22/4

Bw. raam. 163/R.

GEODEESIA

PÕHIJOONED

MAAMÕÕDU- JA LOODIMISRIISTAD
NING NENDEGA TÖÖTAMINE

A. MATHIESEN

23368

AKADEEMILINE METSA SELTS
Tartu Ülikooli juures

AKADEEMILISE METSASELTSI VÄLJAANNE
TARTUS — 1929.

Trükikoda Ed. Bergmann, Tartus.

2.
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
34953

Sisu juhataja.

Lk.

Eessõna 1
Sissejuhatus ja üldised teated 1
Projektsioon ja projekteerimine 2
Mõõtmine ja mõõduühikud 7
Punktide ja joonte kujutamine väljal ja paberil 10
Pikkusemõõdu abinõud ja joonte mõõtmine 16

Nurga mõõtmine.
Mõõduaparaatide üksikud osad 25
Pikksilm 35
Pikksilma niiitide parallaks 43
Luup ehk suurekstegev klaas 44
Vesikaal 46
Maamõõdu-aparaatide statiivid 52
Täisnurkade kujutamine, nurkade mõõtmine ja mitmesuguste ülesannete täitmine maamõõteketi abil 54
Kontuuride mõõtmine keti abil 60
Joonistamis-abinõud. 65
Täisnurkade ehitamine ja selleks tarvisminevad mõõduriistad . . . 69
Asimuudid ja rumbid 91
Bussooli tarvitamine, asimuutide mõõtmine 95

Nurgamõõdu aparaadid.
Astrolaab ja töötamine temaga 103
Pantomeeter 112
Teodoliit ja tema ehitus 114
Töötamine teodoliidiga 130
Koordinaatide arvutamine 136
Mensul ehk maamõõdulaud 152
Kipreegel 176
Kaugusemõõtjad 179
Töötamine kipreegliga 187
Loodimine ehk nivelleerimine. 192
Geomeetriline loodimine 194
Kinnine loodimisaparaat 200
Ego nivelliir horisontaal-limbiga. 205

lk.
Bambergi ehk Reichenbachi nivelliir 210
Maapinna kumera kuju ja kiirte refraktsiooni mõju loodimise täpsusesse 218
Loodimistööde järjekord ja arvutused 221
Tahhimeetriline loodimine 234
Baromeetriline loodimine 241
Maastikureljeefi tähendamisest kaardile 245
Fotogramm-meetriliste tööde lühike ülevaade 255
Mehaanilised abinõud plaanide valmistamiseks.
Koordinatograaf 262
Polaarkoordinatograaf 264
Tahhügraaf 268
Tangensjoonte võte 268
Plaanidest koopiate valmistamine 270
Mehaanilised abinõud pindade arvutamiseks.
Planimeeter 282
Mõned märkused Amsler'i ja Coradi polaarplanimeetrite tarvitamiseks 292
Piiride õiendamine ja maade vahetus 295
Piiride uuendamine 300
Geograafilise või õige meridiaani tähendamine 306
Triangulatsioon 310
Jaama või aparaadi seisu sentrimine 323
Signaali sentrimine 327
Ettepoole võetud ristlõigete arvutamine 328
Trigonomeetrilise võrgu täiendamine abipunktidega.
Hansen'i võte 332
Potenot'i ülesande lahendamine 334
Lisad.
Näide kuivatuskraavi projekteerimiseks ja muldkeha arvutamiseks ühes siia kuuluvate märkustega 337
Maamõõtmise ja maakatastri plaanide valmistamise juhtnöörid (väljavõte R. T. 102 — 1927) 342
Sidejoonte ja nurkade vahekord 350
Tangensite naturaalsuurused 352
Kaldjoonte parandustabel 353
Register 357

Eessõna

mimeografeeritud väljaandele.

Raske on ette kujutada metsaametnikku, kes ilma geodeesia aluste tundmiseta oma ametikohuseid täita suudaks. Mitte üksi metsakorralduse, vaid ka harilikkude talituste juures metskondades, nagu näit.: aastalankide sisseajamisel, kraavide ja teede loodimisel, taimeaedade- ja metsakultuuride plaanide kokkuseadmisel jne. tuleb temal tegemist teha geodeesias käsitletud maamõõdu- ja loodimistöödega ja nende korraldamiseks tarvisminevate riistadega. Neid riistu peab tema põhjalikult tundma, temal tuleb tihti nende kordaseadmisi ette võtta; võib olla tuleb vastavate riistade puudusel hädakorral temal üht või teist lihtsamat mõõduriista teha lasta.

Kõige selle juures peab metsamees mitte ainult geodeesiaga, vaid ka elementaarmatemaatika põhijoontega tuttav olema.

Kahjuks ei ole meil praegu ühtegi ajakohast eestikeelset õpperaamatut geodeesia alal, kuna teadmised, mis loengutel omandatud, aja jooksul ununeda võivad, kui võimalust ei ole neid värskendada.

Et võimalust mööda üliõpilastele ja oma endistele ametivendadele, metsaülematele ja abimetsaülematele vastu tulla, olen katsunud lühidalt kokku võtta kõik, mis minu arvates metsas, maamõõdutööde juures tarvis läheb.

Võib olla olen nii paljude küsimuste juures liiga pealiskaudselt peatunud, mille läbi käesolev raamat rohkem konspekti iseloomu kannab. Mõne üksiku küsimuse juures olen siiski liiga pikale veninud, nagu kahjuks näen; kuid lõppude lõpuks loodan, et metsameestel sellest tööst siiski teatud kasu saab olema.

Oma loengute ja niisama ka käesoleva konspekti taolise raamatu kokkuseadmisel olen aluseks võtnud osalt Peterburi metsa-instituudi geodeesia õpetamise järjekorda, osalt «Bik'i» geodeesia õpperaamatut.

Tartus, 10. veebr. 1922.

A. Mathiesen.

Eessõna.

1922. a. mimeografeeritud 300 eksempl. Akadeem. Metsa Seltsi poolt väljaantud «Geodeesia põhijooned» leidis üliõpilaste ja metsaametnikkude peres rohket tarvitamist, nõnda et aasta poolteise pärast oli see trükk täielikult müüdud.

Nõudmised trükitud raamatu järele kasvasid aasta-aastalt. Suuremate kulude tõttu, mis olid seotud rohkearvuliste joonistest klišeede muretsemisega, puudus võimalus juba varemalt raamatu trükkimisele asuda, kuna põhimõtteliselt loobuda tuli II väljaande avaldamisest mimeografeeritult. Käesoleval aastal sai Ak. Metsa Seltsil siiski aineliselt võimalikuks raamatu trükkimisele asuda, olgu küll, et see näis olevat suurte kuludega seotud, mis end sageli ei tasu tehnilise sisuga raamatute väljaandmisel.

Raamatu trükkimisel kerkis küsimus, kas ei ole otstarbekohane kõiki teoreetilisi arvustusi välja jätta, nii et raamat eeskätt metsnikkudele, põllutöö ja metsakooli õpilastele, osalt koguni tegelikkudele põllumeestele sisu ja hinna poolest kättesaadav oleks, kuna üliõpilaste ja kõrgema hariduse omandanud metsaametnikkude tarvis oleks mõte olnud tulevikus täielikumat geodeesia õpperaamatut valmistada juhtumil, kui säärase järele tarvidus peaks olema. Pikemate kaalutlemiste järele selgus aga, et siiski tahes või tahtmata metsaametnikkude piiratud arvulise pere tõttu tuleb leppida ühise maamõõduraamatuga, kus metsnikkudele ja metsnikkude ettevalmistamiseks olemas olevas õpperaamatus nii mõnedki osad võiksid välja jääda. Seda osa eri laoga tähendada ei leidnud ma tarviliku olevat.

Sisuliselt on käesolev raamat, võrreldes mimeograafeeritud väljaandega, suuremas ulatuses endiseks jäänud. Täiendusi on tehtud ainult fotogramm-meetriliste tööde, kiirmõõtjate ja baromeetrilise loodimise alal.

Keeleliselt on aga käesolev väljaanne täielikult ümber töötatud, mille eest prl. M. Bekker'ile oma paremat tänu ja sügavamat lugupidamist avaldan.

Rohkesti tänu võlgnen ka oma assistentidele härrade B. Haller'ile ja R. Kask'ile, kes töö trükimisel minule kõigiti abiks olid.

Tartus, 7. dets. 1929.

A. Mathiesen.

Geodeesia.

Sissejuhatus ja üldised teated.

Geodeesia on teadus, mille ülesanne on kindlaks määrata maakera suurust ja tuua maakera pinnal ettevõetavaid mõõtmisi kuju ja arvudena paberil.

Sõna «geodeesia» tähendab kreeka keeles «maajagamine». Arvatavasti oli mitme tuhande aasta eest see sõna täiesti asjakohane; praegu aga on teadus arenemise teel oma raame nõnda palju muutnud, et maajagamine on ainult väike osa geodeesia õppeainest. Võib olla, et sündsam on «geodeesia» asemel tarvitada sõna «praktiline geomeetria» ehk «rakendusgeomeetria», — tähendab ju sõna «geomeetria» maamõõtmist ja käsitab õpetust kujudest nii kui geodeesiagi; teiseks on geomeetria geodeesia õppeaine täieline alus, vundament, millele viimane toetub. Et aga sõna «geodeesia» Euroopa keeltes üldist tunnustust leidnud, on põhjust teda ka meil võtta tarvitusele.

Oma aluse on geodeesia saanud XVI—XVIII sajandil e. Kr. s. Egiptusemaal, vaarao Sesostrise aegu, kes oma maa alamate vahel ära laskis jagada ja selle põhjal maksusid määras. Niisama määrati ka Niiluse voolu tehtud kahju — maapinna ärauhtumine — igal aastal sellekohaste ametnikkude läbi kindlaks ja vähendati vastavalt maksusid.

Geodeesia jaguneb kahte suuremasse ossa: alam geodeesia ja kõrgem geodeesia.

Alam geodeesia, mida sagedasti nimetatakse topograafiaks käsitab vähemate pindade mõõtmise ja nende kohta kaartide koostamise õpetust. Seejuures ei arvestata maakera kumerat, kerakujulist pinda, vaid ta arvatakse tasapinnaks.

Kõrgema geodeesia ülesanne on selgitada maakera üldist kuju ning suurust ja juhatust anda kaartide valmistamiseks suuremate maakera-osade kohta, kus peab võetama arvesse maakera kumerat pinda.

Käesolev õpperaamat käsitab ainult alama geodeesia õppeainet.

Maamõõtmine koosneb:

1. otsesest mõõtmisest;
2. mõõtmisel saadud andmete abil teiste andmete väljaarvutamisest ja
3. mõõtmisel ja arvutamisel saadud andmete ülestähendamisest paberile kujude näol.

Paberil on võimalik joonistada ehk kujudena üles tähendada ainult tasapinna osasid; kuna maakera pinnal iialgi ei ole tasapinna kuju, on seega maapinna otsene kujutamine paberil võimatu. Et maakera pinna osasid siiski üles tähendada kujudena paberile, projekteeritakse kõik maakeral mõõdetavad jooned ja kujud tasapinnale ja tähendatakse nende joonte ja kujude projektsioonid paberile. Paberile joonistamisel vähendatakse natuuras mõõdetud jooned või nende projektsioonid kindlaksmääratud proportsioonis.

Säärast natuuras olevate joonte ja kujude proportsionaalselt vähendatud projektsioonide kujutist paberil nimetatakse kaardiks või plaaniks. Vahe esimese ja teise vahel on see, et kaart on suurema pinna kujutis (maakonna, metskonna, kihelkonna või valla kaardid), plaan aga vähema pinna kujutis (talude, põldude, aedade ja hoonete plaanid).

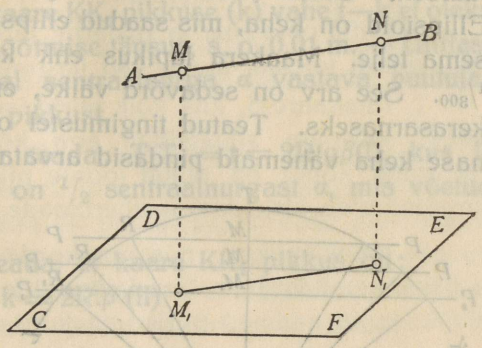
Projektsioon ja projekteerimine.

Kui on olemas (1. joon.) kaldjoon AB ja sellel joonel punktid M ja N ning tasapind CDEF, siis oleksid:

1. Punktide M ja N projektsioonid tasapinnal vastavate perpendikulaaride MM_1 ja NN_1 alused, s. o. punktid M_1 ja N_1 — punkti projektsioon on punkt.

