siis tuleb muuta ühe toe kõrgust nii, et pikksilm annaks keskmise lugemi. Selleks varustatakse üks tugedest *toe paranduskruviga,* mida on olemas mitmesuguse ehitusega (joonis 74).



Joonis 74.

c) Lõppeks vesiloe telje ja viseerimise telje vastastikuse paralleelsuse väitmiseks jääb veel veenduda *tappide diameetrite võrdsuses.*

Uute nivelliiride juures on tappide diameetrite ebavõrdsus vähe tõenäoline, kuid kauemat aega tarvitusel olnud nivelliiride juures tuleb seda ette, sest töötamisel kuluvad tapid ebaühtlaselt.

Tappide diameetrite võrdsuse tingimust kontrollitakse ühe ja sama joone kahekordse nivellimisega järgmises korras:

Alguses leitakse õige kõrgusvahe h mingi kahe punkti vahel; punktide omavaheline kaugus olgu s. Seda on kerge teha seistes instrumendiga täpselt keskkohas (mõlemast punktist samal kaugusel); sel juhtumil ka siis, kui tapid ei ole võrdsed, saadakse ikkagi õige kõrgusvahe. Pärast seda leitakse kõrgusvahe h_1, nivellimisega edasi mingist ühest punktist. Vahe $\Delta = h - h_1$ väljendab nivelliiri tappide diameetrite ebavõrdsusest tingitud vea kauguse s juures.

Seda puudust ilma mehaaniku abita kõrvaldada ei saa, kuid töötada sellise nivelliiriga võib; ainult kui kaugused instrumendist lattideni s_{tagasi} ja s_{edasi} ei ole võrdsed, tuleb kõrgusvahele anda parandus δ valemi järgi:

$$\delta = \frac{\Delta}{s} (s_{tagasi} - s_{edasi}).$$

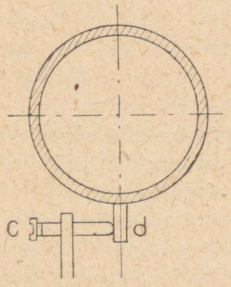
Et vältida instrumendi kõrguse mõõtmist, on parem, määrates kõrgusvahe keskelt nivellimisega, instrument ümber asetada antud joonel ühe punkti, näiteks B (joonis 75), taha, võimalikult selle lähedale, näiteks C, ning teha lugemid b_2 ja b_1 mõlemasse antud punkti asetatud lattidelt. Sel juhtumil $h_1 = b_1 - b_2$ ning endiselt $\Delta = h - h_1$.



Joonis 75.

3. *Horisontaalniit peab tõepoolest olema horisontaalne.* (horisonteeritud nivelliiri juu-

res). Horisonteerime instrumendi ja suuname pikksilma latile või mingile punktile seinal. Kinnitanud pikksilma kinnituskruvi, hakkame pikksilma mikromeetrilise kruvi abil aeglaselt pöörama horisontaalses tasapinnas. Kui seejuures lugemid saadakse ühed ja samad (või niit ei eemaldu seinal märgitud punktilt), siis tingimus on täidetud.



Joonis 76.

Kui tingimus ei ole täidetud, siis parandus saavutatakse eriliste paranduskruvidega c (joonis 76), mis asetsevad pikksilma tugede küljes. Kruvid toetuvad pikksilma küljes olevatele keeltele d; need keeled peavad töö juures tihedalt kruvi otsa vastas olema.

Seda õiendamist tuleb teha mõlema toe jaoks.

Umbertõstetava pikksilmaga ja pikksilma küljes oleva vesiloega nivelliiride kontrollimise kord on järgmine:

1. Vesiloe telg peab olema paralleelne pikksilma tappide moodustajaga.

See kontrollimine jaguneb kaheks osaks.

a) Eelkõige tuleb veenduda, et *pikksilma geomeetriline telg ja vesiloe telg asetseksid ühes tasapinnas ehk paralleelseis tasapindades.* Selleks seatakse vesiloe mull tõstekruvidega keskele ning pikksilma pööratakse aeglaselt veidi ümber oma geomeetrilise telje mõlemale poole. Kui seejuures mull üldse ei eemaldu keskkohast või nihkub ainult ühele poole, siis tingimus on täidetud. Vastasel korral (s. t. kui mull eemaldub keskkohast mõlemale poole), tuleb vesiloe asendit õiendada *vesiloe küljel olevate paranduskruvidega,* taotelles, et mull pikksilma pööramisel mõlemale poole eemalduks keskkohast ühele poole või üldse ei nihkuks.

b) Pärast seda tuleb taotella, et *vesiloe telg oleks paralleelne tappide moodustajaga.* Selleks seatakse mull tõstekruvide abil keskele ning pikksilm tõstetakse laagrites ümber. Kui seejuures mull keskkohast eemaldub, siis vesiloodi õiendatakse nagu tavaliselt *vesiloe vertikaalse paranduskruviga.*

2. Vesiloe telg peab olema risti instrumendi vertikaalse pööramise teljega.

Vesilood asetatakse kahe tõstekruvi suunas ning seatakse mull keskele. Siis pööratakse *kogu instrument* oma vertikaaltelje ümber 180° võrra. Kui seejuures vesiloe mull nihkub keskkohast, siis poole kõrvalekaldumise kaare võrra aetakse mull keskkoha suunas tagasi

pikksilma toe juures olevate paranduskruvidega ja teise poole võrra — instrumendi tõstekruvidega.

On olemas instrumente, mis on varustatud niinimetatud *elevatsioonikruviga.* Sel kruvil on lai pea ja ta asetseb pikksilma ühe toe all. Teine alus seatakse šarniirile nii, et pikksilma võib elevatsioonikruvi abil mõningal määral kallutada vertikaaltasapinnas. Sellise kruvi olemasolu korral vesiloe mulli mainitud tagasiajamine keskkoha suunas (vesiloe telje kallutamine) kõrvalekaldumise poole kaare võrra toimub selle kruvi abil ja pärast lõplikku õiendamist see kruvi asend märgitakse ära.

Edasised kontrollimised (3, 4, 5) teostatakse nagu Egault' nivelliiri juures:

3. *Viseerimise telg ja geomeetriline telg peavad ühtima.*

4. *Niitristiku horisontaalniit peab olema tõepoolest horisontaalne* (horisonteeritud nivelliiri juures).

5. *Tappide diameetrid peavad olema võrdsed.*

§ 105. Jäänuk-vead ja nende kõrvaldamise viisid. Sümmeetriliste lugemite meetod.

Nivelliiri õiendamisel on väga raske saavutada kõigi tingimuste täpset täitmist. Seejuures me toetume lattidelt lugemitele kuid lugemite täpsusel on üldse oma piirid; on täiesti küllaldane, kui õiendamistega ehk parandamistega on saavutatud vigade suurused, mis ei ületa neid piire. Näiteks, kui pikksilma tugede võrdsuse parandamisel on saavutatud 2 mm-line lugemite vahe, siis selle juurde tulebki jääda peatuma.

Jäänuk-vigade kõrvaldamine peab saavutatama nivellimise enda meetoditega.

Siin tuleb eelkõige kinnitada, et keskelt nivellimisel on palju eeliseid otsast nivellimise ees. Me teame juba, et võrdsete vaatekauguste (instrumendist latini) juures keskelt nivellimisel välditakse Maa kumeruse ja refraktsiooni mõju ning samuti kõrvaldatakse tappide diameetrite ebavõrdsuse mõju (või üldse viseerimise telje ebaõigsust vesiloe teljega). Peale selle edeneb seejuures ka töö kiiremini, sest pikettide vahelised kaugused võib võtta kaks korda suuremad kui otsast nivellimisel.

Egault' nivelliiriga töötamisel väärib erilist tähelepanu sümmeetriliste lugemite meetod, mis seisneb selles, et tagumisele ja eesmisele latile tehakse kummalegi 2 vaadet, kusjuures nende vaadete

vahel pikksilm tõstetakse tugedel ümber ja keeratakse ümber oma geomeetrilise telje 180° võrra. Kui tappide diameetrid on võrdsed, siis keskmine sellistest lugemitest vastab horisontaalsele vaatekiirele ka ebavõrdsete vaatekauguste juures.

Lähtudes eeltoodud kaalutlustest nõuabki instruktsioon keskelt nivellimist. Vaatekauguste (instrumendist kuni latini) mõõtmiseks kasutatakse 2-millimeetrilist terastrossi või nööri. 5-nda järgu nivellimisel võivad latihoidjad mainitud kaugusi mõõta sammudega.

Igal statiivil (igas jaamas) on tarvitusele võetud niisugune vaatluste kord (5-nda järgu nivellimine):

1. Lugemine tagumise lati punaselt küljelt.
2. „ eesmise „ „ „ .
3. Pikksilma ümbertõstmine (kui vesilood on aluse küljes).
4. Lugemine tagumise lati mustalt küljelt.
5. „ eesmise „ „ „ .

Lati punane külg on tarvitusele võetud selleks, et mitte korrata viga, kui see oli tehtud esimeste lugemite juures. Asi seisab selles, et nagu kogemused näitavad, kordub väga sageli ühesuguste arvude juures teatavais kohtades üks ja sama viga. Lati punane ja must külg sel kohal, kus fikseerub nivelliiri niitristiku keskmine horisontaalniit, on märgitud erinevate numbritega ja seepärast ühe ja sama vea kordumine siin on palju vähem tõenäoline.

Kui lattidel on värvitud ainult üks külg, siis esimestest lugemitest erinevate lugemite saamiseks rakendatakse pärast pikksilma ümberasetamist instrumendi kõrguse muutmist mitte vähem kui 5 cm võrra (statiivi jalgade sissevajutamisega). See meetod nõuab peaaegu 2 korda rohkem aega, sest pärast instrumendi kõrguse muutmist tuleb uuesti seada vesiloodi, mille peale kulub suurem osa ajast.

Et vabaneda okulaari toru käigu võimalikkude võnkumiste mõjust, *ei maksa kunagi liigutada kremaljeeri tagumisele ja eesmisele latile tehtavate vaadete vahel.*

§ 106. Nivelliiride käsitsemine töö ajal.

Nivelliiriga töötamisel on vaja tarvitusele võtta järgmisi ettevaatus-abinõusid.

1. Pikksilma juhtimisel ei tohi kunagi kätega kinni võtta okulaari torust, vaid seda tuleb teha pikksilma alusest.

2. Nivelliiri on vaja töö ajal päikese eest kaitsta varjuga, edasikandmisel aga kattega.

3. Üleminekul jaamast jaama võetakse pikksilm laagritest välja ning kantakse erilises kastis tingimata horisontaalses asendis. Statiivi alusega peab edasi kantama vertikaalses asendis.

4. Töö vaheaegadel tuleb nivelliir asetada kasti, enne seda pühkida tolmust ning niiske ilma puhul kuivatada ruumis või pühkida kuiva lapiga. Niiskes olekus ei tohi nivelliiri kasti asetada.

IX peatükk.

TEHNILISE NIVELLIMISE TEOSTAMINE.

§ 107. Kõrgusalus. Põhiliste nivellimiste märgid.

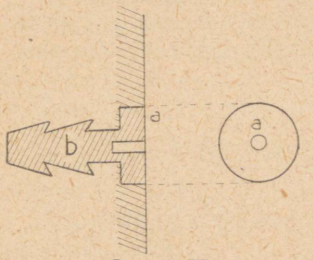
Nagu iga mõõdistamise juures nii ka nivellimisel luuakse eelkõige alus.

Täpsuse määralt eristatakse järgmisi kõrgusaluse järke:

1. järk — kõrge täpsusega nivellimine.
2. järk — täpne nivellimine.
3., 4. ja 5. järk — tehniline nivellimine.

3. ja 4. järgu tehniline nivellimine koos kahe kõrgema järguga kuulub põhiliste nivellimistööde (riiklike nivellimiste) süsteemi, s. t. selliste nivellimiste hulka, mille eesmärgiks on varustada kogu NSVL territooriumi merepinnaga seotud kõrguspunktide alusvõrguga; neid alusvõrgu punkte kasutatakse kõigil mõõdistamistel, niihästi üleriigilistel kui ka kohalikel, eriasutuste poolt tehtavail.

Põhiliste nivellimiste juures määratakse eriti tugevasti kindlustatud märkide kõrgused; märgid liigitatakse kõrgusmärkideks ja reeperiteks. Need märgid asetatakse üksteisest mitte vähem kui 5 km kaugusele. Kõrguste siirmist teostatakse liitnivellimise meetodiga, kusjuures vahepealseid punkte millegagi ei kindlustata ja nende kõrgusi välja ei arvutata, kõrguste siirmine toimub kõrgusvahede summeerimisega.



Joonis 77.

Kõrgusmärkidega kindlustatakse kõrgtäpse ja osalt täpse nivellimise resultaate, reeperitega — tehnilise ja osalt täpse nivellimise tulemusi.

Kõrgusmärk kujutab endast malmist ketast aa, varrega b (joonis 77). Ketta keskkohas on umbes 1,25 mm diameet-

riga ümmargune auk, mille keskpunkt ongi nivellitavaks punktiks. Niisugused kõrgusmärgid betoonitakse eriti kindlate hoonete seintesse, umbes 1,5 m kõrgusele. Nivellimise ajal pannakse kõrgusmärgi auku vastava läbimõõduga terasvarras, millele riputatakse ripplatt.

Reepereiks nimetatakse niisuguseid märke, milledele võib lati peale asetada. Nad võivad olla seinareeperid, mis kinnitatakse kivihoonete alusmüüridesse, sildade ning teiste tugevate kiviehitiste tugipostidesse, ja *kruntreeperid,* mis asetatakse vahenditult maapinnasse. Mitmesuguste reeperitüüpide kirjeldus ja nende asetusviisid on käsiteldud „3., 4. ja 5. järgu nivellimise instruktsioonis" § 11—24 (1937. a. väljaanne).

§ 108. Nivellimine insener-ehituslike eesmärkidega.

Insener-ehituste vajadusteks igat liiki eeluurimistel ning insener-ehitiste projektide koostamisel teostatakse erilisi nivellimisi, mis oma täpsuselt kuuluvad 5-nda järgu tehnilise nivellimise hulka. Siin kuulub töö peamine osa maastiku profiili määramiseks teatavas suunas, mis on seotud sellel suunal kõigi pikettide enamvähem tugeva kindlustamisega ja nende kõigi jaoks kõrguste arvutamisega. Seejuures asetatakse instruktsiooni kohaselt teatavate vahemaade tagant reeperid ja seepärast saab neid materjale kasutada ka põhiliste nivellimiste otstarbeks.

§ 109. Nivellimine maakorralduse juures.

Mõõdistamistel maakorralduse jaoks kasutatakse tehnilist nivellimist peaasjalikult kõrguste siirmiseks kõrgusmärkidelt või reepereilt planšeti 1—2 punktile. Neist punktidest levitatakse kaldvaatekiirega nivellimise meetodiga kõrgused kogu geomeetrilisele võrgule.

Kõrgusi võib siirda käiguga kõrgema järgu reeperite vahel või suletud polügoonidega, kuhu lülitatakse üks reepereist, või lõppeks rippuva käiguga, mis ühineb ainult ühe reeperiga. Viimasel juhtumil on nivellimist vaja teha edasi- ja tagasisuunas. Selleks jaotatakse kogu käik osadeks, pikkusega mitte üle 10 km, milledest igaühte nivellitaksegi edasi ja tagasi. Iga niisuguse osa otsad kindlustatakse reeperitega.

Kohtades, kus nivellimise käik läbib mõõdistatavat maa-ala, on kasulik võtta tarvitusele abinõusid nivellimise punktide asukoha

määramiseks horisontaalses tasapinnas, et neid hiljem oleks võimalik kanda planšetile ja kasutada reljeefi joonestamisel. Selleks on ilmselt vaja siduda käik planšeti mingite aluspunktidega.

§ 110. Eeltööd. Rekognostseerimine.

Saanud ülesande, peab nivellija eelkõige läbi uurima tööde teostamise rajooni, koguma andmeid mõõdistamise rajoonis asetsevate reeperite kohta, hankima nende kõrgused ning kaardi alusel koostama plaani nendest punktidest kõrguste siirmiseks kavatsevaile punktidele. Aegsasti tuleb selgitada ka asetamiseks vajalike reeperite arv ning selleks tarviliku materjali hulk.

Tööd ise, nagu alati, algavad rekognostseerimisega.

Rekognostseerimisel määratakse lõplikult kindlaks nivellimise joone suund. See joon peab olema võimalikult lühike ning kulgema mööda tasast maastikku, — ilma laiade kuristikkudeta, põõsastikuta ja muu selliseta. Käik tuleb märkida mööda metsasihte, piki teid jne.

§ 111. Nivellimiste järgud.

Nivellimiste erinevad järgud iseloomustuvad peamiselt mitmesuguste omadustega instrumentide kasutamisega, vaatekaugustega ning äärmiste vigadega käigu 1 km peale. Instruktsioonis on nivellimiste erinevate järkude jaoks kindlaks määratud järgmised andmed:

	3. järk	4. järk	5. järk
1. Pikksilma suurendus	30—40	25—30	18—30
2. Suurim vesiloe jaotuse väärtus	12″	20″	25″
3. Vaatekaugus (m-tes)	75—100	75—100	100—150
4. Äärmine viga käigu 1 km peale	± 6 mm	± 10 mm	± 20 mm

Nivellimise võtted on erinevate järkude juures oluliselt ühesugused. Allpool me käsitleme 5-nda järgu nivellimise võtteid. Teiste järkude nivellimiste iseloomustavad iseärasused on küllalt täielikult käsiteldud nivellimise instruktsioonis.

§ 112. 5-nda järgu nivellimise teostamine. Väliraamatu pidamine.

Nagu juba varem on märgitud, peab nivellimist tehtama keskelt. Nivelliiri ülesseadmisel tsentreerimist ei nõuta. Nivelliiri võib üles seada mõlemat piketti ühendavast joonest kõrvale, — on vaja vaid täita tingimus, et kaugused nivelliirist kuni pikettideni (lattideni) oleksid ühesugused.

Kui nivelliir seatakse üles pikettide joonele (nivellimise teljele) või selle lähedale, siis soovitatakse tõstekruvid asetada nii, et üks neist oleks suunatud nivellimise telje sihis, teised kaks aga — sellega risti.

Kui statiiv on üles seatud ning kinnitatud, seatakse nivelliir horisontaalsesse asendisse, suunatakse pikksilm järjestikku tagumisele ja eesmisele latile ning sooritatakse lugemid (tehakse *„vaated"*).

Iga vaate eel tuleb tingimata jälgida vesiloe mulli, ja kui viimane kas või vähegi nihkub keskkohast kõrvale, on seda tarvis seada keskele vesiloe suunale kõige lähemal oleva tõstekruviga.

Vaatluste tulemused kirjutatakse väliraamatusse, mille üks leheküig on toodud lisas 6.

Väliraamatusse sissekannete tegemise kord on järgmine (klambreis näidatakse vastavad väliraamatu sissekanded esimeses jaamas, vaata lisa 6):

1.	lugem	tagumise lati punaselt küljelt	(5283)
2.	„	eesmise „ „ „	(5595)
3.	„	tagumise „ mustalt „	(596)
4.	„	eesmise „ „ „	(909)

Pärast seda, kui on nivellitud põhilised sidepunktid (vaata allpool), asetatakse tagumine latt vahepealseile (vahe-)punktidele (vaata allpool), millede peale võetakse vaated ainult lati mustalt küljelt. Ülalmainitud näites niisugused vaated on võetud 3-st jaamast vahepunktidele 2 + 47 ja 2 + 66, s. t. vahepunktidele, mis asuvad nivellimise teljel 47 ja 66 m kaugusel teisest piketist. Neid kaugusi nimetatakse *plussideks.*

Lõpetanud jaamas vaatlused, on vaja instrumenti liigutamata teostada kontrollarvutusi, mis seisavad sidepunktide kõrgusvahede arvutamises punaste ja mustade latikülgede lugemite järgi. Lahkuminekud neis kõrgusvahedes ei tohi ületada 3 mm. Kui lahkuminek osutub suuremaks, tuleb kõik vaatlused ümber teha.