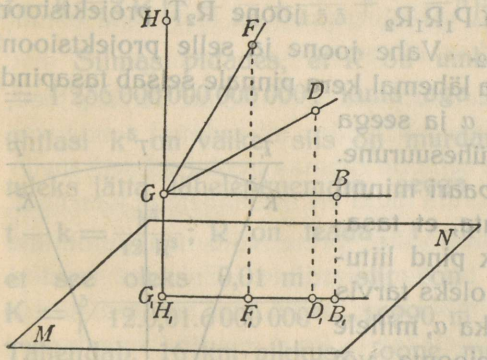
2. Joone MN projektsioon on joon M_1N_1, — see on lõikjoon, mis ühendab mõlemaid tasapinnale tõmmatud perpen-

dikulaaride aluspunkte. Joone projektsioon tasapinnal on ka joon, ainult juhtumil, kui projekteeritav joon ise seisab tasapinnale loodis, on selle joone projektsioon punkt, sest kõik sellelt joonelt tõmmatud perpendikulaarid sulavad joonega ühte.



1. joon.

Mida suurem on joone kalle, seda vähem ta projektsioon tasapinnal; mida vähem selle kalle, seda suurem ta projektsioon. Kui joone (2. joon.) ja tasapinna vahel ei ole kallet, s. o., kui nad on omavahel paralleelsed, siis on joone projektsioon joonega ühesuurune. Maamõõtmisel projekteeritakse jooni ainult horisontaalsele tasapinnale, loodimisel aga vertikaalsele tasapinnale.

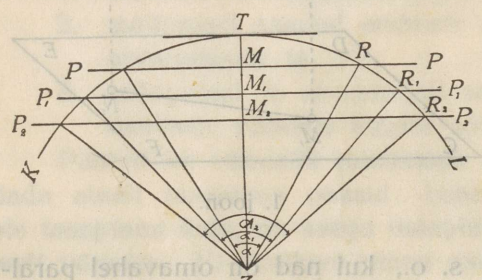


2. joon.

$GH \perp MN$; $GB \parallel MN$; $GB = GD = GF = GH$; $GB = G_1B_1$; $G_1B_1 > G_1D_1 > G_1F_1 > G_1H_1$; $G_1H_1 = 0$.

Projekteerimisel, kus kumeriku maapinna asemele võetakse tasapind, sünnib muidugi viga, mille suuruse üle vajame täpseid teateid. Maakera on ligilähedalt ümmargune keha, mille raadius on umbes 6 300 km. Kuid kõik läbimõõdud ei ole ühesuurused: raadius maakera sentrist kuni maakera pinnani ekvaatori kohal on 6 377 km, maakera nabade kohalt aga ainult 6 356 km (Bassel'i järele). Oleks maakera pind tervelt kaetud veega või kõik mäed ja orud ja kuristikud tasaseks tehtud,

siis oleks meil olemas matemaatiline maakera pind, n. n. geoidi pind. Vertikaaljooned lõikuvad geoidi pinnaga perpendikulaarselt. Geoidi pind seisab kõige lähemal ellipsioidi pinnale. Ellipsioid on keha, mis saadud ellipsi keerlemisest ümber väiksema telje. Maakera lapikus ehk kokkulitsutavus on umbes $^1/_{300}$. See arv on sedavõrd väike, et maakera arvatakse tihti kerasarnaseks. Teatud tingimustel on siiski võimalik kerasarnase keha vähemaid pindasid arvata tasapinnaks.



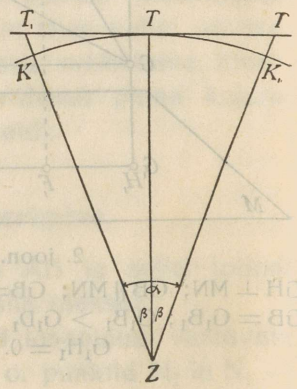
3. joon.

Võtame näiteks sentriga Z kera pinnast osa KL (3. joon.), mille pind lõikub kolme üksteisega paralleelse tasapinnaga P, P_1 ja P_2. Kera pinnal võetud kaarjoone RT projektsioon tasapinnal P on RM; joone R_1T projektsioon tasapinnal P_1 oleks R_1M_1 ja joone R_2T projektsioon tasapinnal P_2 oleks R_2M_2. Vahe joone ja selle projektsiooni vahel on seda vähem, mida lähemal kera pinnale seisab tasapind, s. o., mida vähem on nurk α ja seega ka nurk β, mis nurk $\frac{1}{2}\alpha$ ühesuurune. Muutub nurk α ühe või paari minuti suuruseks, siis võib arvata, et tasapind ja maakera kumerik pind liituvad ligikaudu ühte. Meil oleks tarvis teada säärast sentraalnurka α, millele vastavate kaare ja sidejoonte või kaarte ja tangensjoone vahe ei oleks suurem kui lubatud viga pikkuse mõõtmisel.

$$\sphericalangle \alpha < \alpha_1 < \alpha_2$$

$$TR - MR < TR_1 - M_1R_1 < TR_2 - M_2R_2$$

$$\beta = \sphericalangle PRR_1\,;\ \beta_1 = \sphericalangle P_1R_1R_2$$



4. joon.

Et enam-vähem täpselt teada saada selle sentraalnurga α suurust ja ühtlasi ka kaare pikkust, toon järgmise tõestise. Maakera pinnal võetud kaarele KK_1 (4. joon.) on

läbi punkt T võetud tangensjoon T_1T_2. Maakera senter on Z tähistatud, kolmnurgad T_1TZ ja T_2TZ on ühesuurused. Teada on tarvis sentraalnurga α suurust, mille juures tangensjoone T_1T_2 pikkuse (t) ja kaare KK_1 pikkuse (k) vahe t—k ei oleks suurem kui meie harilik mõõtmise täpsus, s. o. 0,01 m. — Ühtlasi on tarvis teada maapinnal sentraalnurga α vastava puutujajoone T_1T_2 ja kaare KK_1 pikkust.

Trigonomeetriast on teada: $T_1T_2 = t = 2R\text{tg}\beta$(I), kus R on maakera raadius ja β on $^1/_2$ sentraalnurgast α, mis võetud radiantmõõduks.

Teisest küljest on teada, et kaare KK_1 pikkus on:

$$k = 2R.\beta \text{ (II)}$$

Seepärast

$$t - k = 2R\text{tg}\beta - 2R\beta = 2R(\text{tg}\beta - \beta) \text{ (III)}.$$

Kõrgemast matemaatikast teame:

$$\text{tg}\beta = \frac{\beta}{1} + \frac{\beta^3}{1.3} + \frac{2\beta^5}{1.3.5} + \dots$$

Seda arvu eelmisse valemisse asetades leiame:

$$t - k = 2R\left(\frac{\beta}{1} + \frac{\beta^3}{1.3} + \frac{2\beta^5}{1.3.5} + \dots - \beta\right) = 2R\left(\frac{\beta^3}{1.3} + \frac{\beta^5}{1.3.5} + \dots\right) \text{ (IV)}.$$

Silmas pidades, et R on umbes 6000 km, oleks $R^4 =$ $= 1\,236\,000\,000\,000\,000$; kuna aga k on võrdlemisi väike ja ühtlasi k^5 on väike, siis on murdarv $\frac{k^5}{120.R^4}$ liiga väike ja teda tuleks jätta tähelepanemata, seega oleks ümmarikult võttes: $t - k = \frac{k^3}{12.R^2}$; R on teada; t — k kohta avaldasime soovi, et see oleks 0,01 m; siit on võimalus ära määrata: $K = \sqrt[3]{12.0{,}01.6\,000\,000^2} = 16290$ m ehk ümmarguselt 16 km. Tähendab, 16 km pikkuse joone mõõtmisel maakera kumeral geoidi pinnal on kaarjoone KK_1 ja tema projektsiooni vahe vähem kui 0,01 m. Suuremate pikkuste ja pindade mõõtmisel, kui me ei taha üle astuda täpsusest 0,01 m, tuleb arvestada geoidi kumerat pinda.

Joonele $KK_1 = 16$ km vastab väli 200 ruutkm ehk võrduvalt 20000 ha. Kõik kujud ja jooned, mis selles piiris mõõdetud, võib projekteerida horisontaaltasapinnale, sest viga

nende projektsioonide ja geoidi pinnale võetud projektsioonide vahel ei ole suurem kui 0,01 m. Kaarele $KK_1 = 16$ km vastab sentraalnurk $= \frac{360.60.16}{2.3,14.6\,000} =$ ligikaudu 9 minutit.

Kaardid oma sisu ja otstarbe järele, mis nende koostamisel aluseks võetud, jagunevad järgmisteks:

1. rajakaardid, kus kõik piirid iseäranis täpselt üles tähendatud, sisemine situatsioon aga kõrvaliseks asjaks jäetud. Piirjoonte kohta on antud joonte pikkused, rumbid, nurgad, nurgamärkide kirjeldus, naabermaade kirjeldus j. n. e.;

2. tulunduslikud, mis omakorda võivad olla metsa, põllu ja heinamaa kaardid. Nende kaartide juures on sisemine jaotus täielik, kuna andmed piirjoonte kohta puuduvad;

3. topograafilised kaardid, kus tähistatud kõrgused ja maastiku iseloom.

Tihtilugu nimetatakse topograafiliseks kaardiks igasuguseid sõjaväe-kaarte, millede ülesandeks on võimaldada sõjaväe liikumisel orienteerumist. Nendel kaartidel on peale kõrguste täpselt tähistatud teed, veekogud, sood, rabad, hooned, veskid ja muud silmapaistvamad, orienteerumiseks tarvilikud asjad, mis teistel kaartidel kõrvalise tähtsusega.

4. Hüdrotehnilised kaardid, kus joonistatud järved, jõed, ojad, kraavid ning muud veeteed ja ära tähendatud nende vete sügavus ning lang. Peale selle on olemas geoloogilised, meteoroloogilised, mullastiku, ja rida muid eri ülesannetega kaartisid.

Tarvitusele võetud meetodite järele võib maamõõtmine olla kas geomeetriline või trigonomeetriline. Esimene meetod esitab peaasjalikult joonte mõõtmist, kuna teise meetodi järele üks ainus joon täpselt mõõdetakse ja terve muu töö seisab nurkade mõõtmises ja nende arvude põhjal teiste pikkuste arvutamises. Veel on olemas kolmas — graafiline meetod, kus ära jääb igasugune joonte ja nurkade arvutamine ning nurkade mõõtmine ja töö sisaldab peamiselt koha peal kujude joonistamist, abiks võttes üksikute joonte mõõtmist ketiga.

Peale punktide ja joonte horisontaalpinnale kujutamist on tihti tarvis teada saada nende vertikaalset seisu küsimuse sel-

gituseks, missugune asi teisest kõrgemal, või tegelikuks maakera pinnal olevate punktide kauguse määramiseks maakera geoidpinnast. Säärasel korral võetakse ette mõõtmine vertikaalpinnas ja projekteeritakse saadud jooned vertikaalsele pinnale. Säärast joonistust, mis kujutab maapinna vertikaal-läbilõiget, nimetatakse profiiliks ja mõõtmistöid sel alal loodimiseks ehk nivelleerimiseks.

Nivelleerimine võib olla geomeetriline, trigonomeetriline või baromeetriline. Geomeetriline põhjeneb peamiselt otsesel mõõtmisel, trigonomeetriline — mõõdetud nurkade abil joonte vertikaalprojektsioonide väljaarvutamisel. Baromeetriline nivelleerimine põhjeneb sellel, et kõrgemates õhukihtides, mida kaugemale maakera sentrist, õhusurumine alatasa väheneb. Viimane loodimisviis on tarvitusel peaasjalikult mägistes maades.

Juhtumil, kui horisontaalkaardil on tähistatud ka kohtade kõrgused, nimetatakse säärast kaarti topograafiliseks.

Mõõtmine ja mõõduühikud.

Sõna «maamõõtmine» näitab juba, et meil siin iga sammu peal on tegemist mõõtude ja mõõtmisega.

Mõõtmine on kahe suuruse võrdlemine, kusjuures üks suurustest on arvatud mõõduühikuks.

Endised mõõdud olid teatud vahekorras inimese kehaosade suurusega. Näit.: jalg — keskmise inimese jala pikkus suure varba otsast kuni kontsani; küünar — inimese käe pikkus küünarnukist keskmise sõrme otsani; toll — suure sõrme esimese liikme pikkus; süld — laialisirutatud käte kaugus ühe käe sõrmede otsast kuni teise käe sõrmeotsteni. Aja jooksul tunnustati seadusandlikul teel ühe või teise riigi kohta teatud mõõdud ühesuguselt muutumatuks (Venemaal näit. aastal 1649). Rahvaste liiklemisel ja kaupade vahetamisel tekkis tarvidus ühiste rahvusvaheliste mõõtude järele. Näiteks Venemaa kaubanduslik läbikäimine Inglismaaga mõjus palju selleks kaasa, et XVIII sajandil Venemaal pikkuse algmõõduks tunnustati inglise jalg à 12 tolli. Mõõtude ühtlustamise protsess kestab

praegugi veel edasi, nimelt võetakse ikka enam ja enam prantsuse meetrisüsteem tarvitusele. Eesti kohta on meetrisüsteem ametlikult tarvitusele võetud 1. I. 29. a., kuna metsamaterjalide mõõtmiseks see sündis juba 1. juulil 1928. a. Soomes oli meetrisüsteem tarvitusel juba 1892. aastast.

Meetrisüsteem läheb teistest oma lihtsuse poolest lahku: iga järgmine ühik on eelmisest 10 korda suurem; pikkuse-, pinna-, ruumi- ja kaalumõõtude vahekord on lihtne. Algmõõduks on arvatud pikkusemõõt 1 meeter, — see on üks kümnemiljondik osa veerand Pariisi meridiaani pikkusest. Osa sellest meridiaanist mõõdeti ära Dünkircheni ja Barcelona vahel 1792.—98. a. prantsuse mõõtudes. Saadud andmete järele oli $^1/_4$ Pariisi meridiaani pikkus 5 130 740,74 toasi suur; seega on üks meeter $\frac{5130740}{10000000} = 0{,}5130740$ toasi, missuguses suuruses valmistatigi «algusmeeter» ehk normaalmeeter plaatinast.

Kohalikkude mõõtudena olid meil käesoleva ajani tarvitusel:

pikkusemõõdud:

üks maamõõdu-küünar = 24 inglise tolli = 2 inglise jalga;

pinnamõõdud:

üks Riia vakamaa[1]) = 10 000 ruutküün. (ruut külgedega 100 × 100 küünart) = 816,33 □ sülda.

üks kapp = $^1/_{25}$ osa vakamaast = 400 □ küünart (ruut külgedega 20 × 20 küünart);

üks Tallinna vakamaa = $^1/_6$ tess. = 400 □ sülda (umbes $^1/_2$ Riia vakamaad);

üks uus Tallinna tündrimaa = 1 200 □ sülda = $^1/_2$ tess. ehk 3 Tallinna vakamaad;

üks vana Tallinna tündrimaa = 1 377,5 □ sülda = = 0,68 hektaari;

üks Riia tündrimaa = 35 kapamaad = 1 400 □ küünart ja üks postivahe = 4 Tallinna vakamaad.

---

[1]) Tihti tarvitatakse rahva seas sõna vakamaa pikkusemõõdu tähenduses: „kahe vakam kaugusel“ j. m. Säärasel korral tuleb vakamaa all mõista pikkust à 100 küünart.

Ühtlasi olid meil tarvitusel vene mõõdud.

Pikkusemõõdud:

üks verst = 500 sülda;
üks süld = 7 jalga = 3 arss.;
üks jalg = 12 tolli;
üks toll = 10 liini;
üks arssin = 28 tolli = 16 verss.;

pinnamõõdud:

üks tiin (tessatin) = 2 400 □ sülda. = 1,0925 ha

Meetrisüsteemi jaotus on järgmine:

1 meeter (39,36 tolli) = 10 detsimeetrit = 100 sentimeetrit =
= 1 000 millimeetrit;
10 meetrit = 1 dekameeter;
100 „ = 1 hektomeeter;
1 000 „ = 1 kilomeeter = 468,7 sülda.

Pinnamõõdud:

100 □ m = 1 aar;
10 000 □ m = 1 hektaar = 100 aari. = 0,9153 tiinu

Enne maailmasõda olid meetrimõõdud peale Prantsusmaa tarvitusel Itaalias, Belgias, Norras, Hispaanias, Portugalis, osalt Saksamaal, Austrias ja Helveetsias.

Peale pikkuse ja pinna mõõtmise kui peaülesande on maamõõtmisel tegemist nurkade mõõtmisega, millele tuleb vaadata kui abimõõtmisele peaülesande saavutamiseks.

Täisnurk jagatakse 90 kraadiks, 1 kraad 60 minutiks ja 1 min. 60 sekundiks. Neli täisnurka moodustavad ringi. Kraadid tähistatakse märgiga —^{0}, minutid —$'$ ja sekundid $''$. Viimasel ajal on tarvitusel peale 90-kraadilise jaotuse veel uus, mille juures täisnurk jaotatakse 100-ks kraadiks, 1 kraad 100-ks minutiks ja 1 minut 100-ks sekundiks. Selle uue jaotuse puhul tähistatakse kraadid märgiga ^{g}, kuna minutid ja sekundid juurde kirjutatakse murdarvuna. Näiteks 48^0 20$'$ 15$''$ uue jaotuse järele on 53^g,7083.

Trigonomeetrias on tarvitusel kolmas nurkade mõõtmise viis. Seal on mõõduühikuks nurk, mille kaare pikkus on ühesuurune vastava raadiusega. Täisnurk oleks selle mõõdu järele: $\frac{\pi}{2} = \frac{3,14}{2}$; $\measuredangle 180^0 = \pi = 3,14$ jne.

Punktide ja joonte kujutamine väljal ja paberil.

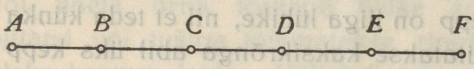
Matemaatilisel punktil ei ole pikkust, laiust ega kõrgust. Paberil oleks teda teoreetiliselt võimatu üles tähendada, teda võib ainult kujutleda. Siiski kujutatakse punkti paberil täpina, mis teravaks tehtud pliiats järele jätab, ehk tähendatakse sirkli või nõela õrna torkega väike auk paberile, mille ümber pliiatsi või tušiga tõmmatakse ringjoon, et väikest augukest oleks kergem leida. Väljal (looduses) on punkt vertikaaljoone ja maapinna läbilõike koht. Tähtsamad punktid maapinnal, näiteks piiri käänaku kohad, märgitakse ära ristikivide või piiritulpadega. Ristikiviks tarvitatakse meil harilikku põldkivi (graniit), millele terasest peitliga sisse raiutakse nurgast välminevate joonte suund. Välismaal, kohtades, kus ei leidu põllukive, tarvitatakse viimasel ajal sement-tulpasid, mis umbes 60—100 cm kõrged, pealt 10—15 cm ja alt 20—30 cm jämedad. Tulba peal on punkt tähistatud sisseraiutud ristiga. Ristikivist on $^2/_3$ maa sisse kaevatud. Peale ristikivide on meil tarvitusel puust piiritulbad, millede suurus oleneb piiride tähtsusest. Harilik mõõt on neil — 2 arss. pikad ja 4 verss. jämedad. Postist kaevatakse $^1/_3$ maa sisse. Posti ümber kaevatakse mullaküngas. Et posti kohalt ära ei saaks tõsta, tuleb enne mullasse kaevamist teha tema alla põikpuudest rist. Tihti kaevatakse välimiste märkide alla sügavasse mulda asjad, mis ei mädane, näit.: telliskivi sisseraiutud ristiga, drenaažitorud, põldkivid ja muud. Kõik ülemaltähendatud punktide kujutised on jäädavad ehk alalised.

Maamõõdu-tööde läbiviimisel peavad kõik punktid olema kaugele näha. Selleks seatakse tähtsamate punktide kohal üles 2—3 sülla pikkused vaiad, millede pealmine ots tehakse silma-

paistvaks lipukese, lauakese või muu asjaga. Suuremate pindade mõõtmisel, kui mõõdetavad punktid asuvad üksteisest juba kümne versta kaugusel, tuleb punktide kohta ehitada maamõõdu-tornid, millede kõrgus ulatuks 5—15 süllani, nii et nad metsarikastes kohtades näha oleksid üle puude latvade.

Vähemate tööde puhul toimub ajutiste punktide tähistamine nurgakepi abil. Nurgakepp on 2—3 meetri või 7—10 jala pikkune, 1—$1^1/_2$ tolli jämedune alt teravaks löödud otsaga ja on värvitud vaheldumisi punase ja valge värviga iga $^1/_2$ meetri, jala või $^1/_{10}$ sülla tagant. Värvimise otstarve seisab selles, et valge koht kepil oleks hästi näha mustal foonil, kuna punane koht jälle selgesti paistab vastu heledat fooni (taevas). Nii vaiad kui ka kepid peavad seisma loodis ehk vertikaaljoones. Juhtumil, kui nurgakepp on liiga lühike, nii et teda künka tagant võimatu näha, kinnitatakse kaksikrõnga abil üks kepp teise otsa, mille juures tuleb rõhku panna sellele, et kepid seisaksid vaatesuunas üksteise järel, mitte kõrvu. Kiviteedel, kus nurgakeppi võimatu maa sisse vajutada, võib teda üles seada tugivarbadest koosneva kolmnurga abil. Niisama toimub nurgakepi ülesseadmine ristikivide kohal. Üks suuremaid maamõõtmisi Eestimaal ja Liivimaal oli Vene sõjaväe-topograafide poolt a. 1904—08 korraldatud mõõtmised, milleks ehitati palju vaatetorne; neist on mõned üksikud veel alles püsinud. Kui torn aastate jooksul ära laguneb, jäävad alles torni kohal maa sisse kaevatud nurgamärgid, mis tulevaste maamõõdu-tööde juures tähtsat osa etendavad. Peale nurgapunktide tähistatakse sagedasti jäädavalt kohtade vertikaalkõrgused (merepinnast) teatud punktides. Sääraseid punkte nimetatakse reeperiteks. Harilikult leidub reepereid raudteejaamades, kus hoonete seinte sisse on löödud raudkiilud või naelad, millede peal on tähistatud kõrgus merepinnast sajandikkudes või tuhandikkudes süldades. Saksamaal on reeperid õige sagedasti üles seatud, — kõik suuremad maanteed on ära looditud ja teede ääres siin ja seal majade seintesse naelutatud reeperid (Höhenmarken). Säärased tähistused reeperite näol on loodimistööde korraldamisel õige tähtsad: nende järele otsustatakse, kuhu poole kaldub vee lang.

Matemaatiline joon on ühe punkti trajektooria, s. o. kuju, mis sünnib punkti liikumisest. Joonel on üks ainus mõõde — pikkus, kuna tal teoreetiliselt ei saa olla jämedust, laiust ega kõrgust. Tegelikult on igal pliiatsiga tõmmatud joonel nii laius kui ka paksus (grafiidikord, mis paberile järele jäänud). Seega võime matemaatilist joont ainult kujutleda. Sirgjoone kujutis paberil sünnib joonlaua abil pliiatsiga või joonsulega joonlaua äärt mööda tõmmates. Iga joonlaud tuleb enne tarvituselevõtmist ära proovida: 1) pealmine ja alumine joonlaua pinnad peavad olema tasapinnad, mis selgub, kui joonlauda hoida mitmes suunas vastu enne ära proovitud tasapinda, kusjuures joonlaua pinna ja tasapinna vahel ei tohi olla mingisugust vahet; 2) joonlaua serv peab olema sirgjoon, mis selgub, kui kahe punkti vahel üht serva kaudu tõmmata joon, siis joonlaud ümber käänata ja teda teiselt poolt litsuda selle joone külge ja uuesti tõmmata joon nendesamade punktide vahele; kui jooned seejuures sulavad ühte, siis on joonlaua servad õiged.

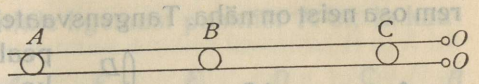


5. joon.

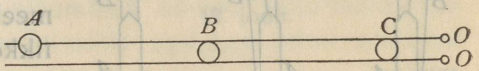
Sirgjoone kujutis väljal sünnib kahe nurgakepi abil, sest kahe punkti vahele võib tõmmata ainult ühe sirgjoone. Kui sirgjoon juhtub olema pikk, kusjuures kahe lõpp-punkti vahel ette tulevad takistused, mis keelavad ühest punktist näha teist, näit. põõsad ja puud, siis tulevad need takistused kõrvaldada, s. o. joone kahe äärmise punkti vahele ajada siht.

Sihiajamine toimub sihitikkude abil. Sihitikud on valmistatud sirgetest kuuskedest, umbes 5-e jala pikkused, pealmine ots tehtud valgeks ja lõigatud teravaks. Maa sisse surutud tiku latv peab ulatuma inimese silma kõrgusele. Lühikeste joonte sisseajamine võib sündida ka nurgakeppide abil, kui viimaseid on olemas vastaval arvul. Sihiajamisel võib tulla kaks peajuhtumit: 1) sihti jätkata kahe punkti (kahe tiku) järele, või 2) kahe punkti vahele ajada siht. Esimesel juhtumil (5. joon.), kui punktides A ja B on juba üles seatud sihitikud, asub maamõõtja punkt C-sse, mis võib olla punkt B-st lage-

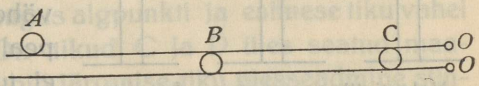
dal väljal umbes 20—30 sülla kaugusel, metsas aga umbes 10 sülla kaugusel. Pahemale ja paremale poole liikudes leiab maamõõtja paiga, kus sihitikk B täiesti ära katab tiku A. Siinkohal B ja A poola vaadates, väljasirutatud käes sihitikku C loodis hoides, liigutab ta seda tikku paremale ja pahemale poole niikaua, kuni tikk C täiesti B ja A ära katab; siis vajutab maamõõtja tiku mullasse ja, sülda paar tagasi astudes, vaatab veel eemalt, kas A, B ja C seisavad ühes joones.