Järgmisele jaamale üleminekul jääb endine eesmine latt paigale,

s. t. uue jaama jaoks ta muutub tagumiseks latiks. Eesmiseks latiks saab endine tagumine.

Täiesti analoogiliselt toimub nivellimine ka üheküljeliste lattidega. Sel juhtumil, nagu juba mainitud, tuleb muuta instrumendi kõrgust *(horisonti)*, vähemalt 5 cm võrra. Vaated esimese horisondi juures vastavad vaateile punaselt küljelt, vaated teise horisondi juures — vaateile mustalt küljelt.

§ 113. Töö katkestamine.

Kui töö katkestatakse mitte-alalise reeperi juures, siis lõpetatakse töö lattide asetamisega 3-le kindlale punktile, mis valitakse nivellimiskäigu teljega ristioleval sirgjoonel. Niisuguseid punkte võib korraldada latialuseist, milleks need lüüakse auku sügavusega 0,3 m ning pärast ühendamist kaetakse ettevaatlikult mullaga. Võib ka taguda maasse korralikud vaiad pikkusega 40—50 cm ja jämedusega 8 cm. Sel juhtumil lüüakse vaiadesse 100-millimeetrilised (4-tollised) sepanaelad; nende naelte peade kõrgemale kohale asetataksegi latt. Kõik niisugused 3 punkti ühendatakse enne töö katkestamist nivellimisega ühelt statiivilt (ühest jaamast). Pärast töö vaheaega sooritatakse nende punktide teiskordne nivellimine samuti ühelt statiivilt, mida siis kasutatakse nivellimise käigu jätkamiseks.

Kui pärast töö vaheaega korratud nivellimine avastab kõrgusvahede lahkumineku sidepunktide vahel, siis kõrgusvahede võrdlemise kaudu tehakse kindlaks punkt, mis on paigalt nihkunud, ning jätkatakse nivellimist muutmatus asendis säilinud punktist.

§ 114. Sidumine kõrgusmärkide ja reeperite külge.

Kõrgusmärgi või reeperiga sidumise korral peab valitama jaam võrdseil kaugustel reeperist ja viimasest latialusest.

Kõrgusmärgiga sidumiseks on vaja omada ripplatti, mis riputatakse märgi auku torgatud vardale. Selle lati null peab ühtima lati vardale riputamise augu keskpunktiga. Sidumise juures tehakse lugemid latialusel olevalt latilt ja ripplatilt. Kuna ripplatil kasvavad jaotused nullist allapoole, siis kõrgusmärgi juurde minekul (siis ripplatt esineb eesmise latina) kõrgusvahe võrdub tagumise ja eesmise vaate summaga (joonis 78),

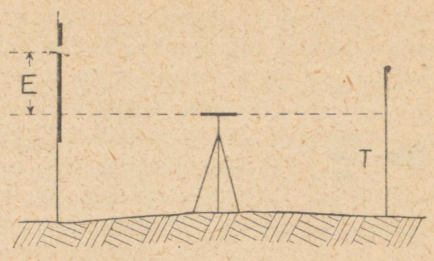
$$h = T + E. \qquad (38)$$

Töö algul tehtava sidumise juures on lugem ripplatilt tagumiseks. Sel juhtumil kõrgusvahe saadakse:

$$h = -(T + E), \quad (39)$$

s. t. kõrgusvahe võrdub sama summaga, võetult märgiga miinus.

Lugemid tuleb võtta kaks korda, muutes nende vahel instrumendi kõrgust, kui ripplatil on jaotused ainult ühel küljel.



Joonis 78.

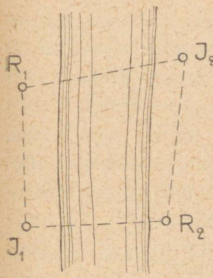
Kui ripplatti ei ole, siis riputatakse kõrgusmärgi külge terasrulett nii, et selle null ühtib märgi tsentriga ja lugemid sooritatakse ruletilt.

Kui kõrgusmärk asetseb seinas, siis võib niitristiku horisontaalniidi asendi märkida seinale ja ruleti või joonlaua abil mõõta kauguse sellest märkest kuni kõrgusmärgi tsentrini.

Sidumist reeperiga teostatakse tavalisel viisil — lati asetamisega reeperile.

§ 115. Nivellimine üle jõgede ja kuristikkude.

Juhtumil, kui jõgi, millest üle on tarvis siirda kõrgus, ei ole laiem 300 m-st, siis kummalegi kaldale võetakse jaam, näiteks punktides J_1 ja J_2 (joonis 79) niisuguse arvestusega, et kummaski jaamas säiliksid võrdsed kaugused instrumendist kuni latini. Näiteks nivellimisel punktist J_1 on vaja, et oleks $J_1R_1 = J_1R_2$, siis teisel kaldal nivellimisel punktist J_2 on vaja, et $J_2R_2 = J_2R_1$. Sel viisil kõrgusvahe pikettide R_1 ja R_2 vahel on määratud kahekordselt; lahkuminek nende vahel ei tohi ületada 5 mm.



Joonis 79.

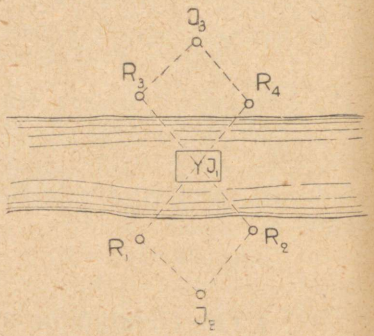
Kui jõgi on niivõrd lai, et lati jaotused on raskesti eraldatavad, siis kasutatakse liikuvat tumedavärvilist kilbikest, mida saab liigutada latti mööda ja kinnitada selle külge. Kilbike

valmistatakse võrdhaarse kolmnurgana, alusega 5 cm (joonis 80). Seda kilbikest liigutatakse abilise poolt nivellija näitamise kohaselt seni, kuni tema teravik ühtib keskmise horisontaalniidiga, ja kinnitatakse sellesse asendisse; pärast seda tehakse teraviku järgi lugem.



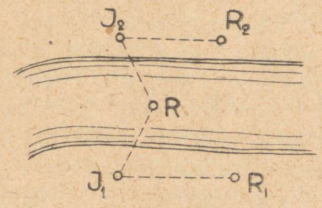
Joonis 80.

Kui jõgi on 300 m-st laiem, siis tuleb võimaluse korral kasutada jõe keskel olevat madalikku. Madaliku põhja taotakse vaiad ning nende peale ehitatakse alus instrumendi ülesseadmiseks (joonis 81). Vaiadel asuvast jaamast (J_1) tehakse lugemid reeperitel R_1, R_2, R_3 ja R_4 olevailt lattidelt, vähemalt lugemid lati kummaltki küljelt. Nende lugemitega peavad olema määratud kõrgusvahed reeperilt R_1, reeperile R_3 ja reeperilt R_4 reeperile R_2. Kontrolliks määratakse veel kaldal punktidest J_2 ja J_3 kõrgusvahed reeperite R_1 ja R_2 ning R_3 ja R_4 vahel. Vaatluste õigsuse kontrolliks on kõrgusvahede summa polügoonis R_1—R_3—R_4—R_2—R_1; see summa peab võrduma nulliga.



Joonis 81.

Kui jões sobivaid madalikke ei leidu, siis taotakse jõe põhja vai lati asetamiseks (joonis 82), kallastele aga ehitatakse kaks reeperit R_1 ja R_2. Nivellimist teostatakse üheaegselt punktidest J_1 ja J_2 kahe nivelliiriga.



Joonis 82.

Juhtumil, kui jõe põhja vaia tagumine ei ole võimalik, teostatakse nivellimist talvel, milleks jõe keskele jäässe lastakse kinni külmuda puupakk (lati jaoks), instrumendid võib aga üles seada jäässe, reeperitele ja pakule asetatud lattidest võrdsele kaugusele, kinnikülmunud vaiadele.

Nivellimist üle kuristikkude toimetatakse samuti nagu üle jõgede (esimene juhtum).

§ 116. Keskmised kõrgusvahed. Leheküljeline kontroll.

Lattide punaste ja mustade külgede lugemitest (või instrumendi erinevate horisontide juures tehtud lugemitest saadud kõrgusvahedest), s. t. *vaadeldud* kõrgusvahedest arvutatakse keskmised kõrgusvahed, mis märgitakse vastavasse tulpa (lahtrisse).

Arvutuste õigsuse kontrolliks liidetakse igal leheküljel kõik tagumiste ja eesmiste lugemite summad, samuti ka vaadeldud ja keskmiste kõrgusvahede summad.

On ilmne, et kõigi tagumiste lugemite summa ilma eesmiste lugemite summata peab võrduma vaadeldud kõrgusvahede summaga. Pool viimasest summast peab võrduma kõigi keskmiste kõrgusvahede summaga.

§ 117. Väliandmete läbitöötamine. Kõrgusvahede tasandamine, kõrguste arvutamine.

Väliandmete läbitöötamine algab kõrgusvahede arvutamisest nende punktide vahel, milledele kavatsetakse siirda kõrgused. Olgu näiteks käik rajatud põhilise nivellimise reeperite nr. 6110 ja 7835 vahel, kusjuures vaja oli saada kõrgused trigonomeetrilistele punktidele Vjazovoje, Šatalova ja Kossinovka (joonis 83), mis on vasta-



Joonis 83.

valt kindlustatud (kui trigonomeetrilised punktid või kui reeperid). Niisugusel korral tuleb kõrgusvahed liita eraldi, reeperist nr. 6110 kuni Vjazovoje punktini, Vjazovojest kuni Šatalovani, Šatalovast kuni Kossinovkani ja lõppeks Kossinovkast kuni reeperini nr. 7835. Need summad ongi kõrgusvahedeks vastavate punktide vahel. Resultaadid kirjutatakse alljärgnevale lehele:

Vahemiku nr.	Kõrgusmärkide, reeperite, punktide nr.	Kaugus (km-tes)	Jaamade arv	Kõrgusvahed		Kõrgused
				arvutatud	parandatud	
	Reeper nr. 6110					211,453
I.		4,3	28	+ 3,748 +12	+ 3,760	
	Vjazovoje					215,213
II.		11,1	73	— 2,365 +33	— 2,332	
	Šatalova					212,881
III.		6,2	41	+11,430 +18	+11,448	
	Kossinovka					224,329
IV.		4,2	28	+ 0,775 +12	+ 0,787	
	Reeper nr. 7835					225,116
		25,8	170	+13,588	—	—

Peab olema . . . . +13,663
Sulgemisviga . . . . — 0,075

Väljakirjutatud kõrgusvahede järgi määrame ära sulgemisvea, milleks kasutame § 81 toodud valemit (29):

$$W_h = \Sigma h - (H_2 - H_1).$$

Meie näites $\Sigma h = +13{,}588$, suurus $(H_2 - H_1) = 225{,}116 - 211{,}453 = +13{,}663$. Järelikult sulgemisviga $W_h = 13{,}588 - 13{,}663 = -0{,}075$ m ehk -75 mm.

Äärmine sulgemisviga põhilise nivellimise reeperite (või kõrgusmärkide) vahele rajatud käigu jaoks 5-nda järgu nivellimise juures arvutatakse valemi järgi:

$$\Delta h = \pm (20 \sqrt{L} + 2L) \text{ mm}, \qquad (40)$$

kus L on käigu pikkus (km-tes). Esitatud näites see oli:

$$\pm (20 \sqrt{25{,}8} + 2 \cdot 25{,}8 = \pm 153 \text{ mm}.$$

Suletud käigu korral arvutatakse sulgemisviga valemi järgi:

$$W_h = \Sigma h.$$

Edasi ja tagasi nivellitud käigu tingimus on ilmselt:

$$\Sigma h_{edasi} + \Sigma h_{tagasi} = 0. \quad (41)$$

Siit saame sulgemisvea määramiseks:

$$W_h = \Sigma h_{edasi} + h_{tagasi} = 0. \quad (42)$$

Äärmise sulgemisvea määramiseks kasutatakse siin valemit:

$$\Delta h = \pm 30 \sqrt{L}\ mm, \quad (43)$$

kus L on käigu pikkus ühes suunas.

Sulgemisviga, kui ta on lubatav, jaotatakse kõigile kõrgusvahedele võrdeliselt vastavate vahemaade pikkustega või jaamade arvuga. Paranduste märgid on vastupidised sulgemisvigade märkidele.

Nivellimisel edasi- ja tagasikäiguga võetakse pool sulgemisviga ja sellega parandatakse ainult edasikäik.

Kui paikkonnas on rajatud mitu käiku, mis üksteisega ristuvad või moodustavad mitu piirnevat polügooni, siis nende ühine tasandamine toimub sõlmpunktide meetodiga. Seda meetodit käsitellakse eespool, pärast vigade teooria mõistetega tutvumist.

Parandatud kõrgusvahede järgi, nende järk-järgulisel liitmisel eelmiste kõrgustega, alates lähtereeperi kõrgusega, saadakse kõigi punktide kõrgused. Kõrguste arvutuste kontrolliks on lõpus selle reeperi kõrguse saamine, kus lõpetati nivellimine.

§ 118. Side- ja vahepunktid. Vahepunktide kõrguste arvutamine.

Nivellimiskäigu rajamisel kohustab instruktsioon käiguga siduma mõningaid alalist tähtsust omavaid punkte (allikaid, veepindu, kurgaanide latvu, sildade sambaid, raudteeroopa päid jaamade ees, kilomeetriposte jms).

Nivellimise teostamisel insener-ehituslikeks otstarbeiks on sageli vaja määrata pikettide vahel isegi nivellimise joonest kõrval asetsevate punktide kõrgusi.

Niisuguste punktide nivellimine toimub tavaliselt pärast vaatlusi põhipikettidele. Pärast kahekordseid vaateid tagumisele ja eesmisele latile asub tagumine tööline latiga kõigile niisuguseile punktidele ja nende peale tehakse lugemid ainult lati mustalt küljelt. Selliste punktide kõrgusvahe, ükskõik kas tagumise või eesmise põhipiketi üle (vastavalt h_1 või h_2) võib ilmselt arvutada nii:

$$h = T - a;\ h_2 = E - a. \quad (44)$$

kus T on lugem tagumisele piketile, E — lugem eesmisele piketile

ja a — lugem kõrvalpunktile (kõik need lugemid on vaja võtta lattide mustadelt külgedelt).

On ilmne, et kõrvalpunktid ei võta osa kõrguste siirmisest käiku mööda. Kõrguste siirmiseks üle mingi punkti on vajalik, et see punkt oleks nii tagumiseks kui ka eesmiseks, s. t. vaated sellele punktile tuleb teha kahest jaamast.

Niisuguseid punkte, milledele vaated tehakse kahest jaamast, nimetatakse sidepunktideks. Kõrgusvahed niisuguste punktide vahel on tarvilikud kõrguste siirmiseks punktist punkti; nende kõrgusvahedega teostatakse ka käigu tasandamine.

Punkte, milledele vaated tehakse ainult ühest jaamast, nimetatakse vahepunktideks. Need ei võta osa käigu tasandamisest.

§ 119. Pinna nivellimine. Pikettimine.

Mensuliga plaanistamisest (graafilisest mõõdistamisest) me teame, et reljeefi kujutamiseks on vajalik plaanile saada reljeefi iseloomulike punktide asukohad ning määrata nende punktide kõrgused. Mensuliga plaanistamisel määratakse viimased kaldkiirega nivellimise abil. Neid võib samuti saada tehnilise nivellimise meetodiga. Niisugune töö nõuab tunduvaid ressursse ja ajakulu ning teda teostatakse juhtumeil, kui nõutakse eriti täpset reljeefi kujutamist, näiteks niisutamise või kuivendamise projektimistel jms.

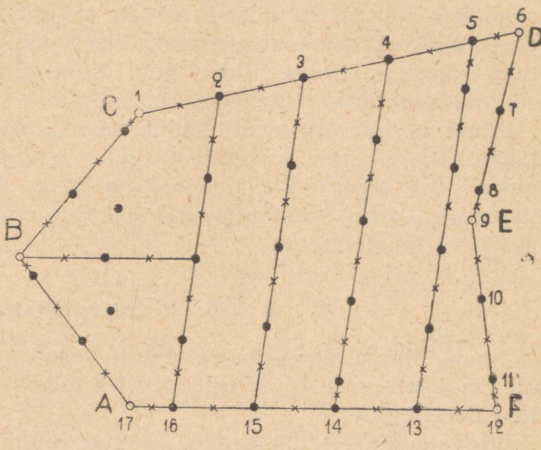
Pinna nivellimisel tehnilise nivellimisega on vaja meeles pidada, et kõik nivellitud punktid tuleb kanda plaanile, järelikult kõik nad tuleb mõõdistada, s. t. nii või teisiti ära määrata nende asend horisontaalses tasapinnas.

Selle eesmärgiga rajatakse kogu pinda mööda rida teodoliitkäike niisuguse arvestusega, et nendega katta ühtlaselt, teatavate vahemaade tagant kogu nivellitav pindala. Samaaegselt sellega märgitakse käike mööda vaiadega (pikettidega) lattide asetamise kui ka instrumendi ülesseadmise kohad tulevase nivellimise juures, kinni pidades reeglist, et kaugused instrumendist kuni lattideni (vaatekaugused) oleksid võrdsed. Olenevalt töö eesmärkidest võetakse mõnikord kaugused pikettide vahel normaalsest palju väiksemad, näiteks 40—50 m, sellekohaselt kaugused instrumendist lattideni on vastavalt 20—25 m. Käike mööda mõõtes on vaja vaiadega märgistada ning mõõdetega ära määrata ka kõik iseloomustavad punktid käigu kõrval, need on vahepunktid.

Kui mõõdistatav maa-ala omab tähtsusetut ja enam-vähem ühtlast kallakut, siis mainitud käike on kõige lihtsam rajada nii, et

nende kaugused üksteisest mingisuguseis kindlais kohtades oleksid võrdsed. Sel kombel on hea nivellida näiteks heinamaid, soid.

Olgu näiteks vaja nivellida maatükk AB ... F (joonis 84). Esmalt mõõdistame tema ringpiiri ABCDEF. Seejärel külge CD mööda märgistame võrdsed kaugused 1 — 2 = 2 — — 3 = 3 — 4 = 4 — 5 ja külge FA mööda kaugused 12 — 13 = = 13 — 14 = 14 — 15 = = 15 — 16 nii, et nad oleksid võrdsed piketide vaheks võetud kaugusega, näiteks 100 meetrit.



Joonis 84.

Jooni 2—16, 15—3, 4—14 ja 13—5 hakkame nivellima, neid on kerge kanda ka plaanile. Need jooned on vaja maastikul mõõta ja pikettida (märgistada piketaaž) s. t. asetada rida vaiu käesoleva juhtumi jaoks võetud kindlate kauguste tagant, — need on piketid.

Üheaegselt pikettide vahele, keskele, märgime vaiakestega või väikeste aukudega nivelliiri asetamise kohad. Seejuures on vaja meeles pidada, et kõigi joonte lõpu jääkides kaugused instrumendist kuni pikettideni erinevad tavalisist selliseist kaugusist. Piketid taotakse maasse maapinnaga tasa. Selleks, et järgneval nivellimisel oleks kerge neid leida, taotakse nende kõrvale võrdlemisi kõrged vaiad, millede tahutud labale kirjutatakse pikettide numbrid. Neid vaiu nimetatakse *numbrivaiadeks.*

Siis märgistatakse samasugune piketaaž ringpiiri mööda sellise arvestusega, et punktid A, B ... oleksid samuti pikettideks. Selleks taotakse postide kõrvale, milledega need punktid on märgistatud, tavalised piketid, mõned tulbad aga töödeldakse nii, et nende peale saaks vahenditult asetada lati, — nad on ajutisteks reeperiteks.