6. joon.

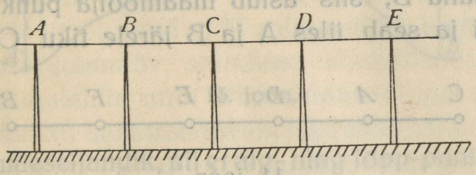


7. joon.



8. joon.

Juhtumil, kui tikk C on pandud õieti, on puutujajoon C ja B ühtlasi ka tangensjooneks A-le (6. joon.) nii tiku C paremalt kui ka pahemalt poolt vaadates. On aga tikk C valesti üles seatud, siis lõikab tikkude B ja C tangensjoon tikku A (7. joon.) või läheb sellest kõrvalt mööda (8. joon.), mis iseäranis silma torkab, kui me vaatame vaheldumisi pkt. O, ja $O_{„}$-st. Üle tiku E ladva vaadates leiame (9. joon.), et tikud A, B, C, D ja E moodustavad justkui ühe vertikaaljoone: üks tikk on teiste pikenduseks.

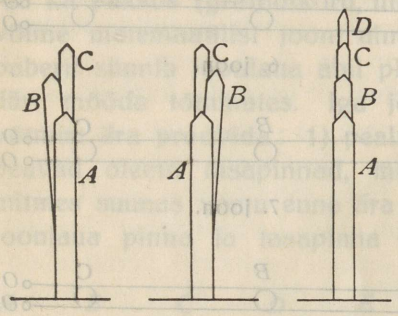


9. joon.

Pole tikud õieti seatud, siis näeme murtud joone sarnast kuju (10. joon.). Kui tikk C seisab igapidi õieti, siis taganeb maamõõtja veel 30 sülda ja hakkab seadma neljandat tikku D, kusjuures endine töö kordub j. n. e.

On terve rida tikkusid üles seatud ja tikud asuvad umbes ühekaugusel üksteisest, siis, silma pahemalt ja paremalt poolt viimast tikku hoides, leiame, et maa kahe naabertiku vahel väheneb proportsionaalselt sellejärele, mida kaugemal

tikud meist seisavad. See vahekord peab ühesugune olema punkt O′ ja O″ vaadatuna. Silma puutuja- ehk tangensjoonele lähemale hoides, leiame — mida lähemal tikud meile, seda suurem osa neist on näha. Tangensvaatejoon viimaste kahe tiku kohta peab olema tangensjooneks ka teiste tikkude kohta. Tikkude ülesseadmisel tuleb alati meeles pidada — mida vähem tikke, mida suurem nende vahe, seda rohkem võib loota, et siht saab õige. Ainult metsas, kus vähese valguse tõttu suure maa peal sihitikud on halvasti näha, ei tule tikkude vahe võtta mitte üle 10. sülla (keskmise metsatiheduse juures), sest kolm järjestikku olevat tikku peavad alati selgesti näha olema ühelt kohalt. Ka mägistes, künklistes kohtades peavad tikud seisma üksteisele lähemal.

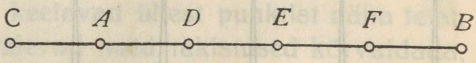


Valesti üles seatud. Õieti ül. s.

10. joon.

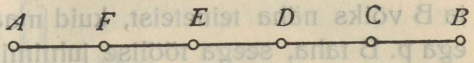
Teine juhtum sihiajamisel, kui kahe punkti (A ja B) vahel tuleb ajada siht (11. joon.).

Kui punkt A-st on näha B, siis astub maamõõtja punkt A-st ühe tikuvahe tagasi ja seab üles A ja B järele tiku C, tuleb siis punkt A-sse tagasi ja hakkab tikkude C ja A järele AB vahel üles seadma tikke D, E, F j. n. e. On maamõõtjal tööline või abiline, siis võib sihiajamine sündida ka järgmiselt (12. joon.): Maamõõtja asub punkt A-st mõne sülla maad tagasi, tööline punkt B juurest ühe tikuvahe A-le lähemale. Väljasirutatud käega hoiab ta tikk C-d loodis oma kõrval. Maamõõtja, viseerides üle tiku A tikk B peale, juhib töölist, et tema tikk oleks vertikaalpinnas tikkude A ja B-ga, seejuures märku andes kätt välja sirutades kas paremale või pahemale poole. On tikk õieti, siis annab ta märku liigutusega ülevalt alla. C järele seatakse tikk D, siis E j. n. e kuni tikk A-ni.



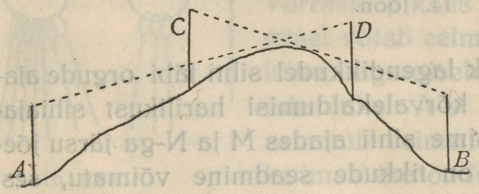
11. joon.

On soovitav, et tööline ei hakkaks tikku üles seadma mitte maamõõtjale ligemast punktist, vaid alati kaugemast, ja liiguks seega tikke seades maamõõtja poole. Juhtumil, kui sihiajamine algaks maamõõtjale ligemast punktist A-st, ja kaugus alguspunkti ja esimese tiku vahel pole mitte küllalt pikk, katab tikk C vaatesihi A-st B-le niipalju ära, et järgnevaid tikke võib kergesti üles seada vale suunas, kuna see jääb maamõõtja silma eest tikk C varju; kui soovitakse alata tööd punkt A juurest, siis peab kaugus algpunkti ja esimese tiku vahel olema võimalikult suur. On tikud C ja D üles seatud maamõõtja juhatuse järele, siis võib järgmise tiku ülesseadmine sündida juba nende kahe järgi.



12. joon.

Kahe punkti vahel sihti ajades võib ette tulla, et punkt A-st ei ole näha B suure kauguse tõttu. Säärasel korral aetakse siht binokli abil või seatakse punkt A kohta üles teodoliit ja sihitikud asetatakse oma kohale teodoliidi pikksilma läbi vaadates.



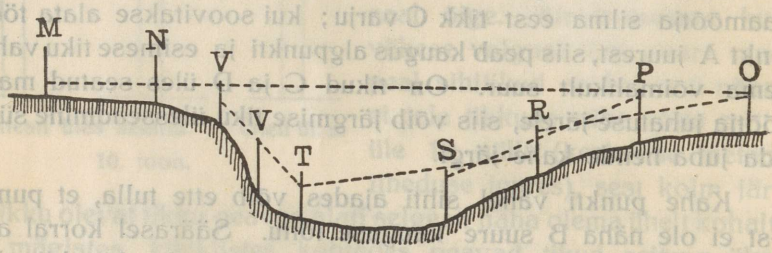
13. joon.

Juhtumil, kui kahe punkti vahel asub mõni mäeseljandik, nii et alg- ning lõpp-punkti ei ole näha (13. joon.), lähevad maamõõtja töölisega mäeseljandikule punkt A ja B vahele, teineteisest keskmise tikuvahe kaugusele, nõnda, et maamõõtja üle töölise viseerides näeks punkt B ja tööline üle maamõõtja viseerides näeks punkt A. Alguses juhib maamõõtja punkt C-st töölist, et ta seaks üles tiku D punktide C ja B vertikaalpinnas. Nõnda kordamisi teineteist juhtides jõuavad mõlemad oma tööga niikaugele, et maamõõtja üle oma tiku C näeb tööline tikku D ühes joones punkt B-ga ja tööline üle oma tiku D näeb maamõõtja tikku C ühes joones punkt A-ga.

A. . . . . B

C. . D

Ülemaltoodud sihiajamisviisi tuleb ka tarvitada, kui punktid A ja B juhtuvad seisma seina, müüri või aia kõrval, nii et p. A ja B võiks näha teineteist, kuid maamõõtja ei saa asuda ei p. A ega p. B taha, seega töölise juhtimine kahe punkti järele muutub võimatuks. Nende küsimuste lahendamiseks võib kasutada ka kahe peegliga ekkerit, mille kohta allpool järgneb seletus.



14. joon.

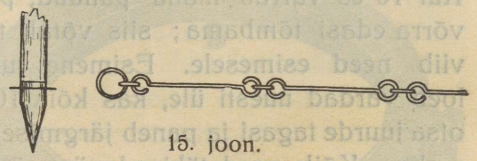
Mägistes maades ehk lagendikkudel sihti läbi orgude ajades tuleb vahel väikseid kõrvalekaldumisi harilikust sihiajamisviisist. Näiteks, jõudsime sihti ajades M ja N-ga järsu jõekaldani; 14. joon. edasi on tikkude seadmine võimatu, sest järgmine tikk tuleks N-le liig lähedale, mille tõttu sihiajamine kalduks õigest joonest kõrvale. Säärasel korral seatakse tikkude M ja N järele teisel pool kaldal üles tikud P ja O ja nende järele vahepealsed R, S ja T. Siis N ja T suunas veel mõned vahetikud V ja V_1.

Künklistel ja mägistel maadel tuleb iseäranis suurt rõhku panna sellele, et tikud üles seataks loodis.

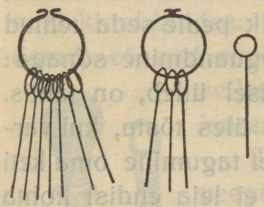
Pikkusemõõdu abinõud ja joonte mõõtmine.

Joonte mõõtmiseks on XVII sajandi algusest tarvitusel maamõõdukett (15. joon.). Läänemeremail oli senini tarvitusel Liivimaa küünrakett, mis oli 25 küünart ehk 50 jalga pikk.

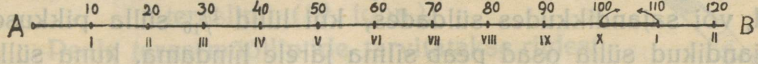
Seega oli vakamaa laius 4 ketitäit. Keti üksik osa on ühe jala pikkune. Keti otstel on suuremad rõngad, milledest ketikepp läbi pannakse; ketikepp on 3—4 jala pikkune, tolli $1^1/_2$—2 jäme, alumine ots on rauaga üle löödud ja 4 tolli kõrgusel läbi aetud raudpulk. Selle pulga peale jääb ketirõngas peatuma. Nende keppide abil saab, neid loodis üles seades, mõõtmist juhtida tarvilikus suunas. Ka saab nende abil ketti sirgeks tõmmata. Peale 50 jala pikkuse keti on meil veel tarvitusel Venemaa ametlik kett, 70 jalga = 10 sülda pikk. Selle üksikud lülid võivad olla kas 1 jalg või $^1/_{10}$ sülda pikad. Iga sülla järele on lülide vaherõnga külge kinnitatud ümmargune vasklapp, mille peal on tähistatud süldade numbrid 1—10-ni või 1 ⟶ 5 ⟶ 1. Igale ketile on juurde lisatud peale ketikepi 10 raudvarrast (16. joon.) ja 2 rõngast varraste hoidmiseks. Varraste pikkus on umbes 1 jalg. Mõõtmisel võtab eelmine töölistest vardad oma kätte, tagumisele jääb tühi rõngas. Punktide vahel A-st B-ni mõõtes (17. joon.) sammub esimene B suunas. Kui tema 1 ketimaa ära on käinud, juhib teda tagumine tööline, et ta keti A ja B suunas sirgeks tõmbaks. On see tehtud, paneb esimene tööline esimese varda maha seda võimalikult vertikaalselt seades, ja ütleb tagumisele: «valmis». Mõlemad sammuvad nüüd edasi, kuni tagumine jõuab



15. joon.



16. joon.



17. joon.

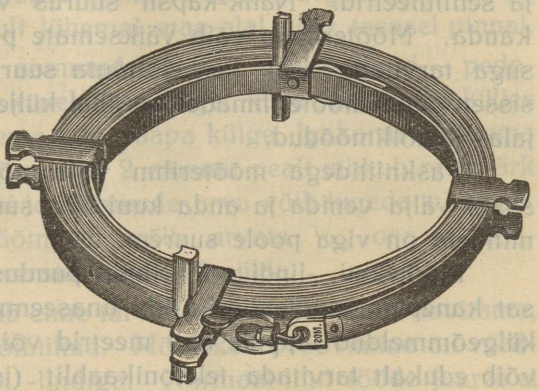
mahapandud vardani, siis hüüab ta «seisa!» ja vajutab oma ketikepi otsa varda kõrvale maa sisse; ühtlasi juhib tagumine, et esimene vastavas suunas p. B peale tõmbaks oma keti õigeks. On see tehtud, paneb esimene teise varda ja, tagumisele sõnaga: «valmis» märku andes, sammuvad mõle-

mad edasi, kusjuures tagumine esimese varda oma rõngasse pannes kaasa võtab. Nii sünnib edasi — esimene paneb iga 10 sülla järele varda maha ja tagumine korjab neid üles, kuni kõik 10 varrast maha pandud, — seega 100 sülda mõõdetud. Kui 10-es varras maha pandud, peab I-ne ketti veel 10 sülla võrra edasi tõmbama; siis võtab tagumine kõik 10 varrast ja viib need esimesele. Esimene tuleb talle pool maad vastu, loeb vardad uuesti üle, kas kõik 10 on olemas, läheb oma keti otsa juurde tagasi ja paneb järgmisest 100 süllast esimese varda maha. Kõik need tühised näpunäited on mõõtmisel õige tähtsad, näit. sünnib varraste üleandmine 100. sülla juures, ilma et I-ne ketti 10 s. võrra edasi oleks tõmmanud, siis võib I-ne unustades sama kohta jälle ühe varda maha panna; seega oleks varraste üleandmisel varraste arvu järele otsustades mitte 100 s., vaid 110. Niisama tähtis on varraste ülelugemine vahetusel. Tihti tuleb ette, et pika joone mõõtmisel äkki üks varras puuudub. Tekib küsimus, — millal see varras ära kadus; võib olla juba mõne tunni eest — ning kõik peale seda tehtud töö on tühine ja tuleb ümber teha. Ka märguandmine sõnaga: «valmis», mis esimene varda mahapanemisel ütleb, on tähtis. Vaikides võib tagumine oma ketiotsa enne üles tõsta, kui varras I-se poolt maha pandud; I-ne nõuab, et tagumine oma keti otsa uuesti maha paneks, kuid tagumine ei leia endist kohta üles ja mõõtmist tuleb alata uuesti.

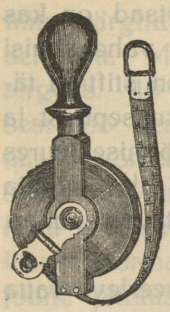
Punkt B-sse jõudes loeb tagumine oma vardad üle, võtab arvesse, mitu korda vardaid on vahetatud, ja saab sellega 10-ned süllad teada. Siis arvatakse juurde pikkus viimasest vardast kuni lõpp-punktini, mis keti järele mõõdetakse süldades, jalgades ja kümnendikjalgades, kui keti lülid jalapikkused, või sajandikkudes süldades, kui lülid $^1/_{10}$ sülla pikkused. Sajandikud sülla osad peab silma järele hindama, kuna süllad ja $^1/_{10}$-süllad ehk jalad ära loetakse keti pealt. Mõõdetud joone pikkus oleks $(100 \times m) + (10 \times n) + b$, kus m on varraste vahetuse arv, n tagumise mõõtja käes olevate varraste arv ja b joone lõpuots süldades, kümnendikkudes ja sajandikkudes.

Viimse kümne aasta kestusel on kett ikka enam ja enam

tarvitusest kõrvale jäänud; selle asemel tarvitatakse teraslinti, mis 10 sülda pikk, $^1/_{100}$ sülda lai, raudrõnga ümber keritud ja seisab rõngale juurde needitud 4-ja või 3-e hargi vahel. (18. joon.) Harkide harude otstele kruvitakse vindi abil sisse raudpulk, mis lindiotsa kinnitab ja lindi lahtikerimist takistab. Lindiotstes on vaskrõngad, milledest pannakse kepp läbi. Siin võib, lindi vähest raskust silmas pidades, sirgekstõmbamist ja sihti kaudu juhtimist teha ilma otsakeppideta, käega vaskrõngast kinni hoides. Vaskrõngad on šarniiri abil lindiga nii ühendatud, et nad annavad vabalt ümberringi käänata. See on selles mõttes tähtis, et lint ei satuks keerdu, millejuures ta kergesti murduks.

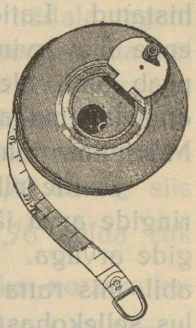


18. joon.



19. joon.

Teraslindi peal on iga $^1/_{10}$ sülda väikse vaskneega tähistatud, süllad aga on lindile märgitud vasklappidega. Meetrimõõtude juures on tarvitusele võetud 20 m pikkused, 2 cm laiused teraslindid. Vähemail maamõõdutöödel ja metsatakseerimisel tarvitatakse taskus kantavat teraslinti (19. joon.).



20. joon.

Peale teras-mõõtlintide tarvitatakse riidest mõõterihmu (20. joon.), mis nahkkapslisse kokku keritakse, mille tõttu neid kutsutakse ka rulllintideks (рулетка). Mõõterihmade jaoks tarvitatav linane riie on linaseemne-õliga läbi keedetud, seega niiskuse mõjust väljavenivuse mõttes teatud määral vaba.

Tihti on kujutud riide sisse pikuti vaskniidid, mis ka ta-

kistavad väljavenimist ning kokkutõmbumist. Lindil on õlivärviga tähistatud süllad, jalad ja tollid ehk vastavalt meetrid ja sentimeetrid. Nahk-kapsli suurus võimaldab linti taskus kanda. Mõõterihma võib väiksemate pikkuste mõõtmisel kasuga tarvitada seal, kus ei nõuta suurt täpsust. Välismaalt sissetoodud mõõterihmadel on ühel küljel meetrimõõdud, teisel jala- ja tollimõõdud.

Vaskniitidega mõõterihm võib mõne aja kasutuse järele siiski välja venida ja anda kuni 3% suuruse vea. Ilma vaskniitideta on viga poole suurem.

Mõõteketi, -lindi või -rihma puudusel võib tarvitada lihtsat kanepist mõõtenööri, mis linaseemne-õlis leotatud ja kus külgeõmmeldud lappide abil meetrid või süllad tähistatud. Ka võib edukalt tarvitada telefonikaablit (isoleeritud traati), millele iga meetri tagant traadi abil lapp meetri numbriga külge köidetud. Nööri ja kaabli võib puust raami ümber kerida.

Lääne-Euroopas tehakse täpseid mõõtmisi tihtilugu mitte teraslindi, vaid mõõtelattide abil, millede pikkus 5 m ja läbimõõt 5—10 cm; on tarvitusel ka 2—3 m pikkusi latte. Latid on keskpaigast jämedamad, otstest õhemad. Otsad on kas vasest või rauast. Latid on iga meetri tagant vaheldumisi punaseks ja valgeks värvitud. Iga detsimeeter on stiftiga tähistatud. Latid on tehtud sirgest männi- või kuusepuust ja enne ülevärvimist linaseemne-õlis leotatud. Mõõtmise juures peab alati olema 2 latti ja 2 mõõtjat, kusjuures üks mõõtja oma lati maha paneb teise mõõtja lati otsa mõõdetavas suunas. Mõõtmine toimub pinguletõmmatud nööri abil.

Joonte pikkust võib arvutada joont mööda veerleva ratta ringide arvu järele, kui ratta ringjoone pikkust korrutada ringide arvuga. Ringide arv tehakse kindlaks teatud mehhanismi abil, mis ratta külge konstrueeritud. Viimasel ajal on võimalus sellekohastelt aparaatidelt ära lugeda km ja sajandikke km. Säärased km-mõõtjad on jalgrataste ja autode juures tarvitusel. Ka on pikkuse mõõtmiseks tarvitusel spetsiaalratas, mille abil mõõtmine häid tagajärgi annab iseäranis tasastel kiviteedel.

Umbkaudne mõõtmine võib sündida sammude järele, kus vähese harjumise järele iga sammu 1 arss. pikkuse võib võtta.

Tähendab, iga 3 sammu on 1 süld. Sammudega mõõtes on parem lugeda süldi kui samme, s. o. arv öeldakse iga kolmanda sammu järele. Ühe meetri pikkuste sammudega mõõtmist on võimalik teostada ainult lühemal maa-alal ning tasasel pinnal.

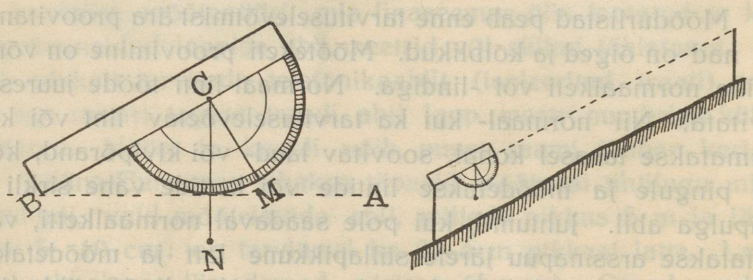
On tarvitusel ka sammudelugejad mehhanismid — pedomeetrid. Need seotakse kuuehõlma külge, kuna pedomeetri küljes olev niit seotakse parema jala saapa külge. Igakordsel parema jala väljasirutamisel, s. o. iga 2 sammu pealt nihkub rattavärk ühe pügala võrra edasi ja sammude arvu võib lugeda näitajalt. Viga sammudega mõõtmisel võib arvata $^1/_{50}$ osa mõõdetavast maast, s. o. 1 versta kohta 10 sülda.

Mõõduriistad peab enne tarvituselevõtmist ära proovitama, kas nad on õiged ja kõlblikud. Mõõteketi proovimine on võrdlemine normaalketi või -lindiga. Normaal-linti tööde juures ei tarvitata. Nii normaal- kui ka tarvituselevõetav lint või kett tõmmatakse tasasel kohal, soovitav laud- või kivipõrand, kõrvuti pingule ja mõõdetakse lintide või kettide vahe sirkli ja tollipulga abil. Juhtumil, kui pole saadaval normaalketti, valmistatakse arssinapuu järele süllapikkune latt ja mõõdetakse ning märgitakse selle lati abil mõne seina kaudu 10 sülda täpselt ära. Märkide vahel tõmmatakse proovitav kett või lint sirgeks. 10-süllane pikkus tuleb müüril jäädavalt ära märkida, sest töö kestusel tuleb ketti või linti iga paari nädala tagant uuesti võrrelda. Kett, mis ei ole õige, tuleb kõrvaldada või sepa kätte anda parandada. Võib ka mõõtmisel keti viga iga kord arvestada. Näit.: leidsime, et 10-süllane kett on 10-süllasest normaalketist ketist 0,07 sülda pikem. Kui mõõdetava joone pikkus oli ebaõige mõõteketi järgi = 62,32 sülda, siis on tema õige pikkus: $A = \frac{62{,}32 \times 10{,}07}{10} = 62{,}76$ sülda ehk $62{,}32 + \frac{0{,}07}{10} \times 62{,}32 = 62{,}76$ s.; kui kett oleks normaalketist 0,06 s. lühem ja selle ebaõige ketiga mõõdetud pikkus = = 82,4 s., siis oleks õige pikkus $A = \frac{9{,}94 \times 82{,}4}{10} = 81{,}91$.

Preisimaal on 5 meetri pikkuste lattide kohta lubatav vahe (normaal-latist) 1,6 mm. Ketiga tasasel maal mõõtmisel on lubatav viga $^1/_{1000}$ mõõdetavast joonest ehk 0,1%, teraslin-

diga poole võrra vähem, s. o. $^1/_{2000}$ ehk 0,05 %. Mägistel ja künklistel maadel võib viga olla 2 korda suurem, s. o. keti kohta $^1/_{500}$ ja teraslindi kohta $^1/_{1000}$ mõõdetud joonest.

Joonte mõõtmist tasasel pinnal on seletatud eelpool ketiga mõõtmise puhul. Siin võib arvata, et maapind on täiesti horisontaalne, seega joonte projektsioonide pikkus vastab joonte pikkusele. — Alati tuleb meeles pidada, et plaanil või kaardil ei ole kujutatud jooned, vaid nende projektsioonid horisontaaltasapinnal. Kui tuleb mäekülge kaudu mõõta või maapinnal, millel teatud kalle, siis peab joonte mõõtmisel kogutama



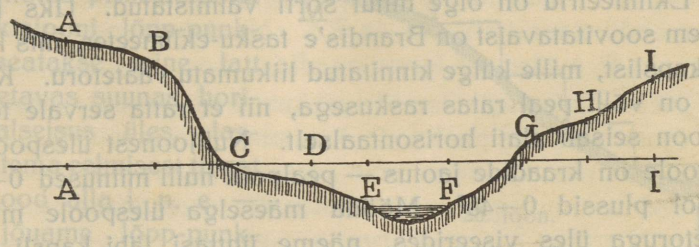
21. joon.

kõik andmed joone projektsiooni arvutamiseks. Selleks tuleb mõõta kaldenurk ja mõõdetud nurgakoosinusega korrutada kaldjoone pikkus, siis saame joone AB projektsiooni pikkuse AD:

$$AD = AB \cos \alpha.$$

Kaldenurga α võib kindlaks teha mõne liht-vertikaalnurga mõõduaparaadiga. Kõige lihtsam aparaat — eklimeeter — on joonlaud, mille külge on kinnitatud poolring kraadijaotustega. Poolringi sentris on rippuma pandud lood. Joonlaua kaudu vaadates saame kätte nurkade arvu poolringi pealt loodiniidi näitamise järele. Viseerimisel on tarvis, et eklimeetri kõrgus vastaks viseeritava asja kõrgusele, mis sünniks, kui eklimeetri seame ketikepi otsa külge ja teise kepiotsa peale viseerime. $\sphericalangle ABC = \sphericalangle NCM$, sest nurkade küljed on vastastikku perpendikulaarsed (21. joon.).