Pärast kõiki neid ettevalmistustöid teostatakse nivellimine. Esmalt nivellitakse ringpiir, siis aga jooned 2—16, 15—3, 4—14 ja 13—5.

Nivellimisandmete läbitöötamisel tasandatakse antud juhtumil esmalt kõrgusvahed ning arvutatakse kõigi pikettide kõrgused

ringpiiri mööda. Siis pikettide 2 ja 16, 15 ja 3 jne. kõrguste vahele kooskõlastatakse käigud ning arvutatakse pikettide kõrgused mööda jooni 2—16, 15—3 jne.

Lainelise maastiku korral (küngaste grupid, orud, sulglohud) rajatakse käigud tavaliselt mööda seljakuid ja nõvajooni. Kohtades, kus käigud eemalduvad üksteisest kaugemale tavalisest pikettide vahest, rajatakse põikkäigud. Kõik käigud peavad olema horisontaal-tasapinnas omavahel seotud.

Pinna nivellimise resultaadina koostatakse plaan, millele kantakse kõik piketid, ja nende kõrvale kirjutatakse tušiga nende kõrgused. See on *nivellimisplaan kõrgustega.* Pärast seda tõmmatakse vajaduse korral horisontaalid kaldkiirega nivellimise rakendamisel näidatud meetoditega.

§ 120. Pikinivellimine.

Teede, kanalite ehitamisel tekib vajadus valitud suunda mööda omada üksikasjalist profiili, milleks teostatakse selle suuna tehniline nivellimine.

Ettevalmistavalt piketitakse valitud suund, kusjuures piketid taotakse mitte üksnes nivellimistelge mööda, vaid ka mõningale kaugusele teljest kõrvale. Piketid asetatakse kindlalt määratud vahemaade tagant. Kui nende vahel tuleb ette reljeefi iseloomustavaid kohti, siis need märgistatakse vahepunktidega.

Kui järsu kallaku tõttu ei saa pikettide vahelist kaugust nivellida, siis nende vahele asetatakse veel sidepunkt. Niisuguseid punkte nimetatakse iks-punktideks (x-punktideks).

Pikettimise juures paigutatakse kindlate vahemaade tagant ka reeperid, nivellimise telje kõigile käänakuile aga püstitatakse erilised nurgavaiad või -postid.

Nivellimise resultaadina arvutatakse kõigi pikettide, vahepunktide, nurgapostide ja reeperite kõrgused. On ilmne, et selleks on vaja käigu tasandamisel igale vahemikule (reeperist reeperini) kuuluv parandus ära jaotada ühtlaselt kõigile üksikute pikettide vahelistele kõrgusvahedele. Et kõrgused saadakse täismillimeetreis, siis parandused samuti ei tarvitse olla alla 1 mm; tavaliselt kõigile kõrgusvahedele neid parandusi (1 mm) ei jätku, mistõttu tegelikkuses kõigile kõrgusvahedele parandusi ei saagi anda.

Kõrguste tasandamine ja arvutamine toimub tavaliselt nivellimise väliraamatus, kus on olemas vastavad lahtrid (kõrgusvahed — arvutatud, parandatud; kõrgused).

§ 121. Horisondi meetod.

Vahepunktidé kõrgused, mõnikord aga ka pikinivellimise sidepunktide kõrgused, arvutatakse niinimetatud instrumendi horisondi meetodiga.

Instrumendi horisondiks antud jaamas nimetatakse instrumendi viseerimise telje kõrgust.

Märgime instrumendi horisondi tähega H, pikettide A ja B kõrgused tähtedega H_1 ja H_2 (joonis 85). Siis saame:

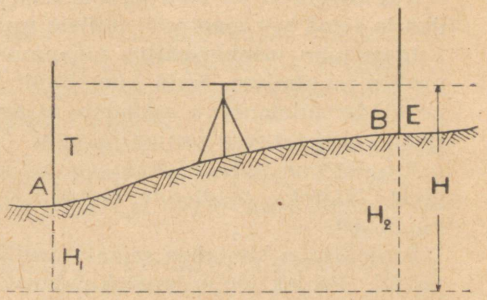
$$\left.\begin{aligned} H &= H_1 + T \\ H &= H_2 + E \end{aligned}\right\} \qquad (45)$$

s. t. *horisont võrdub mistahes piketi kõrgusega pluss vaade sellele piketile.*

Neist valemeist saame pikettide kõrguste arvutamiseks:

$$H_1 = H - T, \qquad (46)$$
$$H_2 = H - E, \qquad (47)$$

s. t. *mistahes piketi kõrgus võrdub horisondiga miinus vaade sellele piketile.*



Joonis 85.

Niisiis teades ühe piketi kõrgust ja omades väliraamatus vaadet sellele piketile saab valemi (45) järgi arvutada instrumendi horisondi. Omades aga horisonti arvutame valemite (46) ja (47) järgi kõrguse mistahes teise punkti jaoks, millele on tehtud vaade sellestsamast jaamast. Seejuures on vaja meeles pidada, et horisondi arvutamiseks tuleb antud piketi kõrgusega liita vaade sellele piketile samalt latiküljelt, millelt on tehtud vaated ka neile vahepunktidele, millede jaoks määratakse kõrgusi. Nii on lisas 6 3-nda jaama jaoks horisont arvutatud 2-se piketi kõrguse järgi ja sellele piketile lati mustalt küljelt saadud vaate järgi. Lahutades horisondist 213,353 need vaated saame:

punkti 2 + 47 m kõrgus = 213,353 — 0,611 = 212,742
„ 2 + 66 m „ = 213,353 — 1,101 = 212,252,

mis kirjutataksegi väliraamatu vastavasse lahtrisse. Horisondi arvutamise õigsuse kontrollimiseks tuleb teda arvutada antud jaama mõlema sidepunkti järgi. Nii saame 3-ndas jaamas 3-nda piketi järgi horisondi jaoks: $H = 212{,}642 + 0{,}711 = 213{,}353$.

§ 122. Profiili koostamine, profiili järgi projektimine.

Tasandatud kõrguste järgi koostatakse telje profiil. Profiili joonestamine toimub järgmisel viisil.

Tõmmatakse sirgjoon ja sellele valitud mõõtkavas kantakse piketide ja vahepunktide vahelised horisontaalsed kaugused. Pärast seda tõmmatakse kõigist punktidest joonestatud sirgele ristjooned, milledele suuremas (näiteks 10 korda suuremas) mõõtkavas sirgjoonest ülespoole kantakse arvutatud kõrgused. Pärast seda, ühendades ristjoonte otsad sirgjoontega, saame paberile profiili kujutise, mis reljeefsuse tõstmiseks on horisontaalkauguste suhtes moonutatud.

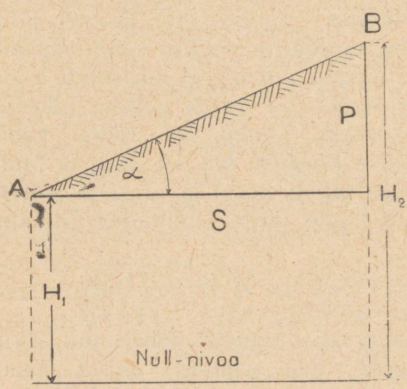
Kui kõrgused on suured, siis enne profiilile kandmist lahutatakse üks ja sama arv meetreid, millest profiili kuju ilmselt ei muutu.

Igasugune insener-ehitus maapinnal avaldub maastiku loodusliku profiili muutmises. Seda kunstlikult loodavat profiiljoont, mis insenertööde tulemusena asendab maastikul oleva loodusliku profiili joone, nimetatakse *projektjooneks.*

Projektjoon antakse kaldega, mille suurus oleneb ehitise iseloomust. Näiteks raudteede ehitamisel kalle ei ole lubatud suurem kui 0,008.

Projektjoon kantakse samale profiilile, kus on kujutatud looduslik profiil. Projektjoone pealekandmiseks on tarvilik arvutada tema otsade kõrgused, mida on võimalik teha tema jaoks valitud kalde järgi.

§-s 67 defineerisime kallet kui kahe punkti kõrgusvahe suhet nende punktide vahelise horisontaalkaugusega.



Joonis 86.

Joone AB (joonis 86) kahe otsapunkti kõrguste vahet nimetatakse ka selle joone languseks:

$$P = H_2 - H_1. \qquad (48)$$

On ilmne, et joone langus ei ole muud midagi kui selle joone otsapunktide kõrguste vahe.

Kaldeks p nimetatakse joone languse suhet tema pikkusega:

$$p = \frac{P}{s} = \frac{H_2 - H_1}{s}. \qquad (49)$$

Kalle on nimetu arv ning geomeetrilisest vaatekohast kujutab endast antud joone kaldnurga tangensit:

$$p = \operatorname{tg} \alpha. \qquad (50)$$

Kui maapind alaneb, siis langus, järelikult ka kalle, muutub negatiivseks.

Valemist (49) saame: $H_2 = H_1 + ps$, (51)

s. t. *joone lõpp-punkti kõrgus võrdub algpunkti kõrgusega, liidetult kalde ja joonepikkuse korrutisega.*

Selle valemi järgi toimetataksegi projektjoone kõrguste arvutamist kõigi pikettide ja vahepunktide (plusside, nagu neid nimetatakse insenerehitustes) jaoks.

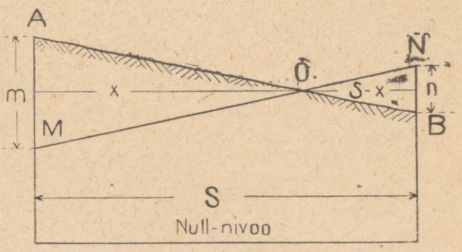
On ilmne, et projektjoone kõrguste arvutamiseks on vaja peale kalde teada veel tema alguse kõrgust. Sageli antakse projektjoon ka pikkuse ja tema otsade kõrgustega, mille järgi on hõlpus arvutada ka tema kallet valemi (49) järgi.

Projektjoone arvutatud kõrgused profiilil märgitakse punase värviga, mispärast neid tavaliselt nimetatakse *punasteks kõrgusteks.* Pikettide looduslikud kõrgused, samuti ka vahepunktide kõrgused märgitakse musta värviga (mustad kõrgused).

Ehituste juures arvutatakse mullatööde hulga kaalutlemiseks vahed punaste ja mustade kõrguste vahel. Need vahed väljendavad täidendite kõrgusi ja kaevikute sügavusi. Neid nimetatakse töökõrgusteks.

Projektjoone lõikepunkte loodusliku profiiliga nimetatakse *ülemineku-* ehk *nullpunktideks*

Olgu AB (joonis 87) loodusliku profiili joon ja MN projektjoon samade pikettide vahel. Üleminekupunkti O asendi määramiseks teljel on tarvis leida tema kaugus eelmisest piketist A. Seda kaugust nimetatakse mõnikord *siniseks kauguseks.*



Joonis 87.

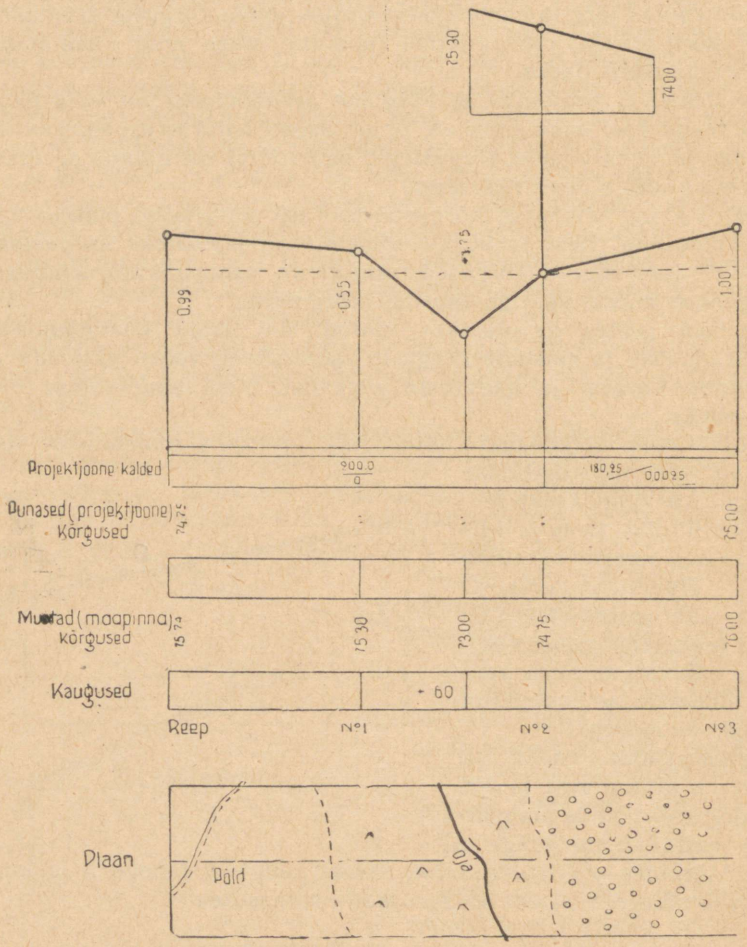
Kolmnurkades AOM ja NOB on alused AM ja NB töökõrgusteks, mida me märgime vastavalt tähtedega m ja n. Märkides otsitava suuruse (sinise kauguse) tähega x ja kogu kauguse tähega S saame kolmnurkade sarnasusest:

$$\frac{x}{m} = \frac{S-x}{n},$$

kust sinise kauguse jaoks saame:

$$x = \frac{mS}{m+n}. \quad (52)$$

Projektjoone konstrueerimise skeem on toodud joonisel 88, kus projektjoon on kujutatud katkendjoonena. Kõik, mis kuulub projektjoone juurde, kujutatakse profiilil punasega. Kaevikud värvitakse gummigutiga, täidendid aga karmiiniga.



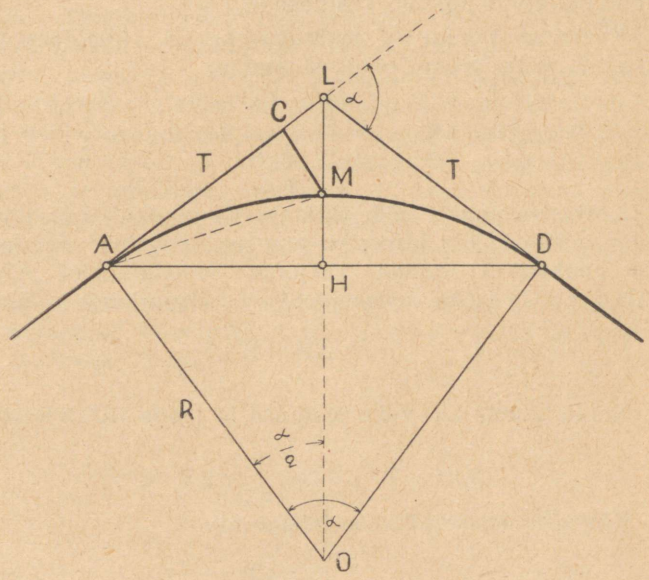
Joonis 88.

§ 123. Kõverikkude märgistamine. Peapunktid. Detailne märgistamine.

Praktikas tuleb sageli teha nivellimist niisuguste ehituste jaoks, millede telg koosneb vaheldumisi sirg- ja kõverjoontest (raudteed). Selliseil juhtumeil tuleb maastikul märgistada kõverikke ringjoone kaare kujul. Selleks peab teada olema pöördenurk ja ringjoone raadius. Raudteede jaoks näiteks ei lubata raadiust alla 600 m.

Praktikas leitakse esmalt kõveriku niinimetatud *peapunktid*, siis aga teostatakse detailne märgistamine, s. t. märgistatakse teatavate vahemikkude tagant vahepunktid.

Pöördugu punktis L (joonis 89) ehituse telg nurga α võrra. Nurka ALD on vaja tõmmata kaar AMD raadiusega R. Punkte A ja B, kõveriku algust ja lõppu, samuti ka kõveriku keskmist punkti (poolituspunkti) M nimetatakse kõveriku peapunktideks. Lõike AL ja LD nimetatakse praktikas *tangensiteks* ja märgitakse tähega T. Joont LM nimetatakse *bissektrissiks* (nurgapoolitajaks) ja märgitakse tähega B. Kõverikku AMD ennast märgitakse tähega K. Joont AH nimetatakse *poolkõõluks*, joont MH — *nooleks* (kaare kõrguseks). Kui kõveriku keskmisest punktist M tõmmata ristjoon ühele tangensitest, siis saadakse täisnurkne kolm-



Joonis 89.

nurk, näiteks ACM, mis võrdub kolmnurgaga AHM, kuna hüpotenuus AM on nendel ühine ja teravnurk CAM võrdub nurgaga MAH kui ühe ja sama kaare AM poolega mõõdetavad nurgad. Järelikult AC võrdub poolkõõluga ja CM — noolega.

Peapunktide A ja D määramiseks on ilmselt küllalt arvutada tangensi pikkus T. Täisnurksest kolmnurgast LAO saame T jaoks:

$$T = R \tan \frac{\alpha}{2}, \tag{53}$$

kus α on *pöördenurk* (ta võrdub, nagu joonisest on hõlpus veenduda, nurgaga, mille tipuks on tsenter O ja haaradeks — kõveriku alg- ja lõpp-punkti tõmmatud raadiused).

Keskmise punkti M määramiseks on küllaldane teada bissektrissi B, mille jaoks joonisest saame:

$$B = LO - MO = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right). \tag{54}$$

Keskmise punkti võib määrata ka poolkõõlu ja noole järgi, milleks piisab kanda kõveriku algusest tangensit mööda poolkõõl AC ja punktist C kanda ristjoont mööda nool CM. Poolkõõlu AH (= AC) jaoks saame jooniselt (täisnurksest kolmnurgast AHO):

$$AH = R \sin \frac{\alpha}{2}. \tag{55}$$

Noole leiame kui vahe raadiuse ja joone $HO = R \cos \frac{\alpha}{2}$ vahel:

$$MH = R - R \cos \frac{\alpha}{2} = 2 R \sin^2 \frac{\alpha}{4}. \tag{56}$$

Kõveriku enese pikkuse leiame nii:

$$K = \pi R \cdot \frac{\alpha}{180}. \tag{57}$$

Valemite (53—57) järgi arvutatud kõik suurused määratakse praktikas eriliste „Kõverikkude märgistamise tabelite" abil; sellised on näiteks Važejevski, Kröhnke, Jatsõnõ jt. tabelid.

Selleks, et teada nivellimise telje pikkust, on iga kõveriku juures vaja tangensite AL ja LD summa asemel võtta kõverjoone enese pikkus. Selleks on pikettimise andmeid vaja parandada „mõõteliia" $\nabla = 2T - K$ suuruse võrra. Selle suurusega pikettimisel parandatakse kõveriku lõpu pluss (mõõteliig lahutatakse plussist) ja edasise pikettimise jaoks nihutatakse lint vastavalt edasi. Mõõteliia suuru-

sed on paigutatud samades „Kõverikkude märgistamise tabelites" kõrvuti tangensi ja kõveraga (vt. näiteks Važejevski tab. II).

Kõik tangensitel asetsevad piketid kantakse välja kõverjoonele. Olgu näiteks kõveriku alguseks märge nr. 21 + 48 (s. t. 48 meetrit eelmisest piketist nr. 21). Siit saame kauguse kõveriku algusest kuni järgmise piketini 100 — 48 = 52 m, kui pikettide vahekaugus on 100 m. Selliselt arvutatud kõverjoonelise pikkuse kohaselt leitakse punkti asukoht kõverikul tavaliselt ristkoordinaatide meetodiga. Tabeleis antakse tüüpraadiuste ja kõverikkude pikkuste järgi *„kõver ilma abstsissita"*, s. t. suurus, mille võrra on vaja piketti tangensit mööda tagasi viia, et saada abstsissi lõpp, ja ordinaat, s. t. tangensi ristjoone pikkus abstsissi otsast kuni punktini, kuhu peab asetatama pikett. Važejevskil on niisugune tabel (III tabel).