Kui mäeseljal või orust läbi mõõtes maapinnal on mitmekesine kalle, siis peab joone mõõtmisel ära tähendama, mis süllast mis süllani kalle muutub, ja iga üksiku kaldenurga kindlaks tegema. Näit.: läbi jõe oru minnes leiame, et (22. joon.)



22. joon.

A	kuni	B	— 25,0 m	—	kalle	— 1° 30′
B	„	C	— 22,5 „	„	„	— 60° 00′
C	„	D	— 20,3 „	„	„	— 5° 30′
D	„	E	— 23,7 „	„	„	— 28° 30′
E	„	F	— 15,0 „	„	„	0° 0′
F	„	G	— 28,5 „	„	„	+ 37° 15′
G	„	H	— 18,8 „	„	„	+ 1° 45′
H	„	I	— 32,2 „	„	„	+ 12° 0′
			186,0 m			

Seega oleks joone AI projektsiooni AI_1 pikkus $= 25{,}0 \times \times \cos 1^\circ 30' + 22{,}5 \times \cos 60^\circ + 20{,}3 \times \cos 5^\circ 30' + 23{,}7 \times \times \cos 28^\circ 30' + 28{,}5 \times \cos 37^\circ 15' + 18{,}8 \times \cos 1^\circ 45' + 32{,}2 \times \times \cos 12^\circ 0'$. Kuid selle asemel, et iga üksiku joone osa projektsiooni arvutada, võib arvutada joone ja üldise projektsiooni vahe ja selle mõõdetud joonest lahutada. Kui mõõdetud joone pikkus on p, joone projektsioon aga P, siis oleks parandus ehk pikkuste vahe $v = p - P$; $P - p\cos\alpha = p(1 - \cos\alpha) = 2p\sin^2\frac{\alpha}{2}$. Käesoleva valemi järele on parandused $1^\circ - 45^\circ$ pikkuste jaoks 1—9 meetrini välja arvutatud ja tabelina käesolevale raamatule lisaks pandud. Tabeli tarvitamise kohta väike näide: On mõõdetud kaldjoon AB, mille pikkus mõõtmisel oli 128 m, kalle 5°. Tabelist leiame paranduse:

5° kümne m kohta 0,04, 120 m kohta 0,48
5° kaheksa m kohta 0,03
Kokku 0,51

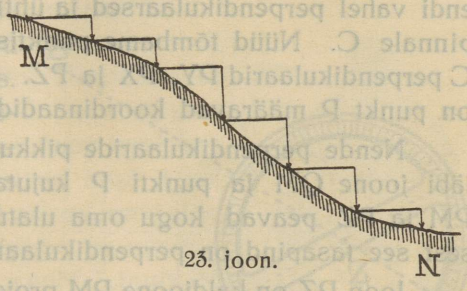
Seega oleks mõõdetava joone pikkuseprojektsioon 127,49 m.

Eklimeetrid on õige mitut sorti valmistatud. Üks kõige rohkem soovitatavaist on Brandis'e tasku-eklimeeter, mis koosneb kapslist, mille külge kinnitatud liikumatu vaatetoru. Kapsli sees on võlli peal ratas raskusega, nii et ratta servale tehtud nulljoon seisab alati horisontaalselt. Nulljoonest ülespoole ja allapoole on kraadide jaotus — pealpool nulli miinused 0—45°, allpool plussid 0—45°. Mööda mäeselga ülespoole minnes vaatetoruga üles viseerides, näeme ühtlasi läbi kapsli seina tehtud vaateaugu horisontaalseisus oleva ratta allpool nulli asuvaid pügalaid, mis plussiga märgitud ja maapinna tõusmist tähendavad. Et ratta pügalaid selgemini näha, on vaatetoru kõrvale kinnitatud väike suurendusklaas. Säärastel eklimeetritel on kapsli külje peal tihti paranduste tabel.

Veel olgu kirjeldatud Gauss'i eklimeeter, mis koosneb pikksilmast, veeloodist ja pikksilma külge kinnitatud sektorist. Veeloodi järele seatakse pikksilm ühes statiiviga (lihtne kepp) loodi, millejuures sektor näitab nullpunkti; siis viseeritakse mõõdetavat joont kaudu ühe ketikepi otsast teise kepi otsa peale ja tehakse sektori jaotuse järele kindlaks joone kalle kraadides. Kui joone kalle on vähem kui 3°, siis võib see hariliku töö juures, kui pikkusemõõtmine sünnib keti abil, jääda arvesse võtmata. Teraslindiga mõõtmisel tuleb arvestada kallet kuni 2°.

Joonte projektsioone võib ka otseteed mõõta. See sünnib väikese kalde puhul teraslinti horisontaaljoones pingule tõmmates ja lindi otsast loodi alla lastes. Sellega saab kaldjoone iga 20 m pikkuse kohta projektsioonid otsekohe kätte. Suurema kalde puhul on võimatu tervet linti horisontaalseisus sirgu tõmmata, sest esimese ketiotsa juures olija ei ulatu keti otsa nii kõrgele hoidma, et ta oleks tagumisega ühes tasapinnas, ja ümberpööratult. Käesoleval juhtumil võib linti 5 m viisi horisontaaljoones sirgu tõmmata. Täpipealsem on järsku kal-

duvate joonte projektsioonide mõõtmine mõõtelattide abil (23. joon.). Latt seatakse vesiloodi abil horisontaalseisu mõõdetavas sunnas, otsaga vastu alguspunkti; teisest otsast lastakse alla lood, mis kujutab latiotsa projektsiooni. Projektsiooni lõpp-punktist seatakse teine latt mõõdetavas suunas horisontaalseisus üles, lastakse tema eelmisest tipust jälle lood alla j. n. e. — kuni jõuame lõpp-punktini, kus lood alla ei lasta lati lõpp-punktist, vaid lõpp-punkti N kohalt. Lattide arv lati pikkusega korrutatult + viimase pealt saadud murdarv annab mõõdetava joone projektsiooni pikkuse.



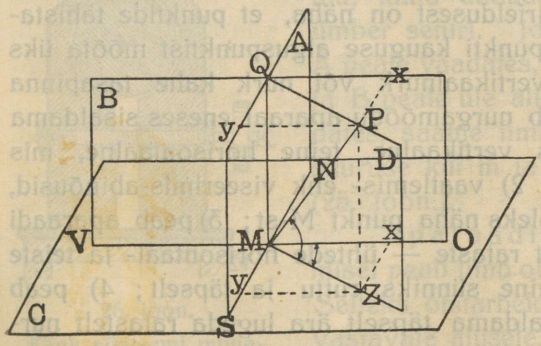
23. joon.

Vastumäge üles minnes on töö järjekord ümberpööratud.

Nurga mõõtmine.

Mõõduaparaatide üksikud osad.

Iga punkti seisukohta ruumis võib kindlaks määrata kolme perpendikulaari mõõtmisega. Punkti määrajaid perpendikulaare nimetatakse koordinaatideks. Tasapinnal oleva punkti seisukoht tehakse kindlaks kahe koordinaadiga. Võtame näiteks (24. joon.) punkt P mäeseljakul ja katsume selle punkti seisukoha all tasandikul (C) olevast alguspunktist M-st kindlaks teha. Kujutame läbi punkti M põhja-lõuna suunas mineva joone NS ja sellele perpendikulaarse õhtu-hommiku suunas mineva VO.



24. joon.

Mõlemad suunad on horisontaaltasapinnal C. Läbi joone NS kujutame ühe vertikaaltasapinna A, samuti läbi joone VO teise vertikaaltasapinna B. Mõlemad tasapinnad on endi vahel perpendikulaarsed ja ühtlasi perpendikulaarsed tasapinnale C. Nüüd tõmbame punktist P tasapindadele A, B ja C perpendikulaarid PY, PX ja PZ. Need kolm perpendikulaari on punkt P määravad koordinaadid.

Nende perpendikulaaride pikkused saame kätte järgmiselt: läbi joone QM ja punkti P kujutame tasapinna D. Jooned PM ja PZ peavad kogu oma ulatusel asuma ses tasapinnas, sest see tasapind on perpendikulaarne tasapinnale C.

Joon PZ on kaldjoone PM projektsioon vertikaalpinnale D. Tema suurus oleks: $PZ = d \sin \alpha$.

Teiste perpendikulaaride suurused oleksid:

$Px = d \cos \alpha \sin \beta$

$Py = d \cos \alpha \cos \beta$,

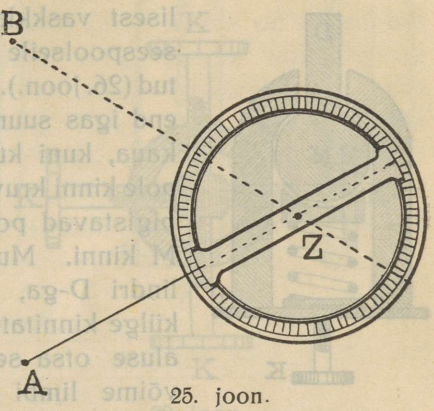
kusjuures d on joone PM pikkus, α on vertikaalpinnas asuva nurga PMZ suurus ja β on horisontaalpinnas asuva nurga OMZ suurus, mis võrdub vertikaalsete pindade B ja D vahelise nurgaga.

Joon MZ on kaldjoone PM projektsioon horisontaalsele tasapinnale.

Eelpooltoodud kirjeldusest on näha, et punktide tähistamisel on vaja peale punkti kauguse alguspunktist mõõta üks horisontaal- ja üks vertikaalnurk või nurk kahe tasapinna vahel. — Selleks peab nurgamõõdu-aparaat eneses sisaldama 1) kaks ratast — üks vertikaalne, teine horisontaalne, mis kraadidesse jaotatud; 2) vaatlemis- ehk viseerimis-abinõusid, millede läbi punkt P oleks näha punkt M-st; 3) peab aparaadi ehitus võimaldama, et rataste — ühtede horisontaal- ja teiste vertikaal-seisu seadmine sünniks ruttu ja täpselt; 4) peab aparaadi ehitus võimaldama täpselt ära lugeda ratastelt nurkade suurust.

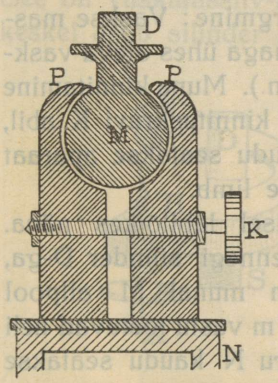
L i m b. Iga maamõõdu-aparaadi peaosaks on vaskratas, mis kallimatel aparaatidel hõbedaga kaetud ja millele kraadide jaotus sisse lõigatud, — nullist kuni 360°-ni. Üksikutel apa-

raatidel on jaotus kuni $^1/_2$ või vahest kuni $^1/_{10}$ kraadini. — Säärast ratast nimetatakse limbiks. Limbi jaotus võib olla paremalt pahemale poole, näiteks: astrolaabide ja suuremate bussoolide juures, — pahemalt paremale poole, nagu see on teodoliitide juures. On üksikud aparaadid olemas, kus limb juba on jagatud 400°. Siin on aluseks võetud lihtsam vahekord: 1. täisnurk = 100°; $1_0 = 100'$; $1' = 100''$.



25. joon.

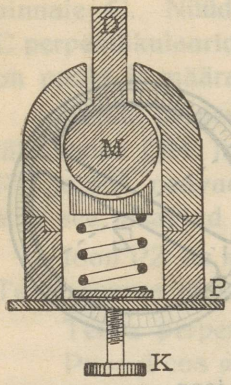
Alidaad. Limbi keskkohta kinnitatakse liht nurgamõõdu-aparaatidel joonlaud, mille otsad ulatuvad limbi kraadide pügalateni ja mille alumine pind libiseb õrnalt mööda limbi pinda. Säärast joonlauda nimetatakse alidaadiks. Alidaadi otstele on diametraalselt vastastikku märgitud kaks joonekest (indeksit). Viseerimisel peab limb liikumata paigal seisma, kuna alidaad end laseb käänata ümber sentri. Joonekeste suunas enne A peale vaadates, siis alidaadi käänates ja B peale üle alidaadi joonekeste vaadates, saame limbi kaarel nurga AZB suuruse kui m ja n kraadide arvu vahe (25. joon.).



26. joon.
Käpa süsteemi munašarniir-alus.

Aparaadi alus. Nurga mõõtmisel peab limb olema horisontaalseisus. Selleks otstarbeks pannakse limb alati vastavale alusele, mille abil limbi horisontaalseisu seadmine sünnib kiiresti. Alus seatakse statiivi otsa, nii et aparaadi alus on limbi ja statiivi ühendav osa. Alused võivad olla:

1. kuulšarniir- ehk munašarniir-alus;
2. nelikrist-alus ja
3. kolmjalg-alus tõstekruviga.