Täpselt samuti, peamiselt „koordinaatide järgi tangensist", teostatakse ka kõverikkude detailset märgistamist. Važejevski tabelites (IV tabel) antakse selle eesmärgiga mitmesuguste raadiuste jaoks „kõverad ilma abstsissideta" ja ordinaadid kõveriku punktide jaoks vahemikkudega 1 m (väikeste raadiuste 10 kuni 30 m juures), 2 m (raadiuste jaoks 40—80 m), 5 m (raadiuste 100—190 m jaoks), 10 m (raadiuste 200—800 m jaoks) ja 20 m (raadiuste 1000—4000 m jaoks).

„Ilma abstsissita kõverate" asemel antakse mõnikord otseselt abstsissid ja ordinaadid kõvera punktide jaoks 5 või 10 m tagant mitmesuguste raadiuste juures.

X peatükk.

TAHHÜMEETRILISE MÕÕDISTAMISE MÕISTE JA INSTRUMENDID.

§ 124. Tahhümeetrilise mõõdistamise olemus.

Tahhümeetria — see on niisugune mõõdistamine, mille juures kiiresti ja küllalt täpselt saadakse andmed plaani koostamiseks nii kontuuride kui ka reljeefi kujutamiseks horisontaalses tasapinnas.

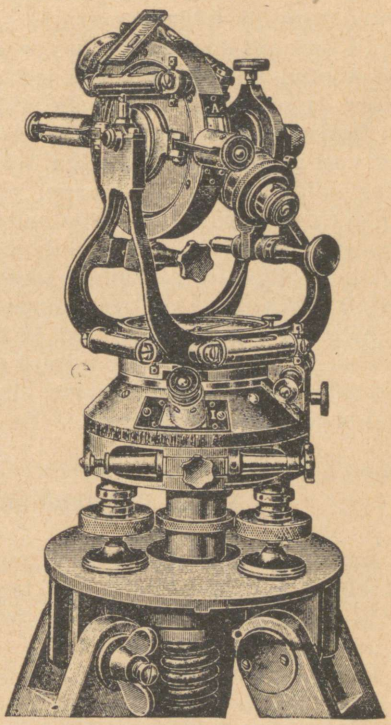
Niisuguse mõõdistamise näide on meil juba olemas kombineeritud mensuli-plaanistamise näol, s. t. kui mensulile joonestatakse üheaegselt kontuurid ja reljeef. Otstarbeilt ja võtteilt tahhümeetriline mõõdistamine on täiesti sarnane mainitud plaanistamisega. Erinevus nende vahel seisneb ainult selles, et sellal kui mensuliga plaanistamise juures nurkade, mõnikord ka joonte horisontaalprojektsioonid saadakse graafilise konstrueerimisega ja plaani koostamine toimub planšetil, maastikul, tahhümeetrilisel mõõdistamisel need *mõõdetakse* ning plaani koostamine toimub kameraalseis oludes. Järelikult tahhümeetria on tavaline nurgamõõduline mõõdistamine, keerustatud selliste mõõtmistega, mis annavad võimaluse plaanile kujutada maastiku reljeefi.

§ 125. Ringtahhümeeter. Teodoliit-tahhümeeter.

Reljeefi kujutamiseks, nagu meil juba teada, on vaja omada reljeefi karakteersete punktide kõrgusi, kõrguste määramiseks aga— nende punktide kõrgusvahesid. Tahhümeetrilise mõõdistamise juures määratakse viimased kaldvaatekiire meetodiga. Tähendab, tahhümeetrilise mõõdistamise teostamiseks on vaja omada vertikaalrin-

giga varustatud teodoliiti. Seejuures vertikaalringi lugemise täpsus ei või olla väiksem horisontaallimbi täpsusest, sest oma olemuselt ei ole vertikaalringi osa siin väiksem horisontaalringi osast. Vertikaalringilt lugemiseks peab selle ringi juures olema alidaad vesiloega, mille mull on vaja seada keskele enne iga lugemist. Pikksilmas peavad olema kaugusemõõtja niidid.

Teodoliiti, millel on horisontaalringist mitte väiksema täpsusega vertikaalring, nimetatakse ringtahhümeetriks ehk teodoliit-tahhümeetriks (joonis 90).



Joonis 90.

§ 126. Tahhümeetrile esitatavad üldised nõuded.

Tahhümeetrilise mõõdistamise üks peanõudeid on töö kiirus (tahhümeetria tähendab tõlkes kiirmõõtmist). Vastavalt sellele peab olema konstrueeritud ka tahhümeeter. Eelkõige peab ta olema tugev, portatiivne. Tema liikumised peavad olema sujuvad. Kõik matemaatilised nõuded peavad temas olema rahuldatud võimalikult täiuslikult ja sätted (õiendused) peavad püsima tugevalt, et töötamine oleks võimalik ilma instrumendivigade kompenseerimiseks tarvilike liigsete mõõtmisteta, näiteks ainult vertikaalringi ühe seisu juures.

Instrumendi üksikud osised peavad olema asetatud nii, et töö toimuks võimalikult väheste liigutustega. Selle eesmärgiga asetatakse viimasel ajal vertikaalringi jaotused ringtahhümeetril ringi pöiale, et lugemeid saaks teha okulaari juurest eemaldumata. Horisontaalringi nooniused paigutatakse okulaarile lähemale. Vertikaalringi alidaadi vesiloe mulli vaatlemiseks seatakse peeglid jms.

§ 127. Teodoliit-tahhümeeter „Geofüüsika".

Nimelt nii on ehitatud nõukogude vabrikus „Geofüüsika" valmistatud teodoliit-tahhümeeter.

Ta kujutab enesest kordusteodoliiti, vertikaalringiga, mille pöiale on kantud poolekraadilised jaotused, mis on nummerdatud samuti, nagu kippreeglite vertikaalringidelgi. Mõlemad ringid, vertikaalne ja horisontaalne, on kaetud. Vertikaalringi katte üks aken asetseb kõrvuti pikksilma okulaariga, teine — vastasotsas. Peale vertikaalringi alidaadi vesiloe on veel vesilood pikksilma küljes, milletõttu on olemas võimalus horisontaalse vaatekiirega nivellimiseks. Vesiloodide kohale on kinnitatud pöörduvad peeglid, mis võimaldavad mullide jälgimist pikksilma okulaari juurest eemaldumata. Tahhümeetri pikksilmal on sisefokuseerimine.

Niitristiku paranduskruvid ja tõstekruvid on kaetud kaitsesilindritega. Keerates neid silindreid saab tõstekruvide pöördumist katkestada, kuna nende kruvide otsad surutakse silindritesse paigutatud erilistesse koonustesse.

§ 128. Ringtahhümeetri kontrollimine.

Kuna ringtahhümeeter oma põhiolemuselt on teodoliit, siis teda eelkõige kontrollitaksegi kui teodoliiti. Selleks on vaja sooritada kõik I osas § 130 esitatud kontrollimised. Sealsamas § 63 ja 131 on toodud bussooli kontrollimised.

Peale horisontaalnurkade mõõtmise mõõdetakse tahhümeetriga ka vertikaalnurki ja määratakse kaugusemõõtjaga kaugusi. Seepärast on vajalik, et tahhümeetris oleksid täidetud kõik vertikaalringi ja kaugusemõõtja nõuded.

Mis puutub vertikaalringisse, siis siin on tähtis, et selle kinnitus pikksilmaga oleks tugev, mida kontrollitakse nulli aseme muutumatusega. Peale selle vertikaalringi jaotused peavad olema õiged, ekstsentrilisus aga ei või ületada nooniuste kahekordset täpsust (ühe nooniusega töötamise võimaluseks).

Kaugusemõõtjalt nõutakse äärmiste niitide võrdset kaugust keskmisest niidist. Seda nõuet kontrollitakse latilt lugemisega kõigi kolme niidi järgi. Kui keskmine niit annab äärmiste niitide lugemite poolsummaga võrdse lugemi, siis on tingimus täidetud. Kui tingimus ei ole täidetud, siis keskmise niidiga töötada ei või ning vajaduse korral (kui näiteks osa latist on varjatud taimestiku või reljeefiga,

milletõttu äärmiste niitide järgi lugeda ei saa) tuleb kaugus mõõta ülemise ja keskmise ning alumise ja keskmise niidi järgi; nende summa annab äärmiste niitide vahelise lugemi.

Niitristik peab olema seatud nii, et töö ajal (kui instrument on horisonteeritud) üks niitidest oleks vertikaalne, kaugusemõõtja niidid aga horisontaalsed. Kontrollitakse seda samuti nagu niitide horisontaalsust nivelliiris (vt. § 104). Õiendamine saavutatakse diafragma keeramisega, milleks enne seda peab lõdvastama niitristiku vastavad kruvid.

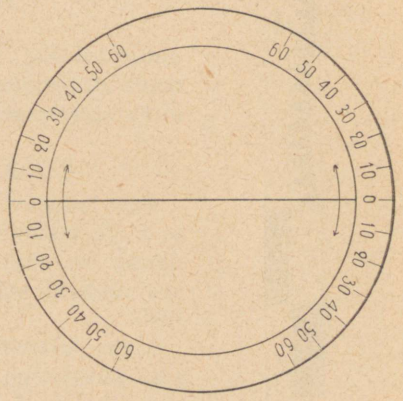
Lõppeks, kui tahhümeetris on vesilood pikksilma küljes, siis on vaja nõuda, et selle vesiloe telg oleks paralleelne pikksilma viseerimise teljega. Kontrolli teostatakse mingi joone kahekordse nivellimisega, nagu nivelliiridel kontrollitakse tappide diameetrite võrdsust; nimelt määrates kahekordsest nivellimisest horisontaalsele kiirele vastava lugemi, juhitakse mikromeetrilise kruvi abil sellele pikksilm ja vesiloe paranduskruvidega seatakse mull keskele.

§ 129. Nulli aseme määramine pikksilma küljes oleva vesiloega tahhümeetri juures.

Esineb instrumente, milledel vesilood on ainult pikksilma küljes. Sel juhtumil nulli aseme määramiseks on vaja alguses, nagu ülalpool kirjeldatud, seada vesiloe telg paralleelseks viseerimise teljega. Pärast seda, horisonteerides limbi, seatakse pikksilma mikromeetrilise kruviga pikksilma küljes oleva vesiloe mull keskele ja tehakse vertikaalringilt lugem. See lugem ilmselt ongi nulli asemeks.

§ 130. Vertikaalnurkade mõõtmine ringiga, mille jaotused on 0 kuni 90°.

On olemas ka teodoliite vertikaalringidega, millede jaotused on kantud mõlemale poole 0 kuni



Joonis 91.

90° (joonis 91). Sel juhtumil vertikaalnurgad arvutatakse järgmiste valemite järgi:

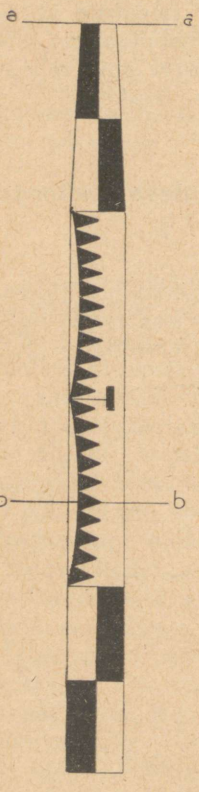
$$N = {}^1/_2 (P - V). \quad (58)$$

$$\alpha = P - N. \quad (59)$$

$$\alpha = V + N. \quad (60)$$

$$\alpha = {}^1/_2 (P + V). \quad (61)$$

Niisuguse ringiga töötades on vaja ära märkida nurga märk, s. t. kas mõõdeti tõusunurk (+) või langusenurk (—). Need märgid on vajalikud hiljem kõrgusvahe märgi küsimuse lahendamisel, kuna valemid (58), (59), (60) ja (61) annavad võimaluse ainult nurga absoluutse suuruse arvutamiseks.



Joonis 92.

§ 131. Tahhümeeter-automaatide mõiste.

Kõrgusvahede ja kauguste horisontaalprojektsioonide määramine ringtahhümeetriga toimub täiesti samuti nagu kippreegligagi: samad võtted, valemid, tabelid, graafilised ja mehaanilised vahendid arvutamiseks jne. Töö kiirendamiseks on konstrueeritud niisugused tahhümeetrid, mis on varustatud seadeldistega kõrgusvahede ja kauguste horisontaalprojektsioonide saamiseks mehaaniliselt otse vaatluste juures. Sellised on Wagneri, Hammeri, Sanguet' jt. tahhümeetrid. Kõik nad kujutavad endast teodoliite, mis on varustatud täiendavate osistega valemite

$$s = kn \cos^2 \alpha + c \cos \alpha;$$

$$h = s \tan \alpha$$

automaatseks lahendamiseks. Niisugused tahhümeetrid moodustavad tahhümeetrite teise tüübi, mida nimetatakse tahhümeeter-automaatideks.

§ 132. Tahhümeetrilised latid.

Tahhümeetrilisel mõõdistamisel võidakse latt saata instrumendist kuni 350 m ja kaugemalegi. Seepärast on latile vaja esitada nõue, et tema jaotused oleksid selgesti eraldatavad suurtest kaugustest.

Meie instruktsioonidega soovitatakse kolmnurksete jaotustega latte (joonis 92), kolmnurkade alused tehakse 5 või 10 cm. Töö juures hinnatakse selliste jaotuste kümnendik-osad silma järgi. Jao-

tuste värvimine kombineeritakse nii, et oleks võimalus korraga haarata vahemikud 200, 100 või 50 cm. Joonisel on niitide a ja b järgi hõlpus saada lugem 256 cm.

Samadel kaalutlustel, mis esitati tehnilise nivellimise käsitlemisel (§ 105), soovitatakse latid valmistada kaheküljelised (pöördlatid), kusjuures lati ühel küljel jaotused võetakse 5 cm-lised, teisel küljel aga 5,5 cm-lised, või ühel küljel — 10 cm, teisel aga 11 cm.

Väikeste sihikaugustega töötades võib kasutada tavalisi nivellimislatte.

XI peatükk.

TAHHÜMEETRILISE MÕÕDISTAMISE TEOSTAMINE.

§ 133. Tahhümeetrilise mõõdistamise üldine kord.

Tööde kord tahhümeetrilise mõõdistamise juures ei erine millegi poolest üldtunnustatud korrast teiste mõõdistamiste juures.

Üksiku maatüki mõõdistamisel rajatakse eelkõige aluskäigud, millede mõõtmine teostatakse võrdlemisi täpselt. Nad rajatakse eelnenud kõrgema järje aluse (trigonomeetriliste võrkude, polügonomeetriliste käikude jne.) punktide vahele.

Üheaegselt tahhümeetriliste käikude mõõtmisega, mõnikord ka pärast seda, teostatakse detailide mõõdistamist.

Tahhümeetrilise mõõdistamise kord ja võtted, eriti mitmesuguste juhtumite jaoks (linnade mõõdistamisel, eeluurimistööde juures jne.), määratakse kindlaks vastavate instruktsioonidega.

Edasine käsitlus kuulub peamiselt tahhümeetriliste käikude rajamisele ja mõõtmisele mensuliga plaanistamise aluse tihendamise eesmärgil. Kuid ka teisil juhtumeil jääb tahhümeetriliste käikude rajamise töö olemus samaks, erinedes ainult selle või teise täpsuse saavutamise jälgimise detailidega.

§ 134. Tahhümeetriliste käikude rajamine. Joonte (külgede) mõõtmine.

Tahhümeetrilisi käike võib rajada kinniste polügoonidena ja alusvõrgu punktide vahele. Võimalikud on ka lühikesed rippuvad käigud.

Tahhümeetriliste käikude jooned ei või üldreeglina olla alla 250 meetrit. Maastikul joonte otsad kindlustatakse kraavikesega ümbritsetud vaiadega. Kui käik on pikk, siis selle osad iga 3—5 km tagant

peab kindlustama tugevamini. Nii peab mõõtkavas 1 : 25 000 mõõdistamise jaoks sel juhtumil kasutama 1,2 m pikkusi poste, põikpuuga all. Need postid kaevatakse maasse 0,7 m sügavuselt. Nende alla asetatakse maa-alune tsenter, maapinnale posti ümber aga tehakse kupits.

Käigu jooned (küljed) mõõdetakse kaugusemõõtjaga, kusjuures latt asetatakse mainitud vaiadele ja alumine niit tavaliselt juhitakse lati ülemisele otsale. Kui joonte pikkus ületab 300 m, siis nende mõõtmist tuleb toimetada osade kaupa. Iga külje pikkust mõõdetakse otse ja vastu (edasi ja tagasi). Otse- ja vastumõõtmise vahe ei tohi ületada $^1/_{300}$ mõõdetava joone pikkusest.

Vigade kuhjumise vältimiseks on pikkade käikude juures kasulik kõigis joontes arvestada kaugusemõõtja konstanti C sõltumatult mõõtkavast.

Kui kaugusemõõtja koefitsient võrdub ühega, siis joonte horisontaalprojektsioon arvutatakse valemi järgi:

$$s = n \cos\alpha.$$

Kui arvestada kaugusemõõtja konstanti C, siis valem on selline:

$$s = n \cos^2\alpha + C \cos\alpha .$$

Kui koefitsient ei võrdu ühega, siis

$$s = kn \cos^2\alpha$$

või

$$s = kn \cos^2\alpha + C \cos\alpha.$$

Valemi $s = n \cos^2\alpha$ lahendamise võimaldamiseks Gaussi tabelite järgi on kasulik märkida järgmist ümberkujundamist:

$$n \cos^2\alpha = n \cdot {}^1/_2 (1 + \cos 2\alpha) = {}^1/_2 (n + n \cos 2\alpha) ;$$

$$s = {}^1/_2 (n + n \cos 2\alpha). \qquad (62)$$

§ 135. Horisontaalnurkade mõõtmine. Limbi orienteerimine.

Tahhümeetrilise mõõdistamise juures püütakse horisontaalnurkade mõõtmist sageli teostada niiviisi, et lugemid limbilt väljendaksid vastavate joonte asimuute. See saavutatakse sellega, et igas jaamas seatakse limb niisugusesse asendisse, et sellal, kui viseerimise telg on suunatud meridiaani mööda põhja, lugem limbilt esimese nooniuse järgi oleks null. Niisugust seadmist nimetatakse *limbi orienteerimiseks meridiaani järgi.*

Limbi orienteerimist meridiaani järgi teostatakse nii: limbi null seatakse ühte esimese nooniuse nulliga (indeksiga), selles asendis kinnitatakse alidaad limbiga ja limbi pööramisega taotellakse, et

bussooli magnetnõela põhjapoolne ots annaks lugemi null. Niisuguses asendis on limb orienteeritud meridiaani järgi, teda on vaja sellesse asendisse kinnitada ja mitte liigutada kogu töö ajal.

Mõnikord orienteeritakse limb tõelise meridiaani järgi. Ka sel juhtumil võib kasutada bussooli, kuid nõel tuleb seejuures seada mitte nullile, vaid deklinatsiooniga võrdsele lugemile, võttes arvesse deklinatsiooni märki (idapoolne või läänepoolne deklinatsioon). Orienteerimine saab täpsem, kui seda teha tuntud asimuudiga joone järgi. Sel juhtumil esimese nooniuse indeks ühtistatakse joone asimuudiga võrdse limbi lugemiga ning limbi pööramisega suunatakse pikksilm täpselt antud joont mööda, pärast mida limb kinnitatakse kogu edasise töö ajaks.

Tavaliselt on teada selle joone asimuut, millele käik alguses toetub (lähtejoon). Orienteerides limbi selle joone järgi saame järgmise joone asimuudi limbilt lugemi näol, pikksilma suunatud olles järgmisele punktile. Tähendab, teises jaamas me võime orienteerida limbi selle joone järgi, võttes aluseks tema vastuasimuudi jne.

Sageli orienteeritakse limb ka *eelmise* joone järgi, milleks, seades ühte esimese nooniuse nulli limbi nulliga, limbi pööramisega suunatakse pikksilm joonele ja selles asendis kinnitatakse limb. Sel juhtumil limbi lugemid esimese nooniuse järgi väljendavad *vasakpoolseid* nurki jaamas.

See või teine limbi orienteerimine omab suurt tähtsust detailide plaanilekandmisel; sel juhtumil, asetades malli diameetriga meridiaanile või üldiselt limbi orienteerimise joonele, me saame võimaluse malli kohalt liigutamata kanda plaanile korraga mitu suunda. See kergendab tunduvalt tööd.

Käigu enda nurgad mõõdetakse täieliku võttega.

Nurgad (parempoolsed) ise saadakse tavalisel viisil, s. t. kui lugemite vahed (lugem tagasi miinus lugem edasi).

§ 136. Kõrgusvahede määramine käigu punktide vahel.

Käigu punktide vaheliste kõrgusvahede määramiseks mõõdetakse käigu vertikaalnurgad Rp ja Rv juures, otse ja vastu. Vertikaalnurkade mõõtmise kontrolliks on nulli aseme muutumatus.

Vertikaalnurkade mõõtmisel juhitakse keskmine niit tavaliselt lati ülemisele otsale. Sel juhtumil kõrgusvahe arvutatakse valemi (18) järgi:

$$h = s \tan\alpha + i - l + r,$$

kus l on lati pikkus.

Siin saadakse horisontaalprojektsioon s tavaliselt valemi järgi:

$$s = n \cos^2 \alpha,$$

s. t. sõltub samast nurgast α. On ilmne, et ühtsuse jaoks on vaja nurga mõõtmine teostada horisontaalniidi sama asendi juures, mille juures mõõdeti kauguski, s. t. asendi juures, kui lati otsale on juhitud mitte keskmine niit, vaid alumine. Sel juhtumil keskmine niit võtab asendi lati otsast allapoole, äärmiste niitide järgi tehtud lugemi poole suuruse võrra, s. t. $^1/_2$ n võrra ning kõrgusvahe on vaja arvutada valemi järgi:

$$h = s \tan\alpha + i - l + {}^1/_2 n + r, \qquad (63)$$

kus n on lugem latilt meetrites, s. t. ülemise ja alumise niidi vaheline lati osa.

Valem (63) täpsustab kõrgusvahede arvutamist, kuid on vaja pöörata tähelepanu sellele, et teda tuleb kasutada ainult juhtumil, kui lugemid latilt ja lugemid vertikaalringilt sooritatakse niitristiku alumise niidi suunamisel lati ülemisele otsale.

§ 137. Käikude tasandamine horisontaaltasapinnas.

Nurkade tingimused ja nurgaliste sulgemisvigade suurused on kinniste tahhümeetriliste käikude jaoks samad mis teodoliitkäikude jaokski (s. t. I osa § 158, 159, 160):

$$W = \Sigma u - 180^\circ (n - 2);$$

$$W_{\text{äärmine}} = \pm 1',5 \sqrt{n}.$$

Samuti teostatakse ka nende jaotamine (§ 160).

Kui käik on rajatud kahe aluspunkti vahele, siis sulgemisvea valem on (samas, § 163).

$$W = \alpha_2 - \alpha_1 + \Sigma u - 180^\circ \cdot n,$$

$$W = \alpha_1 - \alpha_2 + \Sigma\lambda - 180^\circ \cdot n,$$

kus α_1 on lähtejoone asimuut ja α_2 — antud lõppjoone asimuut.

Aluse tihendamise otstarbel rajatavais tahhümeetrilistes käikudes arvutatakse nende punktide koordinaadid, kusjuures juurdekasvud arvutatakse kuni 0,1 m, koordinaadid aga kuni 1,0 m. Sulgemisviga juurdekasvudes ja perimeetris avaldatakse

a) Kinnise polügooni jaoks:

$$W_x = \Sigma \Delta x$$

$$W_y = \Sigma \Delta y$$

$$\Delta P = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

Äärmised vead perimeetris:

Käigu pikkuse 2—3 km juures $^1/_{400}$
" " 3—6 " " $^1/_{500}$
" " üle 6 km " $^1/_{600}$

b) Aluspunktide vahelise käigu jaoks:

$$W_x = \Sigma\Delta x - (X_n - X_o),$$
$$W_y = \Sigma\Delta y - (Y_n - Y_o),$$

kus X_0 ja Y_0 on lähtepunkti koordinaadid ja X_n, Y_n — lõpp-punkti koordinaadid.

Sulgemisviga perimeetris ja äärmine sulgemisviga perimeetris on samad mis kinnise käigu juureski.

§ 138. Kõrgusvahede tasandamine ja punktide kõrguste arvutamine.

Otse- ja vastukõrgusvahede äärmine vahe on kindlaks määratud 0,04 m iga 100 m pikkuse kohta.

Sulgemisviga kogu käigus määratakse tuntud valemite järgi:

a) Kinnise käigu jaoks:

$$W_h = \Sigma h.$$

b) Lahtise käigu jaoks:

$$W_h = \Sigma h - (H_n - H_0),$$

kus H_0 on lähtepunkti kõrgus ja H_n lõpp-punkti kõrgus. Äärmine sulgemisviga arvutatakse mõlemal juhtumil valemi järgi (instruktsioon mõõtkava 1 : 25 000 jaoks, § 66):

$$\Delta h = \pm K \sqrt{Ls}, \qquad (64)$$

kus L on käigu pikkus (kilomeetreis), s — käigu joone (külje) keskmine pikkus (kilomeetreis).

Koefitsiendile K antakse sõltuvalt kaldnurgast ja keskmisest küljepikkusest järgmised väärtused:

$\alpha < 5°$ ja s kuni 250 m juures — $K = 0{,}42$
$\alpha < 5°$ " s 300 kuni 350 m " — $K = 0{,}54$
$\alpha > 5°$ " s kuni 250 m " — $K = 0{,}60$
$\alpha > 5°$ " s 300 kuni 350 m " — $K = 0{,}75$.

Sulgemisvea lubatavuse korral jaotatakse ta vastupidise märgiga käigu kõigile külgedele võrdeliselt nende pikkustega.

Pärast kõrgusvahede tasandamist arvutatakse punktide kõrgused parandatud kõrgusvahede järk-järgulise liitmise teel eelmiste punktide kõrgustega, alates lähtepunktist. Kontrolliks on lõpp-punkti

kõrguse saamine (või kinnise polügooni juures — sama lähtepunkti kõrguse saamine).

§ 139. Detailide mõõdistamine.

Detailide mõõdistamine toimub igas jaamas täiesti samuti nagu mensuliga plaanistamisel.

Igas jaamas orienteeritakse limb ja kõigile kontuuride ja reljeefi karakteerseile punktidele saadetakse latid. Kaugused mõõdetakse lati ühelt küljelt, vertikaalnurgad — ringi ühe seisu juures (tavaliselt Rv juures). Nurkade mõõtmisel juhitakse keskmine niit instrumendi kõrguse märkele.

Detailide mõõdistamist teostatakse tavaliselt samaaegselt käigu rajamisega.

Võib soovitada järgmist mõõdistamise korda:

1. Instrument horisonteeritakse ja limb orienteeritakse Rp seisu juures *teise nooniusega.*
2. Rp seisu juures võetakse lugemid eelmisele jaamale — latilt, vertikaalringilt ja horisontaallimbilt.
3. Rv juures võetakse algul lugemid vertikaalringilt ja limbilt eelmisele jaamale, siis aga latilt, vertikaalringilt ja limbilt kõigile pikettidele ja lõpuks järgmisele jaamale.
4. Rp juures võetakse lugem vertikaalringilt järgmisele jaamale.

Kui selle meetodi juures kraadid alati lugeda esimeselt nooniuselt, siis eelmisele jaamale tehtud lugem Rp juures peab võrduma eelmises jaamas käesolevale jaamale tehtud lugemiga Rv juures, mis võib olla limbi õige orienteerimise kontrolliks.

§ 140. Tahhümeetrilise mõõdistamise väliraamat. Mõõtmik ja krokii.

Tahhümeetrilise mõõdistamise teostamisel peetakse väliraamatut, mis koosneb mõõtmikust ja krokiist. Mõõtmikku kantakse sisse kõik mõõteandmed. Üks mõõtmiku eeskujusid on näidatud lisas 7, kus on toodud ainult välised sissekanded. Läbitöötamiseks on seda vaja täiendada lahtritega: a) NA (nulli ase), b) α (kaldnurk), c) s (joonte horisontaalprojektsioon), d) h_1 (kõrgusvahe), e) h keskmine (otse- ja vastukõrgusvahest), f) H (jaamade ja pikettide kõrgused).

Näidisandmed on saadud järgmistel tingimustel:

1. Limb orienteeriti igas jaamas bussooli järgi, arvestades deklinatsiooni, s. t. tõelise asimuudi järgi.

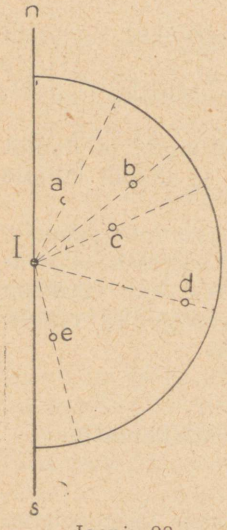
2. Kaugusemõõtja koefitsient = 1.

3. Vertikaalringilt jaamast jaamale lugemiseks juhiti keskmine niit lati ülemisele otsale. Lati pikkus on 4 m.

4. Pikettidele vertikaalringilt võetud lugemite ajal oli keskmine niit juhitud latil instrumendi kõrgusel olevale märkele.

Üheaegselt mõõtmiku sissekannetega peab maastikul peetama abrissi, mida tahhümeetrilise mõõdistamise juures nimetatakse „krokiiks".

Krokii iseärasus seisneb selles, et peale kontuuride joonestatakse peahorisontaalide abil maastiku reljeef. Seejuures mäekriipsudega on vaja ära näidata nõlvade suunad, nõvajooned ja veelahkmed. Kõik see peab maastikul tehtama selgesti ja hoolikalt, sest et tahhümeetrilise mõõdistamise järgi plaani koostamisel ei ole silmade ees maastikku, vaid seda peab asendama krokii.



Joonis 93.

Lisas 7 on toodud krokii, kohaldatult antud mõõtmikule. Selles on reljeef kujutatud ainult mäekriipsudega ja nõvajoone suunaga. Kontuure ei ole üldse näidatud.

§ 141. Detailide kandmine plaanile.

Pikettide kandmiseks plaanile on mõõtmikus olemas nendele pikettidele kulgevate suundade valmis asimuudid. Läbi jaama tõmmatakse meridiaan ns (joonis 93), sellega ühtistatakse malli nulldiameeter ja malli kaart mööda torgitakse pikettide suundadele vastavad punktid. Siis ühendatakse need punktid jaamaga sirgjoontega, milledele mõõtkava järgi sirkliga kantakse piketid a, b, c jne. Siis ühendatakse piketid vastavalt krokiile kontuurideks või nende kõrguste järgi tõmmatakse horisontaalid.

§ 142. Maršruut- ja lausamõõdistus.

Kui tahhümeetrilist mõõdistamist tehakse ribana, varem märgitud suunda mööda, siis seda nimetatakse maršruutmõõdistamiseks. Nii näiteks toimetatakse mõõdistamist raudteede sihiajamisel (eeluuri-

misel), kusjuures tahhümeetriline põhikäik rajatakse tulevase tee telje lõplikule suunale enam-vähem lähedale, latipunktid aga võetakse niisuguse arvestusega, et lõplik joon tingimata mahuks äärmiste punktide vahele.

Kui mõõdistamisele kuulub igasse külge ligikaudu ühesuguselt ulatuv massiiv, siis nimetatakse mõõdistamist lausamõõdistamiseks. Sellised on näiteks mõõdistamised mingisuguse nõvajoone vesikonna pindala määramiseks. Sel juhtumil võib kasutada ringkäigu meetodit, rajades käigu veelahkme jooni mööda, mille tulemusena kogu vesikonna pindala piirdub ühe kinnise polügooniga. Põhikäigu võib rajada ka nõvajoont mööda ja kogu pindala mõõdistamiseks rajada sellest igasse külge rippuvad põhikäigud.

§ 143. Tahhümeetrilise mõõdistamise rakendamine, selle mõõdistamise suhtelised paremused ja puudused.

Eriti suurt rakendamist leiab tahhümeetriline mõõdistamine mitmesuguste eeluurimistööde (melioratiivsete, raudteede, hüdrotehniliste jne.) juures.

Maakorraldustööde juures võib tahhümeetrilist mõõdistamist kasutada neil juhtumeil, kui maastikuliste tingimuste tõttu aluse tihendamist mensulilise plaanistamise jaoks ei ole võimalik teostada geomeetrilise võrgu rajamise tavaliste meetoditega. See on alati nii metsasel maastikul, kus mõnikord ei ole võimalik rajada ka lühikesi mensulikäike. Sel juhtumil mensuli põhikäigud asendatakse tahhümeetriliste käikudega, millede pikkusi lubatakse kuni 20 km mõõtkava 1 : 50 000 juures ja kuni 10 km mõõtkava 1 : 25 000 juures. Üheaegselt käikude rajamisega võib toimetada ka detailide mõõdistamist, mis hiljem peale kantakse planšetile.

Üldiselt aga on tahhümeetrilist mõõdistamist alati ratsionaalne teostada neil juhtumeil, kui mõõdistamisele kuulub mõõdetelt väike pindala. Niisugusel korral mensuliga plaanistamise puudus, võrreldes tahhümeetrilise mõõdistamisega, seisneb selles, et ettevalmistavad tööd (paberi kleepimine, kuivatamine) mõnikord võtavad rohkem aega kui mõõdistamine ise.

Tahhümeetrilise mõõdistamise suureks paremuseks on see, et tema järgi võib plaani valmistada mistahes mõõtkavas ja mistahes ajal võib plaani uuesti koostada.

Siiski tahhümeetrilise mõõdistamise suureks puuduseks on see, et plaani koostamisel kontuurid ja reljeef joonestatakse ilma maastiku otsese silmitsemiseta. Selle tagajärjel tuleb mõõdistamisel võtta tunduvalt suurem arv mõõdistatavaid punkte.

Baromeetriline nivellimine ja silmamõõduline mõõdistamine.

XII peatükk.

BAROMEETRILISE NIVELLIMISE ALUSED JA INSTRUMENDID.

§ 144. Baromeetrilise nivellimise idee.

Füüsikast on teada, et mida kõrgemale me tõuseme üle maapinna, seda väiksemaks muutub õhurõhk. Teisiti võib seda väljendada nii: mida väiksem on õhurõhk, seda suurem on maastiku kõrgus. Tähendab, mingis punktis saab õhurõhu järgi otsustada selle punkti kõrguse üle. Õhurõhku saab teatavasti mõõta baromeetriga. Kui aga mõõta õhurõhku samaaegselt kahes punktis, siis nende tulemuste järgi võib välja arvutada, kui palju on üks punkt teisest kõrgemal, s. t. nende kõrgusvahe.

Kahe punkti vahelise kõrgusvahe arvutamiseks nendes punktides mõõdetud õhurõhu järgi on olemas järgmine niinimetatud täielik valem, mis põhiliselt on tuletatud Laplace'i (prantsuse matemaatik ja astronoom, 1749—1827) poolt:

$$h = 18400 \log \frac{B_1}{B_2} (1 + 0{,}003665\, t)\ (1 + 0{,}377 \frac{e}{p})$$

$$(1 + 0{,}00265 \cos 2\varphi)\ (1 + \frac{2H}{R}). \qquad (65)$$

Tähed omavad siin järgmisi tähendusi: B_1 ja B_2 on elavhõbeda samba millimeetrites avaldatud õhurõhk kahes nivellitavas punktis; t on keskmine õhutemperatuur õhurõhu mõõtmise momendil; e — õhu keskmine niiskus kummaski punktis (keskmine veeaurude rõhk), p on keskmine õhurõhk punktides $= {}^1/_2 (B_1 + B_2)$; φ — keskmine punktide laius, H — punktide keskmine kõrgus üle merepinna; R — Maakera raadius = 6 370 000 m.

§ 145. Baromeetrilise nivellimise praktilised valemid.

Selleks, et kõrgusvahesid arvutada täieliku valemi järgi, on vaja peale õhurõhu veel mõõta õhuniiskust, teada punktide kõrgusi üle merepinna. Kõik see muudab vaatlused kogukaks, sellal kui valemi kolm viimast korrutajat omavad peaaegu muutumatut suurust kaunis suurte rajoonide jaoks. Seepärast praktikas toimitakse nii: kogu rajooni jaoks võetakse suuruste e ja p jaoks mitme aasta keskmine väärtus, samuti ka laiuse ja kõrguse keskmised väärtused selle rajooni jaoks ja asetatakse need täielikku valemisse, milletõttu viimane tunduvalt lihtsustub. Nii võttis NSVL territooriumi jaoks Pevtsov järgmised keskmised väärtused:

$$e = 9{,}0 \text{ mm},$$
$$p = 740{,}0 \text{ mm},$$
$$\varphi = 55°,$$
$$H = 250 \text{ m}.$$

Pärast nende väärtuste asetamist täielikku valemisse saadakse järgmine lihtsam valem (baromeetrilise nivellimise lühendatud valem):

$$h = 18\,470 \cdot \log\frac{B_1}{B_2} \cdot (1 + 003665\ t). \qquad (66)$$

Selle valemi kasutamiseks on vaja punktides, mille vahel määratakse kõrgusvahet, mõõta õhurõhk ja temperatuur.

Sellised valemid on olemas ka teiste rajoonide jaoks, näiteks kogu Kesk-Euroopa jaoks, eraldi Moskva rajooni jaoks jne.

§ 146. Ligikaudsete kõrguste meetod. Tabelid.

Olgugi et valem (66) omab võrdlemisi lihtsat kuju, siiski praktikas seda otseselt ei kasutata, vaid rakendatakse selle valemi järgi arvutatud tabeleid, milledest üheks liigiks on ligikaudsete kõrguste tabelid. Nende tabelite arvutamisel võetakse esimeseks punktiks merepind, seepärast arvutatud kõrgusvahe peab väljendama teise punkti absoluutset kõrgust.

Õhurõhku ja temperatuuri merepinnal mõõta samaaegselt nende mõõtmisega antud punktil ei ole muidugi võimalik. Kõrguste arvutamise jaoks eeldatakse, et õhurõhk merepinnal on alati üks ja sama, nimelt 762 mm (keskmine Euroopa jaoks), temperatuur eeldatakse olevat sama mis antud punktilgi. Kui selliste andmetega arvutada absoluutne kõrgus, siis see muidugi sisaldab mõningat võib-olla

väga suurt viga, sest õhurõhk ja temperatuur merepinnal võis olla vaatluse momendil hoopiski mitte see, mida me eeldasime (seepärast neid kõrgusi nimetataksegi ligikaudseiks). Kuid kui me teeme vaatlusi samaaegselt kahes punktis, siis oleme õigustatud mõlemas punktis eeldama ühesugust viga, sest vaatluste tingimused olid samad. Nende punktide vaheline kõrgusvahe, mis võrdub kõrguste vahega, ei sisalda aga seda viga, sest tuntud aritmeetilise reegli kohaselt vahe ei muutu vähendatava ja lahutatava vähendamisest või suurendamisest ühe ja sama arvu võrra. Nii saame kõrgusvahe jaoks lihtsa valemi:

$$h = H_2 - H_1, \tag{67}$$

kus H_1 ja H_2 on ligikaudsed kõrgused.

Erinevate õhurõhkude jaoks arvutatakse ligikaudsed kõrgused varakult, kusjuures neid võib arvutada ka mitmesuguste temperatuuride jaoks (Jordani tabelid). Meil olelevad ligikaudsete kõrguste tabelid, mis on koostatud ühe temperatuuri jaoks, kas 15° (Bik'i, Tšebotarevi tabelid) või 0° (Pevtsovi tabelid) jaoks. On ilmne, et viimast tüüpi tabelite resultaate on vaja parandada temperatuuri pärast, sest et temperatuur nivellitavatel punktidel erineb üldreeglina 15° või 0°. Need parandused arvutatakse valemi

$$\Delta_t = 0{,}00348\, h\, (t - 15^\circ)$$

järgi (15° jaoks koostatud tabelite juures). Siin $h = H_2 - H_1$, $t = {}^1/_2 (t_1 + t_2)$ (keskmine õhutemperatuur vaadeldavais punktides).