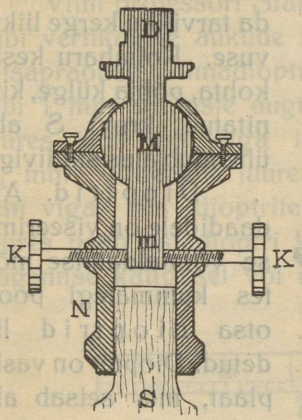
27. joon. Põhikruviga munašarniiralus.

Munašarniir-alus koosneb kaheharulisest vaskklambrist, mille pealmiste otste seespoolseile külgedele õõnsused sisse treitud (26. joon.). Õõnsuse sees annab vask-kuul end igas suunas vabalt ümber käänata niikaua, kuni kuul (muna) kinnituskruvi K-ga pole kinni kruvitud. — Kruvi K kinnitamisega pigistavad pooled P ja P_1 vaskmuna (kuuli) M kinni. Muna M on ühes tükis vasksilindri D-ga, mis ühesuurune limbi põhja külge kinnitatud toru auguga. Limbi toru aluse otsa seades ja kruvi K vabastades, võime limbi ühes vask-kuuli M-ga igas suunas käänata niikaua, kuni limb on horisontaalseisus — siis keerame kruvi K kinni. Aluspõhja tehtud toru N kaudu seatakse aparaat statiivi otsa.

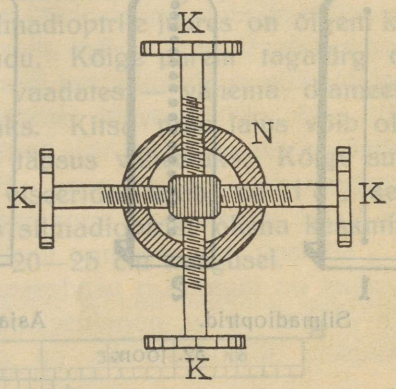
Teissugune munašarniiri ehitus on järgmine: Vaskse massiivsilindri T sees annab vaskmuna M temaga ühes oleva vasksilindri D-ga igas suunas käänata (27. joon.). Muna kinnitamine silindri T pealmiste seinte vastu sünnib kinnituskruvi K abil, mis aluse põhjast läbi käib. Plaat P kaudu seatakse aparaat statiivi otsa, kuna silindri 2 otsa seatakse limb.

Nelikrist-alus on 28. ja 29. joonisel läbilõikes näha. Vaskmuna lõpeb pealpool niisama kui ennegi silinder D-ga, mille ülesanne endine. Peale selle on munal M allpool silindrikujuline pikendus m. Selle silindri m vastu toetuvad neli paranduskruvi K ($_{1, 2, 3, 4}$). Aluse vasktoru N kaudu seatakse statiiv üles S otsa. Kruvi K_1 sisse käänates ja K_2 välja käänates lükkame ühes sellega silindri m alumist otsa paremalt poolt pahemale. Sellejuures liigub silinder D pahemalt poolt paremale poole ühes limbiga kaaludes, kuni limbi diameeter, mis kruvide K_1 K_2 joonele paralleelne, jääb horisontaalseisu. Kruvisid K_3 ja K_4 keerates saame esimesele diameetrile perpendiku-

laarse diameetri ka horisontaalselt, mille tõttu terve limbi pind ka jääb horisontaalseisu. Mõlemat liiki munašarniir-ühendused on vanemate aparaatide tunnuseks.

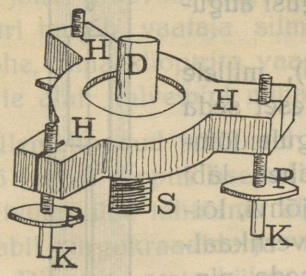


28 joon.

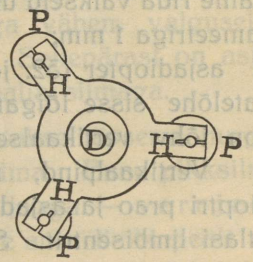


29. joon.
Nelikrist-alus.

Uuematel aparaatidel on aluseks kolmjalg tõstekruvidega. See on vaskmassiiv-alus K, millel kolm haru ($H_{1, 2, 3}$) ja mille keskel asub silinder D kui limbi ühendav tugi. Haru otstest



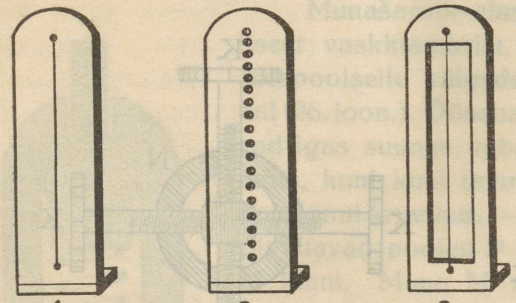
30. joon.



31. joon.

on tõstekruvid K ($_{1, 2, 3}$) läbi kruvitud, mis keset kruvi oleva pea P kaudu annavad käänata. Tõstekruvide alumised otsad toetuvad vastu statiivi pead (30. ja 31. joon.). Parempoolset kruvi K_1 sisse käänates laseme haru H_1 allapoole ja ühes te-

maga langeb allapoole ka silindri D otsas olev limbi parempoolne külg. Kolmjala haruotsad on pooleks saetud ja neist kruvid m läbi aetud. Kruvisid m kinni või lahti kruvides võib tõstekruvidele anda tarviliku kerge liikuvuse. Kolmharu keskkohta, põhja külge, kinnitatud kruvi S abil ühendub alus statiiviga.



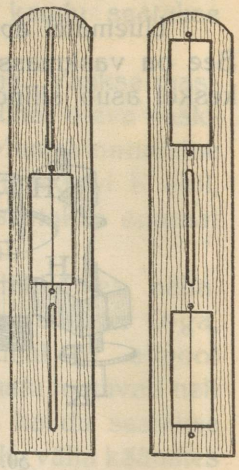
Silmadioptrid. Asjadiopter.

32. joon.

Dioptrid. Alidaadidele on viseerimise võimaldamise mõttes kummalegi poole otsa dioptrid liidetud. Diopter on vaskplaat, mis seisab alidaadi pinnale ja ühtlasi ka limbi pinnale perpendikulaarselt ja keskel sisaldab vaatepragu. Diopter võib oma vaatelõhe väljanägemise järele olla kahte liiki:

1. Silmadiopter (32. joon. 1, 2), millel on üks vertikaalne, kitsas 0,5 mm—1 mm laiune pragu või ühe kitsa prao asemel vertikaalne rida väikseid ümmargusi auguke si diameetriga 1 mm;

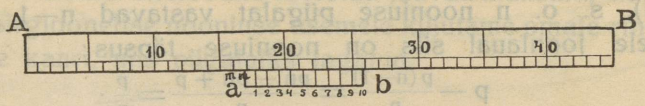
2. asjadiopter (32. joon. 3), millele lai vaatelõhe sisse lõigatud: keset seda lõhet on jõhv vertikaalselt pingule tõmmatud. Vertikaalpind, mis läheb läbi silmadioptri prao ja asjadioptri jõhvi, lõikab ühtlasi limbisentrit. Selles vertikaalpinnas sünnib viseerimine ja seda pinda nimetatakse kollimatsioonipinnaks. Kollimatsioonipinna ja limbi pinna ristläbilõike jooneks on limbi diameeter ja selle tõttu peab vaatlus silmadioptri otsa järele täpselt 180° võrra lahku minema asjadioptri otsa vaatlusest. Et ühe ja sellesama dioptritepaari kaudu võiks



33. joon.
Kolme-kollimatsioonipinnalised dioptrid.

vaadata mõlemale poole, antakse dioptritele juuresoleval pildil kujutatud väljanägemine, kus dioptritepaar sisaldab kolm kollimatsioonipinda (33. joon.).

Viini professori Stampfer'i uurimisel selgus, et viseerimine läbi vertikaalse aukude rea silmadioptrite juures on õigem kui kitsapraolise silmadioptri kaudu. Kõige parem tagajärg on läbi 1 mm suuruste augukeste vaadates — vähema diameetri juures jääb pilt liiga tumedaks. Kitsa prao laius võib olla $^3/_4$ mm. Laiemate juures jääb täpsus vähemaks. Kõige suurem viga, mis dioptrite läbi viseerides tekib, on 1'8", seejuures peab asjadioptri kaugus silmadioptrist olema keskmise nägemise kaugusel või umbes 20—25 cm kaugusel.



34. joon.

Dioptrite läbi vaatamisel võivad olla järgmised puudused: 1) silm ei harju ära, et mõnekümne meetri või koguni saja meetri kaugusel olevat asja ja umbes 20 cm kaugusel olevat jõhvi ühteviisi selgesti näha; 2) läbi kitsa prao ja asjadioptri tungib vaataja silma hulga vähem valgusekiiri kui otsekohe, ilma dioptrita vaadates. Sellepärast on asjad läbi dioptrite alati halvemini näha kui palja silmaga.

Ülemaltoodud põhjustel tarvitatakse täpsema nurgamõõtmistöö juures dioptri asemel pikksilma. Enne pikksilma ehitust tutvume ühe tähtsama alidaadi jaoga — vernjeeriga, mille abil nurgakraadide ja -minutite arvu limbi pealt saab lugeda. Dioptrite otste külge on kinnitatud väiksed liikumatud sektorid, millede servad alidaadi käänamisel limbi kraadide kohal liuglevad mööda limbi pinda. Dioptrite kollimatsioonipind lõikab neid vernjeeri sektoreid nullkriipsu juures. Kui alidaad jääb seisma ja nullkriips peatub 121. ja 122. kraadi vahel, siis on vaatlus $121 + {}^1/_4$ (15 minutit). Et minutite arvu saada kindlamalt teada, on vernjeeri sektorile peale nullkriipsu

märgitud veel terve rida pügalaid. Nende ehitus ja tarvitamine selgub 34. joonisest.

34. joon. kujutab joonlauda AB, millel iga üksik toll on jaotatud kümneks osaks; joonlaua kõrval on vähem joonlaud ab, mille pikkus vastab 9-le suure joonlaua pügalale, s. o. moodustab $^9/_{10}$ tolli kogu suuruses. Väike joonlaud ab on jaotatud kümneks osaks, iga joonlaua pügal seega $^9/_{10} : 10 = {}^9/_{100}$ tolli pikk. Pikkusevahe suure ja väikse joonlaua pügalate vahel on $^1/_{10} - {}^9/_{100} = {}^1/_{100}$ tolli. Väike joonlaud ab kannab nooniuse ehk vernjeeri nime. Suure ja väikse joonlaua pügalate vahet nimetatakse nooniuse täpsuseks.

Üldiselt, kui joonlaua üksikute pügalate pikkus on p, ja noonius on jagatud n osadesse, kogu nooniuse pikkus aga p(n—1), s. o. n nooniuse pügalat vastavad n—1 pügala pikkusele joonlaual siis on nooniuse täpsus:

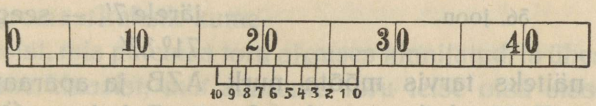
$$p - \frac{p(n-1)}{n} = \frac{pn - pn + p}{n} = \frac{p}{n}.$$

Nooniuse tarvitamine on järgmine: ülesandeks on teada saada (34. joon.) 16. ja 17. joonlaua-pügala vahel oleva joone mn pikkust. (Joon mn on arvatud 16. pügala-joonest kuni vernjeeri nulljooneni). Nüüd vaatame, mitmes pügal vernjeeril on ühes vertikaaljoones mõne limbipügalaga; leiame, et kaheksas vernjeeripügal. Sellest otsustame, et mn on $^1/_{100} \times 8 = 0{,}08$ tolli kui kaheksa joonlaua- ja kaheksa nooniusepügala pikkuse vahe.

Üldse, kui vernjeeri täpsus on $\frac{p}{n}$, otsitava joone pikkus—x ja kui joonlaua pügalaga liitub vernjeeri m pügal, siis on $x = \frac{p}{n} \times m$, sest $x + \frac{p(n-1)}{n} \cdot m = pm$; $x = \frac{pmn - pmn + pm}{n} = \frac{pm}{n}$. Nagu eelmisest joonisest näha, läheb nii joonlaua-pügalate numeratsioon kui ka nooniuse numeratsioon pahemalt poolt paremale. On võimalik, et mõlemad numeratsioonid ka paremalt poolt pahemale lähevad. — Ühe sõnaga, nooniuse ja joonlaua (ehk limbi) numbrite järjekord peab minema ühes suunas, kui n nooniusepügalat vastavad joonlaua n—1 pügalaile. Ümberpööratult on asi nende nooniuste juures, kus nooniusepügalad on suuremad kui joonlaua omad, see on juhtumil, kui

on [võetud $n+1$ joonlaua-pügalat nooniuse kogu pikkuseks ja see pikkus jagatud n-iga. Et nooniusepügalate pikkus on suurem kui joonlaual, siis joonlaua jaotuse juures pahemalt poolt paremale kasvaks otsitava joone mn ja nooniuse pügala vahe alatasa pahemalt poolt paremale. Paremalt poolt pahemale vaadates väheneb aga see vahe alatasa, kuna vernjeeri 3-da pügala juures see pea ära kaob (35. joon.). Üldse, — kui joonlaua-pügala suurus on p, nooniuse kogu pikkus $p(n+1)$, kui noonius on jagatud n osasse ja seega nooniuse üksiku pügala pikkus on $\frac{p(n+1)}{n}$, — siis oleks nooniuse täpsus $\frac{p(n+1)}{n} - p = \frac{p}{n}$.