Paranduste arvutamiseks mainitud valemi järgi on ka koostatud eri tabelid.

Lisas 8 on toodud ligikaudsete kõrguste lühikesed tabelid õhurõhu jaoks iga 10 mm tagant. Vahepealsete õhurõhkude jaoks saadakse ligikaudsed kõrgused interpoleerimisega, milleks kõrvuti on asetatud „võrdelised osad" (P. P.).

§ 147. Baromeetriliste kõrgusastmete meetod. Tabelid.

Kahe punkti vahelist kõrgusvahet võiks arvutada ka, kui oleks teada, mitme meetri võrra tõuseb maastik õhurõhu langemisega 1 mm võrra.

Kui näiteks baromeeter langeb 1 mm võrra tõusu juures kõrgusele Δh, siis kogu kõrgusvahe õhurõhuga B_1 ja B_2 punktide vahel avaldub ilmselt nii:

$$h = \Delta h\, (B_1 - B_2). \tag{68}$$

Suurusi Δh nimetatakse baromeetrilisiks kõrgusastmeiks. Nad sõltuvad õhurõhust ja temperatuurist. Ka nende jaoks on koostatud erilised tabelid, millede näidiseks võib olla lisas 9 toodud tabel. Astmed tuleb valida keskmise õhurõhu ja keskmise temperatuuri järgi punktides.

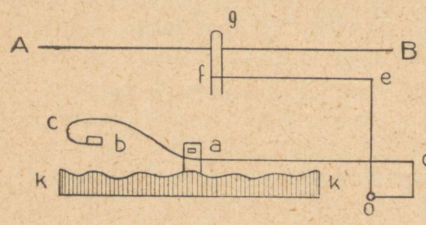
§ 148. Elavhõbebaromeeter.

Õhurõhu mõõtmist täpsemini teostatakse elavhõbebaromeetritega, millede ehituse alused on teada füüsikast. Seejuures peetakse silmas nullile taandatud baromeetri näitamisi, s. t. seda elavhõbeda samba kõrgust, mida ta omaks temperatuuri 0° C juures. Nullile taandamiseks parandatakse lugemeid sõltuvalt baromeetri enda temperatuurist.

Elavhõbebaromeetrite kogukuse ja suure kaalu tõttu kasutatakse neid nivellimiseks harva. Nende asemel kasutatakse aneroide, mis on elavhõbebaromeetreist tunduvalt portatiivsemad ja kergemad.

§ 149. Aneroidbaromeeter.

Aneroidbaromeeter kujutab endast seest tühja metallist õhukeseseinalist karpi, kust õhk on välja pumbatud. Aneroidbaromeetri tegevus põhjeneb sellel, et õhurõhu suurenemisel karp surutakse kokku, paindub allapoole, õhurõhu vähenemisel laieneb. Karbi ülemine sein tehakse lainekujuline (gofreeritud), mis annab sellele suure liikuvuse.

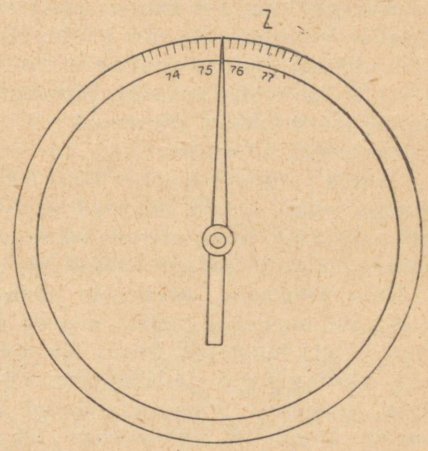


Joonis 94.

Karbi ülemisele seinale kk on kinnitatud pide a, mis toetub painutatud vedrule cd (joonis 94). Vedru üks ots on liikumatult kinnitatud punktis b, teine aga on ühendatud kõvera kangiga d o e, mis pöördub telje o ümber. Kangi ots e on kinnitatud poolile keritud keti otsaga. Pooli peale on asetatud osuti AB. Sel viisil karbi lainekujulise ülemise seina tõusud ja alanemised kujundatakse ümber pooli g pöördliikumiseks ja siirdakse osutile.

Osuti ots liigub numbrilaua z skaalat mööda (joonis 95). Kriipsudevahelised jaotused tehakse võrdsed ja iga jaotus vastab õhurõhu muutumisele 0,5—2 mm võrra (õhurõhu 760 mm juures). Need jaotused kantakse empiiriliselt elavhõbebaromeetri näitamiste järgi.

Kirjeldatud aneroidi skeem kuulub Naudet' aneroididele. Teisel, Goldschmidti tüübil on põhiliselt sama ehitus, erinedes ainult selle poolest, et lainelise pinna kõikumised siirdakse mitte osutile, vaid erilisele indeksile, mille järgi otsustataksegi õhurõhu suuruse üle.



Joonis 95.

Numbrilaua mõõdete järgi on aneroidid suured ehk täpsed (numbrilaua läbimõõt mitte alla 12 cm) ja väikesed ehk taskuaneroidid (läbimõõduga 5—6 cm). Suurte aneroidide juures skaalad jagatakse poolmillimeetreiks ja mõnikord isegi millimeetri kümnendikeks osadeks. Väikestel aneroididel jagatakse skaala iga 2 mm õhurõhu tagant.

Taskuaneroidid varustatakse peaaegu alati veel kõrguste skaalaga. Kõrguste skaala tehakse liikuv, seetõttu saab tema mistahes kriipsu ühte seada aneroidi osutiga.

§ 150. Aneroidbaromeetri parandused.

Et aneroidbaromeetri järgi saada tõelist õhurõhku, s. t. sellist, mille oleks andnud nullile taandatud elavhõbebaromeeter, on vaja, nagu selgub, aneroidi lugemitele anda rida parandusi.

Esimest parandust nimetatakse aneroidbaromeetri enda temperatuurist (sisetemperatuurist) tingitud paranduseks. Mainitud paranduse vajadus tekib sellest, et pärast õhu väljapumpamist karpi jääv õhk muudab temperatuuri muutumisega ka vetruvust (elastsust) ja järelikult baromeetri näitamistes saadakse mõnesugune viga.

Aneroidbaromeetri sisetemperatuuri mõõtmiseks peab baromeeter tingimata olema varustatud baromeetri termomeetriga. Paranduse arvutamiseks on vaja teada temperatuuri koefitsienti, mida tavali-

selt märgitakse tähega b. Parandus saadakse selle koefitsiendi korrutamisel baromeetri sisetemperatuuriga.

Teist parandust nimetatakse skaalaparanduseks. Kriipsude vahe skaalal, nagu ülalpool on mainitud, tehakse üle kogu skaala võrdse suurusega, kuna see suurus aga määratakse elavhõbebaromeetri näitamiste võrdlemisega ainult õhurõhu juures 760 mm lähedal. Teiste õhurõhkude juures peavad metallide elastsuse seaduste kohaselt lainetaolise pinna ja vedru jõupingutused ühe ning sama rõhu vahemiku jaoks olema suuremad või väiksemad ja seega lugemid ei näita tõelist õhurõhku.

Skaala parandus tehakse õhurõhkude vahe järgi, — õhurõhk, mille juures jagati skaala, miinus lugem baromeetri järgi. Selle arvutamiseks on vaja teada *skaala paranduse koefitsienti*, mille korrutamisest nimetatud vahega saadaksegi parandus.

Kui baromeetri lugemitele anda mõlemad mainitud parandused, siis peab saadama lugem, mis on võrdne 0-le taandatud elavhõbebaromeetri lugemiga. Siiski iga aneroidbaromeeter annab aja jooksul mitmesuguste välistegurite mõjutuste tõttu teissuguseid näitamisi, seepärast tema parandatud lugemid ei võrdu elavhõbebaromeetri taandatud näitamisega. Parandust, mida on selle tagajärjel vaja anda aneroidbaromeetrile, nimetatakse baromeetri seisust tingitud paranduseks. Mõnikord nimetatakse seda aneroidbaromeetri alaliseks paranduseks ehk lisaparanduseks.

Märgime aneroidbaromeetri järgi tehtud lugemi tähega A, elavhõbebaromeetri vastava taandatud näitamise aga tähega B. Esitatu põhjal saadakse viimane järgmise valemi kohaselt:

$$B = A + a + bt + c(760 - A), \qquad (69)$$

kus a on baromeetri seisust tingitud parandus, b — temperatuuri koefitsient, c — skaala paranduse koefitsient, t — baromeetri sisetemperatuur.

Suurused a, b ja c saadakse baromeetrite uurimise tagajärjel geofüüsilistes observatooriumides. Pärast niisuguseid uurimisi kirjutatakse iga baromeetri jaoks baromeetri atestaat, kuhu märgitaksegi kõik mainitud suurustele leitud väärtused.

§ 151. Ajast tingitud parandus. Töötamine ühe ja kahe aneroidbaromeetriga.

Baromeetrilise nivellimise valem on tuletatud eeldusel, et vaatlused mõlemas nivellitavas punktis on sooritatud üheaegselt. On teada, et õhurõhk ühes ja samas kohas aja jooksul muutub. Kui

kahel punktil tehti vaatlused eri ajal, siis õhurõhu erinevus nendes on võimalik mitte ainult kõrguse muutumise põhjusel, vaid ka õhurõhu muutumise tõttu vaatluste vahelise ajavahemiku jooksul.

Kui nivellimist teostatakse ühe aneroidbaromeetriga, siis selleks, et arvestada seda õhurõhu muutumist, on vaja lähtepunktis teha kaks vaatlust, üks töö alguses, teine aga lõpus, pärast vaatlusi kõigil kavatsetud punktidel. Kui elavhõbebaromeetrile taandatud alg- ja lõpprõhu vahel lähtepunktis saadakse mõnesugune vahe f, siis kõigile taandatud õhurõhkudele on vaja anda parandused, mida nimetatakse ajast tingitud parandusteks. Need parandused võetakse võrdelisteks vaatlustevahelise ajaga. Seepärast üheaegselt aneroidi lugemisega on vaja võtta lugemid ka ajanäitajalt.

Nimetame elavhõbebaromeetrile taandatud õhurõhud lähtepunktis töö algul B_1 ja töö lõpul B_n, vastavad lugemid ajanäitajalt v_1 ja v_n. Tähendab, õhurõhk ajavahemikus $v_n - v_1 = b$ muutus suuruse $B_n - B_1 = f$ võrra. Olgu mingil punktil elavhõbebaromeetrile taandatud õhurõhk B ja aeg v. On ilmne, et õhurõhule B on vaja anda parandus i tingitud ajast $v - v_1 = b_1$. Selle jaoks esiteks leiame õhurõhu muutumise aja ühikule. See on ilmselt f : b. Nüüd on hõlpus leida ka parandus i, mis ilmselt on:

$$i = \frac{-f}{b} \cdot b_1 . \qquad (70)$$

Olgu näiteks lähtepunktil töö alguses saadud taandatud õhurõhk 749,5 mm, lõpus 747,7 mm, vastavad lugemid ajanäitajalt olgu kell $8^t\ 00^m$ ja $12^t\ 20^m$. Nende andmete järgi leiame: $f = (747{,}7 - 749{,}5) = -1{,}8$, $b = (12{,}3 - 8{,}0) = 4{,}3$ tundi. Oletame, et mingisugust punkti vaadeldi kell $9^t\ 30^m$ ja tema jaoks saadi taandatud õhurõhk 734,8 mm. Sellele õhurõhule on vaja anda parandus aja $9{,}5 - 8{,}0 = 1{,}5$ pärast, mille saame:

$$i = \frac{+1{,}8}{4{,}3} \cdot 1{,}5 = +0{,}63 \text{ mm}.$$

Ajast tingitud paranduse tegemisel oletatakse, et kogu nivellimise aja jooksul õhurõhk muutub ühtlaselt ühes suunas. See oletus on täiesti suvaline ja ilmselt on ta seda lähem tegelikkusele, mida vähem aega möödus lähtepunktis tehtud alg- ja lõppvaatluste vahel. Seepärast, kui töö nõuab palju aega, on see vaja jagada üksikuiks, lühikese aja peale arvatud kinnisteks käikudeks („kinnisteks" tehtud kahekordse vaatlusega lähtepunktis). Igatahes ei või käiku alustada hommikul ja lõpetada õhtul, sellepärast et päeva jooksul õhurõhu muutumine muudab oma märgi (kord langeb, kord tõuseb).

Õhurõhu üleminek suurenemisest vähenemisele toimub suvel kella 10 ümber hommikul ja kella 10 ümber õhtul. Seepärast päeva jooksul on vaja teha vähemalt 2 suletud käiku: üks — esimese 4 tunni jooksul peale päikese tõusu ja teine — viimase 4 tunni jooksul enne päikese loojangut.

Tööd ei tule teha enam-vähem tugevate tuulte, vihmavalangute, äikese, udu ja suitsu ajal.

Täpsemaid resultaate võib saada töötades kahe aneroidbaromeetriga, milledest ühega mõõdetakse õhurõhku ühes algpunktis süstemaatiliselt kindla ajavahemiku, näiteks 15 minuti tagant. Sel ajal teise aneroidbaromeetriga käiakse läbi kõik nivellitavad punktid, märkides ära ka vaatluse aja. Esimest aneroidbaromeetrit nimetatakse statsionaarseks, teist töö- ehk välibaromeetriks. On ilmne, et siis iga välisvaatluse jaoks võib valida ajalt vastava statsionaarse aneroidbaromeetri näitamise ja nende järgi määrata kõrgusvahe. Igal juhtumil, kui siis parandust ongi vaja arvesse võtta, siis küll ainult väikese ajavahemiku pärast. Niisugust meetodit nimetatakse vastavate vaatluste meetodiks.

§ 152. Termomeeter õhutemperatuuri mõõtmiseks.

Õhutemperatuuri mõõtmiseks baromeetrilise nivellimise juures kasutatakse keerutatavat termomeetrit. Jaotused on temale kantud 0°,5 tagant. Ülemises otsas on sellel termomeetril rõngas, mille külge köidetakse umbes 0,75 m pikkune nöör.

Enne lugemi võtmist keerutatakse seda termomeetrit õhus nööri otsas 2—3 minuti vältel, mille tõttu termomeeter omandab ümbritseva õhu temperatuuri. Pärast esimest niisugust lugemist keerutatakse termomeetrit veel umbes minut aega kontroll-lugemi tegemiseks, mis ei tohi esimesest lugemist erineda üle $\pm$ 0°,2.

Õhutemperatuuri tuleb mõõta võimaluse korral varjus.

§ 153. Aneroidbaromeetri käsitsemine.

Töö juures on vaja aneroidbaromeetrit käidelda võimalikult ettevaatlikult, et hoida nii baromeetrit ennast kui ka tema sätteid. On vaja säästa baromeetrit tõukeist, tugevaist kõikumistest. Edasimineku tuleb baromeetrit kanda tihedas karbis ja hoida rihmaga üle õla. Sõidu ajal ei või baromeetrit mingil juhtumil panna veoki põhjale. Neil juhtumeil on baromeetrit kõige parem hoida käes.

XIII peatükk.

BAROMEETRILISE NIVELLIMISE TEOSTAMINE.

§ 154. Lugemite tegemine.

Lugem aneroidbaromeetrilt tuleb teha mõninga aja möödumisel punktile saabumisest, et baromeetrile anda võimalust täielikuks õhurõhu omandamiseks. 3—5 minuti pärast peale esimest lugemist tuleb veenduda, et baromeetri näitamine ei ole muutunud.

Lugemise ajal hoitakse baromeeter maapinnast kõrgemal. Kõige parem on teda hoida rinna kõrgusel ja seejuures horisontaalses asendis.

Enne lugemist on vaja kergelt koputada baromeetri klaasile. Põrutuse tagajärjel ületavad baromeetri osad kergemini hõõrumise.

Lugemised on vaja teha tingimata vilus.

Lugemise ajal on vaja vaadata täpselt osuti suunas, et vältida parallaksi mõju. Lugemine tehakse täpsusega kuni 0,1 mm.

Lugemid termomeetreilt — baromeetri enda ja õhu temperatuuri saamiseks — on vaja teha täpsusega kuni 0°,2.

§ 155. Vaatluste kord. Väliraamat.

Baromeetrilisel nivellimisel soovitatakse niisugust vaatluste korda:

1. Õhutemperatuuri mõõtmine.
2. Baromeetri sisetemperatuuri mõõtmine.
3. Lugemine baromeetri osuti järgi.
4. Lugemine ajanäitaja osuti järgi.

Pärast seda olnuks vaja mõõta baromeetri kõrgus üle maapinna, kuid ühe ja sama vaatleja jaoks esineb see muutumatu suurusena, seepärast seda igas punktis ei ole vaja üles kirjutada. Kõrguse järsu muutumise korral tuleb ta mõõta ja üles kirjutada.

Vaatlustel peetakse väliraamatut, mille näitlik vorm ühe baromeetriga nivellimiseks on toodud lisas 10.

Selles väliraamatus on toodud lahtrid baromeetri näitamiste elavhõbebaromeetrile taandamisest tingitud paranduste jaoks, samuti ka ajast tingitud paranduste jaoks. Kõigi paranduste arvestamise tulemusena saadakse lõplik õhurõhk B_0.

Kõigi paranduste arvutamine on küllaldaselt selgitatud ülalpool. Nende arvutamist toodud näite jaoks toimetagu õpilased ise.

§ 156. Baromeetrilise nivellimise andmete läbitöötamine.

Baromeetrilise nivellimise andmete läbitöötamine seisneb punktidevaheliste kõrgusvahede ja punktide kõrguste arvutamises.

Nivellimisel võetakse punktide hulka tavaliselt 1—2 reeperit, milledelt kõrgus tasandatud kõrgusvahedega siirdakse kõigile punktidele. Kui punktide hulgas reeperit ei ole, siis punktidest ühe jaoks võetakse relatiivne kõrgus.

Läbitöötamine ligikaudsete kõrguste meetodil võib toimuda niisuguse skeemi kohaselt

B_0	H	$h = (H_2 - H_1)$	$T = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$	Temperatuurist tingitud parandused		h parandatud	Kõrgused
				arvutatud	parandatud		

Temperatuurist tingitud parandused tuleb anda sama märgiga, mis on kõrgusvahedelgi, kui õhutemperatuur on üle 15° (parandustega suurendatakse kõrgusvahede absoluutseid suurusi). Kui aga õhutemperatuur on alla 15°, siis parandused tuleb võtta kõrgusvahedele vastupidise märgiga (sel juhtumil parandustega vähendatakse kõrgusvahede absoluutseid suurusi).

Et kõrgusvahed siin arvutatakse kõrguste järgi, siis nende summa kinnises polügoonis saadakse tingimata võrdne nulliga. Et see summa ei muutuks pärast temperatuuri paranduse andmist, on vajalik, et paranduste summa võrduks samuti nulliga. Tegelikult viimaste summa nulliga ei võrdu, sest saadakse mõnesugune sulgemisviga (paranduste summa ilmselt ongi sulgemisveaks). Niisiis temperatuurist tingitud parandused on vaja kooskõlastada (tasandada), milleks nendele omakorda tuleb anda võrdsed parandused, vastu-

pidise märgiga sulgemisveale. Liites selliselt kooskõlastatud parandused kõrgusvahedega saame parandatud kõrgusvahed, nende järgi aga kõigi punktide kõrgused.

Baromeetriliste kõrgusastmete meetodi järgi andmete läbitöötamist võib toimetada niisuguse skeemi kohaselt:

B_0	$^1/_2 (B_1 + B_2)$	$T = {}^1/_2 (t_1 + t_2)$	Δ_h	$B_1 - B_2$	$h = \Delta h (B_1 - B_2)$	h parandatud	Kõrgused.

Siin saadakse kõrgusvahed valemi (68) järgi, siis aga need kooskõlastatakse (kui kinnine polügoon või kui käik antud punktide vahel).

§ 157. Nivellimine kõrgusskaalalise aneroidbaromeetriga.

Kui baromeetril on kõrguste skaala, siis kahe punkti vahelise kõrgusvahe võib saada ilma igasuguste tabeliteta.

Esimesel punktil vaatlusi tehes ühtistatakse sel juhtumil skaala nullbaromeetri osutiga. Kui baromeetriga siirdutakse teise punkti, siis baromeetri osuti eemaldub skaala nullilt ja annab punktide vahelise kõrgusvahega võrdse lugemi. See lugem üles kirjutatud, on edasiseks nivellimiseks vaja kõrguste skaala null uuesti ühte seada osutiga. Järgmises punktis jälle loetakse kõrgusvahe jne.

§ 158. Baromeetrilise nivellimise täpsus.

Baromeetrilise nivellimise täpsus ei ole suur. Viga aneroidiga kõrguse määramises tõuseb 4—6 m.

Erakordselt väärtuslikuks baromeetrilise nivellimise omaduseks on selle kiirus ja hõlpsus. Seepärast kõigil juhtumeil, kus ei nõuta erilist täpsust — selliseid juhtumeid aga ei esine praktikas harva, eriti mitmesuguste rekognostseerivate eeluurimiste juures — on baromeetriline nivellimine asendamatu.

XIV peatükk.

SILMAMÕÕDULINE MÕÕDISTAMINE.

§ 159. Silmamõõdulise mõõdistamise ülesanded. Temale esitatavad nõuded.

Silmamõõduliseks nimetatakse niisugust mõõdistamist, mille juures maastiku plaan saadakse kõige lihtsamate, vähimat ajakulu nõudvate mõõtmiste abil. Teda rakendatakse kõigil juhtumeil, kus ei nõuta suurt täpsust, nagu näiteks ühendusteede ettevalmistavate eelvaatluste juures, ligikaudsete otsuste tegemiseks maastiku ja suuna valiku üle, ekspeditsioonide juures väheuuritud maades jne. Peaasjalikult aga kasutatakse silmamõõdulist mõõdistamist sõjaasjanduses.

Silmamõõdulisele mõõdistamisele esitatavad peanõuded on: kiirus, selgus ja kujukus.

Kiirust saavutatakse sellega, et joonte ja nurkade mõõtmisi teostatakse lihtsaimate võtete abil. Reljeef kujutatakse silma järgi tõmmatud horisontaalidega või mäekriipsudega. Põhipunktide kõrguste määramiseks kasutatakse baromeetrit.

Selgus ja kujukus saavutatakse kõige näitlikumate ja arusaadavamate tingmärkide kasutamisega, samuti ka niisuguste maastiku iseärasuste esiletõstmisega, mis omavad suurimat tähtsust ülesseatud eesmärgi vaatepunktist. Reljeef kujutatakse lõplikult kriipsutamisega, sest sellega saavutatakse suurimat kujukust.

Silmamõõdulist mõõdistamist võib hästi teostada ainult mõõdistaja, kes on küllaldaselt vilunud kõigis mõõdistustööde liikides, kellel on välja kujunenud oskus haarata reljeefi ja kontuuride kõige iseloomustavamaid jooni ja kellel on vilumust küllaldaselt õigesti hinnata kaugusi ning nurki silma järgi.

§ 160. Pikkuste mõõtmine. Sammude mõõtkava.

Silmamõõdulise mõõdistamise juures mõõdetakse pikkused peamiselt sammudega. Pikkusi võib mõõta ka selle kauguse läbisõitmiseks või -käimiseks vajaliku ajaga, hääle järgi või lõppeks lihtsalt silmamõõduliselt.

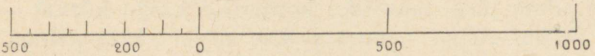
Sammude lugemist mõõdistamise juures tehakse tavaliselt paariviisi, s. t. ühe jala järgi. Mõnikord tarvitatakse selleks otstarbeks sammulugejaid (pedomeetreid), mis valmistatakse taskukella kujuliselt ja riputatakse vabalt nööbi külge. Iga sammu juures sammulugeja mehhanism liigutab põrutuse mõjul edasi osutit, mis märgibki ära sammude arvu. On ilmne, et läbikäidud sammude arv võrdub joone lõpus ja alguses sammulugejalt tehtud lugemite vahega. Kaugused võetakse sammude mõõtkavalt. Sammude mõõtkava konstrueerimiseks tuleb ettevalmistavalt määrata omaenda sammu keskmine pikkus, milleks sammudega mitu korda mõõdetakse mingeid tuntud kaugusi, näiteks 100 m. Oletame, et 100 m peale saadakse keskmiselt 116 sammu. Tähendab, sammu pikkus on $100 : 116 = 0{,}86$ m. Kui nüüd mõõtkava aluseks võtta 2 cm, siis sõltuvalt plaani mõõtkavast on hõlpus arvutada, mitmele sammule maastikul vastab see alus. Kui plaani mõõtkava näiteks on 1 : 20 000, siis 2 cm vastab 400 meetrile ehk $400 : 0{,}86 = 465$ sammule. Ilmselt on aluseks parem võtta suurus, milles oleks täpselt 500 sammu. Selle suuruse arvutamiseks koostame võrde:

2 cm — 465 sammu
x — 500 „ ,

kust:

$$x = (500 \cdot 2) : 465 = 2{,}15 \text{ cm}.$$

Võttes aluseks 2,15 cm on hõlpus konstrueerida jooneline mõõtkava (joonis 96).



Joonis 96.

§ 161. Suundade määramine. Kompass. Mõõt-joonlaud.

Silmamõõdulist mõõdistamist toimetatakse mensuliga plaanistamise printsiibil, kusjuures planšeti asemel kasutatakse mappi (pappi), sellele kinnitatud paberilehega, millele joonestataksegi kogu situatsioon.

Igas jaamas mapp orienteeritakse, milleks on olemas kompass. Kompass kujutab endast oma põhiolemuselt väikest bussooli. Ta erineb bussoolist selle poolest, et temal ei ole kraadijaotustega rõngast, vaid tal on märgitud ainult põhi, lõuna, lääs ja ida.

Orienteerimiseks peab mapil olema tõmmatud meridiaan, mille juurde asetataksegi põhja-lõuna suunaga paralleelne kompassi äär.

Viseerimiseks kasutatakse kõvast puust kolmetahulise prisma kujuliselt valmistatud mõõt-joonlauda, mille ülemist serva mööda viseeritaksegi. Kauguste pealekandmiseks joonlaua küljetahul alumise serva juures on kriipsud 1 mm tagant.

Kõik need abinõud riputatakse nööri abil mõõdistajale õlale või kaela.

§ 162. Mõõdistamise teostamine.

Eristatakse silmamõõdulist üldmõõdistamist, kui mõõdistatakse igasse külge ligikaudu ühtlaselt laiuvat massiivi, ja maršruutmõõdistamist, kui mõõdistatakse ühes suunas ulatuvat riba.

Üldmõõdistamist toimetatakse ringidena, s. t. väheldaste kinniste polügoonidena.

Alguspunkt valitakse kuskil teel ja kantakse mapp-planšetile niisuguse arvestusega, et kogu mõõdistamine mahuks mugavalt paberile. Alguses määratakse vajaduse korral baromeetriga punkti kõrgus. Siis orienteeritakse mapp ja polaarviisiga joonestatakse kogu ümbritsev maastik, kusjuures kaugused võetakse silma järgi. Pärast seda viseeritakse kõigile selliseile esemeile, mis kavatsetakse hiljem mõõdistada lõigetega. Lõppeks tõmmatakse suund uuele jaamale, mis valitakse mõnesuguse märgatava punkti järgi — posti, põõsa jms. järgi, või lihtsalt tee suuna järgi, ning mõõdistaja, minnes teed mööda, loeb kauguse sammudega. Jaamast jaama üleminekul mõõdistatakse silma järgi maastiku kontuurid käigu kõrval — ristjoontega või polaarviisiga, joonestatakse reljeef kriipsudega või horisontaalidega. Maastiku väljapaistvamaile punktidele tehakse lõiked, iseloomustavamais reljeefi punktides sooritatakse baromeetrilisi vaatlusi. Kõigil juhtumeil, kus see võimalik, tuleb mõõdistamise jaoks ära kasutada mõõdistaja seisupunkti ja maastiku väljapaistvate esemete (veskite, silotornide jne.) vahelisi sihte.

Uues jaamas on vaja sammude mõõtkava järgi peale kanda kaugus ja orienteerides kompassi järgi seda kontrollida tagasiviseerimisega.

Selliste üleminekutega jaamalt jaamale suletakse esimene ring,

kusjuures algpunktis sulgemisel saadav sulgemisviga, kus seda töö eesmärgi kohaselt ei või tähele panemata jätta, tuleb hävitada paralleeljoonte meetodiga. See sulgemisviga ei ületa tavaliselt $^1/_{50}$ perimeetrist.

Pärast esimest ringi siirdub mõõdistaja teisele ringile ja nii ringidena mõõdistab kogu paikkonna.

Maršruutmõõdistamine toimub eranditult teid mööda ja samade võtetega.

Üldiselt tuleb silmamõõdulisel mõõdistamisel kinni pidada reegleist:

1. Lõiked esemeile tehakse vähemalt kolmest punktist.
2. Lähedalt möödudes mistahes viisiga juba mõõdistatud kontuuridest tuleb need tingimata üksikasjaliselt välja joonestada, märkides piirid punktiiriga.
3. Iga seisaku juures tuleb kontrollida ja täiendada eelmisi suundi.
4. Plaani viimistlemine on vaja teha maastikul. Kui viimistlemisel miski jäi päevaajal lõpetamata, siis on vaja seda teha sama päeva õhtul.

LISAD

Lisa 1 (§ 30)

Tabel planšetilt nurkade määramiseks.

$$\sin \frac{A}{2} = \frac{a}{2\,r} \qquad r = 10 \text{ cm}$$

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

Refraktsioonist ja Maa kumerusest tingitud parandused.

$$r = 0{,}42\ \frac{s^2}{R} = \frac{s^2}{2R}\ (1 - k)$$

k — Maa refraktsiooni koefitsient = 0,16

s	r	s	r	s	r
300		1 200		1 675	
	0,01		0,10		0,19
477		1 262		1 720	
	0,02		0,11		0,20
616		1 320		1 764	
	0,03		0,12		0,21
729		1 376		1 806	
	0,04		0,13		0,22
826		1 431		1 848	
	0,05		0,14		0,23
912		1 484		1 888	
	0,06		0,15		0,24
992		1 534		1 928	
	0,07		0,16		0,25
1 066		1 582		1 967	
	0,08		0,17		0,26
1 135		1 630		2 005	
	0,09		0,18		0,27
1 200		1 675		2 042	

Tabel kõrgusvahede arvutamiseks 100-meetrilise horisontaalkauguse järgi.

$$h = 100 \tan \alpha$$

α	h	α	h	α	h	Võrdelised osad			
							291	292	293
0°00′	0,000	2°00′	3,492	4°00′	6,993				
0°10′	0,291	2°10′	3,783	4°10′	7,285	1′	29	29	29
0°20′	0,582	2°20′	4,075	4°20′	7,578	2′	58	58	59
0°30′	0,873	2°30′	4,366	4°30′	7,870	3′	87	88	88
0°40′	1,164	2°40′	4,658	4°40′	8,163	4′	116	117	117
0°50′	1,455	2°50′	4,949	4°50′	8,456	5′	145	146	146
1°00′	1,746	3°00′	5,241	5°00′	8,749	6′	175	175	176
1°10′	2,036	3°10′	5,533	5°10′	9,012	7′	204	204	205
1°20′	2,328	3°20′	5,824	5°20′	9,335	8′	233	234	234
1°30′	2,619	3°30′	6,116	5°30′	9,629	9′	262	263	264
1°40′	2,910	3°40′	6,408	5°40′	9,923				
1°50′	3,201	3°50′	6,700	5°50′	10,216				
2°00′	3,492	4°00′	6,993	6°00′	10,510				

Kaugusemõõtjaga määratavate kauguste horisontaalprojektsioonid ja kõrgusvahed latilt tehtud lugemi $n = 100$ **jaoks.**

$$s = 100 \cos^2 z \qquad h = \frac{1}{2} \cdot 100 \sin^2 \alpha$$

Min.	0°		1°		2°		3°	
	s	h	s	h	s	h	s	h
0	100,00	0,00	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23
10	100,00	0,29	99,96	2,04	99,86	3,78	99,69	5,52
20	100,00	0,58	99,95	2,33	99,83	4,07	99,66	5,80
30	99,99	0,87	99,93	2,62	99,81	4,36	99,63	6,09
40	99,99	1,16	99,92	2,91	99,78	4,65	99,59	6,38
50	99,98	1,45	99,90	3,20	99,76	4,94	99,56	6,67
60	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23	99,51	6,96

P. P.				
Min.	29	3	4	5
1	03	00	00	00
2	06	01	01	01
3	09	01	01	02
4	12	01	02	02
5	14	02	02	02
6	17	02	02	03
7	20	02	03	04
8	23	02	03	04
9	26	03	04	04

Järg

Min.	4°		5°		6°		7°	
	s	h	s	h	s	h	s	h
0	99,51	6,96	99,24	8,68	98,91	10,40	98,51	12,10
10	99,47	7,25	99,19	8,97	98,85	10,68	98,44	12,38
20	99,43	7,53	99,14	9,25	98,78	10,96	98,37	12,66
30	99,38	7,82	99,08	9,54	98,72	11,25	98,29	12,94
40	99,34	8,11	99,03	9,83	98,65	11,53	98,22	13,22
50	99,29	8,40	98,97	10,11	98,58	11,81	98,14	13,50
60	99,24	8,68	98,91	10,40	98,51	12,10	98,06	13,78

P. P.				
Min.	28	7	8	6
1	03	01	01	01
2	06	01	02	01
3	08	02	02	02
4	11	03	03	02
5	14	04	04	03
6	17	04	05	04
7	20	05	06	04
8	22	06	06	05
9	25	06	07	05

Min.	8°		9°		10°		11°		P. P.				
	s	h	s	h	s	h	s	h	Min.	9	11	27	26
0	98,06	13,78	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73					
10	97,98	14,06	97,46	15,73	96,88	17,37	96,25	19,00	1	01	01	03	03
									2	02	02	05	05
20	97,90	14,34	97,37	16,00	96,78	17,65	96,14	19,27	3	03	03	08	08
30	97,82	14,62	97,28	16,28	96,68	17,92	96,03	19,54	4	04	04	11	10
									5	05	06	14	13
40	97,73	14,90	97,18	16,55	96,57	18,19	95,91	19,80	6	05	07	16	16
50	97,64	15,17	97,08	16,83	96,47	18,46	95,79	20,07	7	06	08	19	18
									8	07	09	22	21
60	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73	95,68	20,34	9	08	10	24	23

Min.	12°		13°		14°		15°		P. P.				
	s	h	s	h	s	h	s	h	Min.	13	15	25	24
0	95,68	20,34	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00					
10	95,56	20,60	94,81	22,18	94,01	23,73	93,16	25,25	1	01	02	02	02
									2	03	03	05	05
20	95,44	20,87	94,68	22,44	93,87	23,99	93,01	25,50	3	04	04	08	07
30	95,32	21,13	94,55	22,70	93,73	24,24	92,86	25,75	4	05	06	10	10
									5	06	08	12	12
40	95,19	21,39	94,42	22,96	93,59	24,49	92,71	26,00	6	08	09	15	14
50	95,07	21,66	94,28	23,22	93,45	24,75	92,56	26,25	7	09	10	18	17
									8	10	12	20	19
60	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00	92,40	26,50	9	12	14	22	22

Topograafilise väliraamatu vorm.

Kõrguste määramine	Punktilt nr . . . Punktile nr. 1	Punktilt nr . . . Punktile nr. . .	Punktilt nr. . . Punktile nr . .	Punktilt nr. . . Punktile nr . .
P	359°53',5			
N	0			
V	0°07',5			
α	—7',5			
s	620,0			
log s	2,79239			
log tan α	$7{,}33782_n$			
log (s tan α)	$0{,}13021_n$			
s tan α	— 1,35			
i	1,48			
r	0,03			
h'	+ 0,10			
—l	2,90			
h	— 2,80			
H_{jaam}	298,52			
$H_{vaadeld.}$ $H_{keskm.}$	295,72			

5-nda järgu nivellimise väliraamat.

Kaheküljelised latid.

(Pöördlatid).

Jaamade nr.	Pikettide, reeperite ja vahepunktide nr.	Lugemid latilt: tagumised	Lugemid latilt: eesmised	Lugemid latilt: vahepealsed	Kõrgusvahed: vaadeldud	Kõrgusvahed: keskmised	Instrumendi horisont	Absoluutsed kõrgused
	R 601	5 283			—312	—312,5		213,344
1	1	596	5 595		—313	+0,5		213,032
			909					
	1	4 952			—207	—207,0		213,032
2	2	265	5 159		—207			212,825
			472					
	2	5 215			—183	—183,0	213,353	212,825
3		528			—183			
	3		5 398					212,642
			711					
	2 + 47 m			611				212,742
	2 + 66 m			1101				212,252
	3	4 858			—300	—299,0		212,642
		171			—298			212,343
4	4		5 158					
			469					
		21 868	23 871		—2003	—1001,5		
		—23871						
		—2003						

Lisa 7 (§ 140)

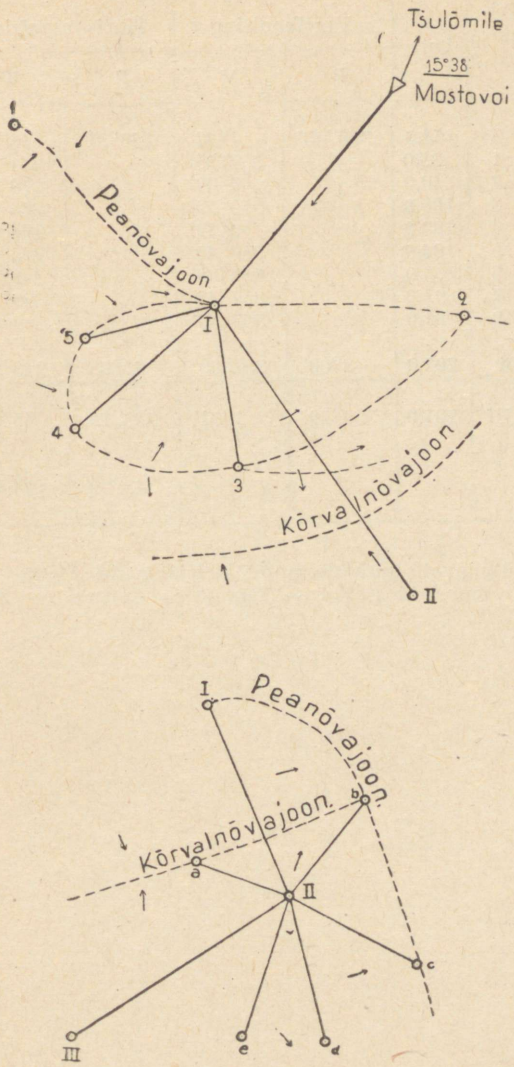
Tahhümeetrilise mõõdistamise väliraamat.

Mõõtmik.

Vasak lehekülg 1.

Seisu- punktid	Vaadeldavad	Latt	Vertikaalring		Horisontaalring		H
			P	V	P	V	
Mosto- voi i = 1,40	Tšulõm				195°38'	15°38'	243,40
	jaam I	212,0	357°11'	2°50'	45°34'	225°34'	
Jaam I i = 1,38	Mostovoi	212,5	4°15'	355°45'	225°51'	45°50'	
	Pikett 1	175,0		357°15'		314°46'	
	2	69,0		1°17'		105°55'	
	3	61,0		355°50'		170°00'	
	4	112,0		355°36'		214°15'	
	5	60,0		354°58'		226°42'	
	Jaam II	189,0	359°30'	0°30'	214°19'	134°18'	
Jaam II i = 1,36	Jaam I	189,0	2°05'	357°55'	134°09'	314°10'	
	Pikett a	120,0		359°00'		284°51'	
	b	57,0		1°08'		346°15'	
	c	59,0		1°57'		101°55'	
	d	58,0		354°08'		205°55'	
	e	108,0		353°35'		229°30'	
	Jaam III	154,0	3°30'	356°30'	78°25'	258°24'	

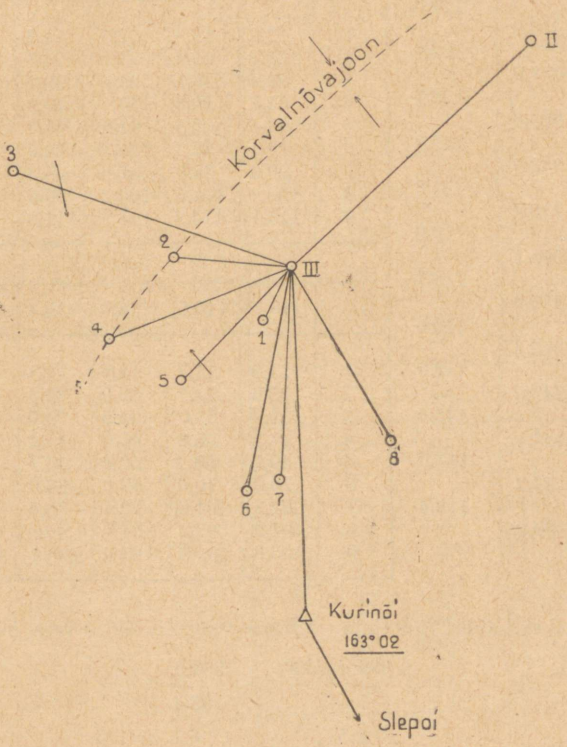
Krokii.



Joonis 97.

Seisu- punktid	Vaadeldavad	Latt	Vertikaalring		Horisontaalring		H
			P	V	P	V	
Jaam III i = 1,39	Jaam II	154,0	358°28′	1°32′	258°31′	78°32′	
	Pikett 1	35,0		356°35′		241°12′	
	2	40,0		6°00′		276°31′	
	3	186,0		359°39′		286°20′	
	4	189,0		0°17′		274°20′	
	5	184,0		359°40′		263°12′	
	6	165,0		357°00′		249°20′	
	7	97,0		357°48′		239°32′	
	8	81,0		357°40′		189°00′	
	Punkt Kurinõi	202,0	3°00′	357°00′	45°35′	225°34′	
Punkt Kurinõi i = 1,42	Jaam III	201,0	358°29′	1°31′	225°15′	45°16′	**240,60**
	Punkt Slepoi				343°02′	163°02′	

Märkus. Külgnevate nurkade mõõtmisel jaamades Mostovoi ja Kurinõi limb orienteeriti joone Mostovoi — Tšulõm ja Kurinõi — Slepoi tõelise asimuudi järgi.



Joonis 98.

Ligikaudsed kõrgused.

Õhurõhk	H	Δ		Võrdelised osad (P. P.)					
650	1 343,0			129,0	127,0	125,2	123,3	121,6	119,8
		129,0							
660	1 214,0		1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,2	12,0
		127,0	2	25,8	25,4	25,0	24,7	24,3	24,0
670	1 087,0		3	38,7	38,1	37,0	37,0	36,5	35,9
		125,2	4	51,6	50,8	50,1	49,3	48,6	47,9
680	961,8		5	64,5	63,5	62,6	61,7	60,8	59,9
		123,3	6	77,4	76,2	75,1	74,0	73,0	71,9
690	838,5		7	90,3	88,9	87,6	86,3	85,1	83,9
		121,6	8	103,2	101,6	100,2	98,6	97,3	95,8
700	716,9		9	116,1	114,3	112,7	111,0	109,4	107,8
		119,8							
710	597,1								
		118,1							
720	479,0			118,1	116,6	114,9	113,4	111,9	110,4
		116,6							
730	362,4								
		114,9	1	11,8	11,7	11,5	11,3	11,2	11,0
740	247,5		2	23,6	23,3	23,0	22,7	22,4	22,1
		113,4	3	35,4	35,0	34,5	34,0	33,6	33,1
750	134,1		4	47,2	46,6	46,0	45,4	44,8	44,2
		111,9	5	59,0	58,3	57,4	56,7	46,0	55,2
760	22,2		6	70,9	70,0	68,9	68,0	67,1	66,2
		110,4	7	82,7	81,6	80,4	79,4	78,3	77,3
770	—88,2		8	94,5	93,3	91,9	90,7	89,5	88,3
			9	106,3	105,9	103,4	102,1	100,7	99,4

Näide. Leida ligikaudne kõrgus õhurõhu 697,5 mm jaoks.

690 jaoks . . 838,5
7 „ . . 85,1
0,5 „ . . 6,1

697,5 jaoks . 747,3

Baromeetrilised kõrgusastmed.

Astmed võetakse argumentide $B = \frac{1}{2}(B_1 + B_2)$ ja $T = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ järgi.

B \ T	0°	10°	20°	30°
650	12,32	12,77	13,22	13,67
660	12,13	12,58	13,02	13,47
670	11,95	12,39	12,83	13,27
680	11,78	12,21	12,64	13,07
690	11,60	12,03	12,45	12,88
700	11,44	11,86	12,28	12,70
710	11,28	11,69	12,10	12,52
720	11,12	11,53	11,94	12,34
730	10,97	11,37	11,77	12,18
740	10,82	11,22	11,61	12,01
750	10,68	11,07	11,46	11,85
760	10,54	10,92	11,31	11,70
770	10,40	10,73	11,16	11,54

Võrdelised osad (P. P.)

I Õhurõhu jaoks (—)

	14	16	18	20	22
1	01	02	02	02	02
2	03	03	04	04	04
3	04	05	05	06	07
4	06	06	07	08	09
5	07	08	09	10	11
6	08	10	11	12	13
7	10	11	13	14	15
8	11	13	14	16	18
9	13	14	16	18	20

II Temperatuuri jaoks (+)

	38	40	42	44	46
1	04	04	04	04	05
2	08	08	08	09	09
3	11	12	13	13	14
4	15	16	17	18	18
5	19	20	21	22	23
6	23	24	25	26	28
7	27	28	29	31	32
8	30	32	34	35	37
9	34	36	38	40	41

Näide. Keskmise õhurõhu 747,8 mm ja keskmise temperatuuri 23,6 jaoks saame:

740 mm ja 20° jaoks	11,61
Parandus 7 mm jaoks (vahe 15 juures) .	— 10
„ 0,8 „ „	— 01
„ 3° jaoks (vahe 40 juures)	+ 12
„ 0°,6 jaoks	+ 02
$\Delta H =$	11,64

Baromeetrilise nivellimise väliraamat.

Nivellitavad punktid	Aeg	Instrumendi õhu temperatuur	Lugem aneroidilt	Parandused $\frac{a}{bt}$ / c (760—A)	B	Ajast tingitud parandus	B_0
1. reeper		23,1					
i = 1,0 m	4t 00m	25,4	747,8				
2		23,0					
i = 1,4 m	4t 40m	24,4	746,0				
		22,5					
3	5t 10m	26,0	745,0				
		21,0					
4	5t 35m	25,0	743,6				
		21,0					
5	6t 00m	23,4	743,1				
		19,1					
6	7t 00m	20,2	743,2				
		18,5					
1. reeper	7t 50m	19,0	548,9				

Baromeetri parandused:

a = —0,5 mm

b = —0,02 mm

c = —0,01 mm

SISUKORD.

TEINE OSA.

Plaanistamine mensuliga. Tehniline nivellimine. Tahhümeetriline mõõdistamine. Baromeetriline nivellimine. Silmamõõduline mõõdistamine.

PLAANISTAMINE MENSULIGA.

I peatükk. Üldmõisteid ja instrumentide konstruktsioone 3

§ 1. Nurgamõõduline mõõdistamine ja graafiline mõõdistamine ehk mensuliga plaanistamine või kaardistamine. § 2. Nurkade horisontaalprojektsioonide graafilise määramise (konstrueerimise) idee. § 3. Mensul ja selle osised. § 4. Planšett. § 5. Alused. § 6. Mensuli kontrollimine. § 7. Mensuli päraldised. § 8. Mensuli hark. Selle rakendamise tingimused. § 9. Bussool. § 10. Viseerimise seadis. Peastaabi kippreegel. § 11. Kippreegli kontrollimine. § 12. Kippreegli vertikaalring. § 13. Vertikaalnurkade mõõtmine. Nulli aseme tähtsus. § 14. Kuidas teha nulli ase lähedaseks nulliga. § 15. Vertikaalnurkade arvutamine.

II peatükk. Mensuli orienteerimine ja nurkade konstrueerimine planšetile 18

§ 16. Orienteerimise mõiste ja otstarve. § 17. Orienteerimine meridiaani järgi (bussooliga). § 18. Bussooli järgi orienteerimise täpsus. § 19. Orienteerimine antud joone järgi. § 20. Orienteerimise kontrollimine. § 21. Orienteerimise viga. § 22. Orienteerimise joone valik. Põhijoonte kunstlik pikendamine. § 23. Magnetnõela deklinatsiooni määramine. § 24. Nurga konstrueerimine. § 25. Planšetile joonestatud suundade vead. § 26. Tsentreerimise viga ja selle mõju joonestatud suundadele. § 27. Ebaõigest tsentreerimisest tingitud jooneline nihkumine. Hargi kasutamise tingimused. § 28. Tähiste mittevertikaalsuse mõju suundadele. § 29. Nurga konstrueerimise täpsus mensulil. § 30. Mensulil konstrueeritud nurga mõõtmine. § 31. Paralleeljoonte tõmbamine planšetil.

III peatükk. Punkti määramise meetodid planšetil . . 30

§ 32. Punktide asukoha määramise tähtsus. § 33. Otselõige ehk edasilõige. § 34. Vastulõige ehk tagasilõige. § 35. Lõikenurk ja selle äärmine suurus. § 36. Otse- ja vastulõike võrdlev täpsus. § 37. Punkti asukoha määramine polaarviisiga. § 38. Kauguste määramise täpsus kaugusemõõtjaga. Niitide jämeduse ja Maa refraktsiooni mõju.

§ 39. Äärmised kaugused kaugusemõõtjaga mõõtmisel. § 40. Mõningaid teisi viise punkti asukoha määramiseks. § 41. Pothénot' ülesanne. § 42. Üldised tingimused ülesannete lahendamiseks vastulõike meetodiga. § 43. Besseli viis. § 44. Otsitava punkti asendi kuus juhtumit. § 45. Lehmanni viis. § 46. Bohnenbergeri viis.

IV peatükk. Kaldkiirega nivellimine (geodeetiline ehk trigonomeetriline nivellimine) 47

§ 47. Null-nivoo ehk keskmine merepind. Punktide kõrgused (altituudid). § 48. Absoluutsed ja relatiivsed kõrgused. § 49. Kõrguste siirmine. Kõrgusvahed. § 50. Kõrgusvahede määramine kaldkiirega. § 51. Maa kumerusest tingitud parandus. § 52. Refraktsioonist tingitud parandus. § 53. Maa kumerusest ja refraktsioonist tingitud koguparandus. § 54. Kaldkiire abil kõrgusvahede määramise täielik valem. Selle erikujud. § 55. Kõrgusvahede arvutamise vahendid. § 56. Kõrguste mõõtkava. § 57. Kõrgusvahede määramise täpsus.

V peatükk. Reljeefi kujutamine plaanil 57

§ 58. Mõiste reljeefi tekkimisest. § 59. Reljeefi vormid. § 60. Reljeefi kujutamiseks esitatavad tingimused. § 61. Reljeefi kujutamine kõrgusarvudega. § 62. Horisontaalid. Reljeefi lõikepinnad. Nõlva alus. § 63. Reljeefi põhivormide kujutamine horisontaalidega. § 64. Horisontaalide konstrueerimine planšetile arvutamisega. § 65. Horisontaalide konstrueerimine graafilise meetodiga. § 66. Horisontaalide tõmbamine silma järgi. § 67. Reljeefi kujutamise tingimuste täitmine horisontaalidega. § 68. Horisontaalidega plaanil lahendatavaid ülesandeid.

VI peatükk. Mensuliga plaanistamise või kaardistamise tööde organiseerimine ja teostamine . . 70

§ 69. Eriotstarbelised ja riiklikud mõõdistamised. § 70. Aluspunktid ja nende saamise meetodid. Geodeetiliste põhitööde mõiste. § 71. Geograafilised koordinaadid. § 72. Gauss-Krügeri koordinaatide skeem. Direktsioonnurgad. § 73. Rahvusvaheline planšettide jaotamine. Miljonilise kaardi lehed. Planšettide nomenklatuuri määramine. § 74. Planšettide raamide konstrueerimine. § 75. Ettevalmistustööd. § 76. Aluse tihendamine. Geomeetriline võrk. § 77. Rekognostseerimine. § 78. Märkide asetamine. § 79. Geomeetrilise võrgu konstrueerimine planšetil. § 80. Geomeetrilise võrgu punktide kõrguste määramine. § 81. Kõrgusvahede tasandamine. § 82. Mensuli käikude rajamine. § 83. Mõõdistuspunktid. § 84. Kontuuride ja reljeefi joonestamine. § 85. Planšettide ühistamine. § 86. Kontuur- ja kõrguskalkad. § 87. Üksikute väikeste maatükkide mõõdistamise iseärasusi. § 88. Mensuli kasutamine aerofotomõõdistamisel.

VII peatükk. Plaanide kopeerimine 97
§ 89. Kopeerimise graafilised viisid. § 90. Valguskopeerimise viis. § 91. Kopeerimine mõõtkava muutmisega. § 92. Proportsionaalsirkel ja sellega töötamine. § 93. Pantograaf.
Tehniline (geomeetriline) nivellimine (nivellimine horisontaalse kiirega).
VIII peatükk. Tehnilise nivellimise alused ja instrumendid 101
§ 94. Tehnilise nivellimise ja nivelliiri olemus. Otsast ja keskelt nivellimine. § 95. Maa kumeruse ja refraktsiooni mõju. § 96. Liitnivellimine. § 97. Nivellimislatid. Latialused. § 98. Nivelliiride tüübid. § 99. Egault' nivelliir. § 100. Nivelliiri üldine järelvaatus. § 101. Pikksilma suurendus, lugemise täpsuse ja vaatekauguse vastavus. § 102. Pikksilma suurenduse ja vesiloe tundelikkuse vastavus. § 103. Vesiloe jaotuse väärtuse määramine. § 104. Nivelliiride kontrollimised. § 105. Jäänuk-vead ja nende kõrvaldamise viisid. Sümmeetriliste lugemite meetod. 106. Nivelliiride käsitsemine töö ajal.
IX peatükk. Tehnilise nivellimise teostamine . . . 118
§ 107. Kõrgusalus. Põhiliste nivellimiste märgid. § 108. Nivellimine inseneri-ehituslike eesmärkidega. § 109. Nivellimine maakorralduse juures. § 110. Eeltööd. Rekognostseerimine. § 111. Nivellimiste järgud. § 112. 5-nda järgu nivellimise teostamine. Väliraamatu pidamine. § 113. Töö katkestamine. § 114. Sidumine kõrgusmärkide ja reeperite külge. § 115. Nivellimine üle jõgede ja kuristikkude. § 116. Keskmised kõrgusvahed. Leheküljeline kontroll. § 117. Väliandmete läbitöötamine. Kõrgusvahede tasandamine, kõrguste arvutamine. § 118. Side- ja vahepunktid. Vahepunktide kõrguste arvutamine. § 119. Pinna nivellimine. Pikettimine. § 120. Pikinivellimine (Joon-nivellimine). § 121. Horisondi meetod. § 122. Profiili koostamine, profiili järgi projektimine. § 123. Kõverikkude märgistamine. Peapunktid. Detailne märgistamine.

TAHHÜMEETRILINE MÕÕDISTAMINE.

X peatükk. Tahhümeetrilise mõõdistamise mõiste ja instrumendid 138
§ 124. Tahhümeetrilise mõõdistamise olemus. § 125. Ringtahhümeeter. Teodoliit-tahhümeeter. § 126. Tahhümeetrile esitatavad üldised nõuded. § 127. Teodoliit-tahhümeeter „Geofüüsika". § 128. Ringtahhümeetri kontrollimine. § 129. Nulli aseme määramine pikksilma küljes oleva vesiloega tahhümeetri juures. § 130. Vertikaalnurkade

mõõtmine ringiga, mille jaotused on 0 kuni 90°. § 131. Tahhümeeter-automaatide mõiste. § 132. Tahhümeetrilised latid.

XI peatükk. Tahhümeetrilise mõõdistamise teostamine 144

§ 133. Tahhümeetrilise mõõdistamise üldine kord. § 134. Tahhümeetriliste käikude rajamine. Joonte (külgede) mõõtmine. § 135. Horisontaalnurkade mõõtmine. Limbi orienteerimine. § 136. Kõrgusvahede määramine käigu punktide vahel. § 137. Käikude tasandamine horisontaaltasapinnas. § 138. Kõrgusvahede tasandamine ja punktide kõrguste arvutamine. § 139. Detailide mõõdistamine. § 140. Tahhümeetrilise mõõdistamise väliraamat. Mõõtmik ja krokii. § 141. Detailide kandmine plaanile. § 142. Maršruut- ja lausamõõdistus. § 143. Tahhümeetrilise mõõdistamise rakendamine, selle mõõdistamise suhtelised paremused ja puudused.

Baromeetriline nivellimine ja silmamõõduline mõõdistamine.

XII peatükk. Baromeetrilise nivellimise alused ja instrumendid 153

§ 144. Baromeetrilise nivellimise idee. § 145. Baromeetrilise nivellimise praktilised valemid. § 146. Ligikaudsete kõrguste meetod. Tabelid. § 147. Baromeetriliste kõrgusastmete meetod. Tabelid. § 148. Elavhõbebaromeeter. § 149. Aneroidbaromeeter. § 150. Aneroidbaromeetri parandused. § 151. Ajast tingitud parandus. Töötamine ühe ja kahe aneroidbaromeetriga. § 152. Termomeeter õhutemperatuuri mõõtmiseks. § 153. Aneroidbaromeetri käsitsemine.

XIII peatükk. Baromeetrilise nivellimise teostamine 161

§ 154. Lugemite tegemine. § 155. Vaatluste kord. Väliraamat. § 156. Baromeetrilise nivellimise andmete läbitöötamine. § 157. Nivellimine kõrgusskaalalise aneroidbaromeetriga. § 158. Baromeetrilise nivellimise täpsus.

XIV peatükk. Silmamõõduline mõõdistamine 164

§ 159. Silmamõõdulise mõõdistamise ülesanded. Temale esitatavad nõuded. § 160. Pikkuste mõõtmine. Sammude mõõtkava. § 161. Suundade määramine. Kompass. Mõõt-joonlaud. § 162. Mõõdistamise teostamine.

Lisad 168

Vastutav toimetaja A. Eevert.
Keeleline toimetaja P. Viires.

Ladumisele antud 19. II 1947. Trükkimisele antud 13. VI 1947. Trükiarv 3200. Paber 56 : 79 cm 1/16. Trükipoognaid 11,5. Trükitähti trükipoognas 43 350. Arvutuspoognaid 12. MB-02519. Trükikoda „Ühiselu", Tallinn, Pikk tn. 42. Tellimise nr. 415.

На эстонском языке.
Н. А. Назаров. Геодезия II.

Rbl. 10.—
Uus hind
Rbl. 4.20
2.50

A
16279
629 5291

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00629529 1