Kõik ülemal ettetoodud tõsiolud jäävad maksma, kui joonlauaga sirgjoonelise nooniuse asemele kujutame omale ringjooni ja nende kaari, mis pügalaiks jagatud.



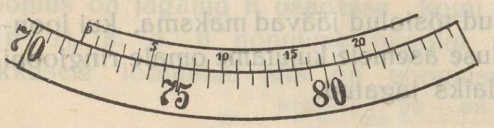
35. joon.

Näiteks on limbi ring jagatud 360°-ks. Vernjeeri kogu pikkuseks on võetud 29 limbikraadide pügalate kaarele vastav pikkus; vernjeer on jagatud 30 pügalaks, seega on vernjeeri täpsus $\frac{1^0}{30} = 2$ min. Teine näide: Limb on jagatud poolteks kraadideks, vernjeer 30 pügalaks, millede kogupikkus vastab 29-le poolkraadile. Vernjeeri täpsus on: $\frac{p}{n} = \frac{^1/_2{}^0}{30} = \frac{1^0}{60} = 1$ minut.

Et numeratsiooni mitte liiga kirjuks teha, kirjutatakse nii limbile kui ka vernjeerile numbrid mitte iga pügala kohta, vaid iga viie või kümne pügala tagant. Harilikult ei kirjutata vernjeerile mitte pügalate, vaid minutite arv. Näiteks, kui vernjeer on jagatud kolmekümnesse osasse ja tema täpsus on 2 min., siis märgitakse viienda pügala kohale 10, kolmanda pügala

kohale — 20, viieteistkümnenda pügala kohale 30 j. n. e. Ülestähendatud numbrid annavad kohe minutite arvu.

Vernjeeri nulljoon ehk nõndanimetatud «i n d e k s» peab alidaadi dioptrite silmaprao ja asjadioptri jõhviga olema ühes kollimatsioonipinnas. Kui limbi jaotus läheb paremalt poolt pahemale, siis peab ka vernjeeri jaotus asuma indeksist pahemalepoole. Vaatlus vernjeeri abil sünnib järgmiselt: loetakse limbi pealt kraadide arv (ja ka poolte, kui need limbil tähistatud) kuni indeksini ja siis vaadatakse, mitmes vernjeeripügal liitub limbipügalaga. Minutite (või sekundite, kui vernjeeri täpsus on suur) arv liituva vernjeeripügala järele liidetakse kraadide arvuga. Juuresoleva joonise (36. joon.), järele saame, näiteks kuni indeksini 71° 30′ (pool kraadi) ja siis vernjeeri järele 7′, — seega kokku 71° 37′.



36. joon.

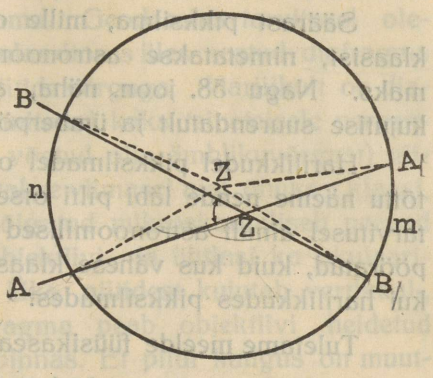
On näiteks tarvis mõõta nurk AZB ja aparaat seisab punkt Z-s. Esiti tehakse vaatlus A, siis B kohta. Ühe vaatlemise arvust teist lahutades, saame vastava nurga. Et vernjeeri ja limbide pügalaid parem oleks näha, vaadatakse vernjeeri jaotust läbi suurekstegeva klaasi (luubi). Paremate nurgamõõdu-aparaatidel on luubid või koguni väiksed mikroskoobid vernjeeri kohal aparaadi külge kinnitatud. Tarvilikud on kaks vernjeeri — üks silmadioptri ja teine asjadioptri juures. Vaatlust toimetatakse mõlemate dioptrite järele ja nende mõlemate vaatluste keskmine võetakse õigena. See nõue on tingitud sellest, et kõige paremailt mehaanikuilt saadud aparaatidel alidaadi senter ei vasta küllalt täpselt limbi sentrile. (37. joon).

Kui limbi senter on Z ja alidaadi kinnituse senter ehk telg Z_1, siis on viseeritavate asjade A ja B vaheline nurk seega AZ_1B. Kuid vernjeeri järgi saame vaatluste vahed esimese vernjeeriga m ja teise vernjeeriga n, mis näitavad vastavate sisenurkade A_1ZB_1 ja AZB suurust ehk on kaarte A_1B_1 ja AB mõõtudeks, mille pärast $\sphericalangle BZ_1A = \alpha = \frac{n}{2} + \frac{m}{2} = \frac{n+m}{2}$.

Kahe vernjeeri abil tehtud vaatluste poolsummat võttes kaotame ühtlasi ka selle vea, mis oleks tekkinud, kui vernjeeri indeks mitte ei ole kollimatsioonipinnal.

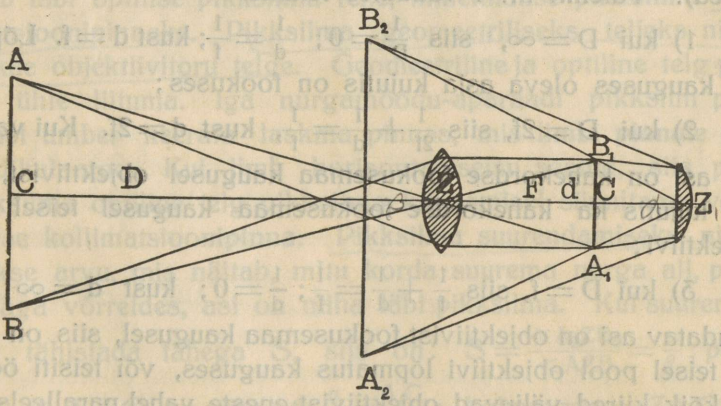
Pikksilm.

Pikksilma abil on kaugemal olevad asjad näha suuremaina kui samad asjad palja silmaga vaadatult, sest läbi pikksilma vaadates näeme kumerate klaaside tõttu asju nagu suurema nurga all, kui harilikult palja silmaga vaadates.



37. joon.

Liht-pikksilm koosneb ühest suuremast kaksik-kumerast klaasist, mis pikemas toru alguses kinnitatud, ja ühest väiksemast kumerklaasist, mis suurema toru teise otsa sisse ulatuva



38. joon.
Valgusekiirte käik läbi pikksilma objektiivi ja okulaari.

lühikese torukese külge kinnitatud. Suuremat klaasi nimetatakse objektiiviks ja suuremat toru objektiivitoruks. Vähemat klaasi nim. okulaariks ja vähemat toru okulaari-

toruks. Objektiivi ülesandeks on valgusekiiri, mis vaadatava asja AB poolt tulevad, kokku koguda üheks vähendatud ja ümberpööratud pildiks A_1B_1. Okulaari ülesanne on saadud pilti A_1B_1 suurendada ebapildiks A_2B_2. (38. joon.).

Säärast pikksilma, mille okulaar koosneb ühest ainsast klaasist, nimetatakse astronoomiliseks ehk Kepler'i pikksilmaks. Nagu 38. joon. näha, annab Kepler'i pikksilm asja kujutise suurendatult ja ümberpööratult.

Harilikkudel pikksilmadel on okulaaris 4 klaasi ja selle tõttu näeme nende läbi pilti otseseisval kujul. Geodeesias on tarvitusel ainult astronoomilised pikksilmad, kus kuju ümberpööratud, kuid kus vähese klaaside arvu tõttu pilt saab selgem kui harilikkudes pikksilmades.

Tuletame meelde füüsikaseadust: $\frac{1}{D}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$, kus D on vaadatava asja kaugus objektiivist, d — objektiivi läbi sündinud pildi A_1B_1 kaugus objektiivist ja f fookuse ehk tulipunkti kaugus. Fookuseks nimetatakse punkti, kus lõpmatust kaugusest tulevad kiired kogunevad ühte punkti (näit: päikese kiired). Valemit nr. 1 vaadates leiame —

1) kui $D=\infty$, siis $\frac{1}{D}=0$; $\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$; kust $d=f$. Lõpmatus kauguses oleva asja kujutis on fookuses;

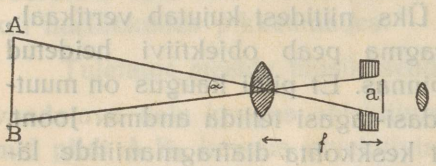
2) kui $D=2f$, siis $\frac{1}{2f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$, kust $d=2f$. Kui vaadatav asi on kahekordse fookusemaa kaugusel objektiivist, siis on kujutis ka kahekordse fookusemaa kaugusel teisel pool objektiivi;

3) kui $D=f$, siis $\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$; $\frac{1}{d}=0$; kust $d=\infty$; kui vaadatav asi on objektiivist fookusemaa kaugusel, siis on kujutis teisel pool objektiivi lõpmatus kauguses, või teisiti öeldes — kõik kiired väljuvad objektiivist eneste vahel paralleelseina. Geodeesias on meil tegemist ainult juhtumiga, kus $\infty > D > 2f$, seejuures on pildi kaugus D alati 2 f ja f vahel; mida kaugemal on asi, seda lähemal fookusele on tema pilt. Et pildi kaugus objektiivist esineb muutliku suurusena, siis peab okulaariklaas ühes okulaaritoruga objektiivi sees sisse ja välja

käima, et teda võimalik oleks kaugete asjade vaatlemisel sisse lükata ja ligemate asjade vaatlemisel tarvilikul määral välja tõmmata. Okulaari kaugus pildist (kujutisest) oleneb inimese nägemisest, — lühinägev vaataja peab okulaari sisse lükkama, kaugelenägija — välja tõmbama. Geodeesias tarvitusel olevate pikksilmade juures on okulaaritorus üles seatud diafragma ühes tema külge kinnitatud niitide võrguga. Harilikult on diafragma diameetrite suunas kinnitatud kaks teineteisele perpendikulaarset õige peent (võib võetud olla ämblikuvõrgust) niidikest. Niitide asemel tarvitatakse viimasel ajal õhukest klaasi, millele teemandiga on sisse lõigatud mikroskoopiliselt peened kriipsud. Niitide rist peab objektiivi- ja ühtlasi ka okulaaritoru teljega kokku liituma. Üks niitidest kujutab vertikaal-, teine horisontaalseisu. Diafragma peab objektiivi heidetud pildiga asuma ühes vertikaalpinnas. Et pildi kaugus on muutlik, siis peab ka diafragma edasi-tagasi tellida andma. Joont, mis ühendab objektiivi optilist keskkohta diafragmaniitide läbilõikepunktiga, nimetatakse pikksilma optiliseks teljeks. Viseerimine sünnib optilise telje suunas. Vertikaalpinda, mis läheb läbi optilise pikksilma telje, nimetatakse pikksilma kollimatsioonipinnaks. Pikksilma geomeetriliseks teljeks nimetatakse objektiivitoru telge. Geomeetriline ja optiline telg peavad ühte liituma. Iga nurgamõõdu-aparaadi pikksilm peab ennast ümber keerata laskma pinnas, mis limbi pinnale perpendikulaarne. Kui limb horisontaalseisu seatud, siis peab pikksilma optiline telg pikksilma käänamisel sünnitama vertikaalse kollimatsioonipinna. Pikksilma suurendamiseks nimetatakse arvu, mis näitab, mitu korda suurema nurga all, palja silmaga võrreldes, asi on näha läbi pikksilma. Kui suurendamist tähistada tähega S, siis on: $S = \frac{\sphericalangle A_2ZB_2}{\sphericalangle AZB} = \frac{\alpha}{\beta}$; peale selle $\sphericalangle A_1Z_1C_1$ on näha: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{A_1C_1}{C_1Z_1}$; kolmnurgast ZA_1C_1 on $\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{A_1C_1}{C_1Z}$; $\frac{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}} = \frac{A_1C_1 \cdot C_1Z}{C_1Z_1 \cdot A_1C_1} = \frac{C_1Z}{C_1Z_1}$, kus C_1Z tähendab pildi kaugust objektiiviklaasist ja C_1Z_1 pildi kaugust okulaariklaasist. Juhtumil, kui vaadatav asi on õige kaugel, on $\sphericalangle \beta$ üsna väike

ja ühtlasi ka ∢ α, kuna pildi kaugus C,Z objektiivist fookusele läheneb, ühtlasi ka C,Z, okulaari fookusele läheneb. Selle tõttu võime arvata, et C,Z = f ja C,Z, = f,. Nurkade tangensite vahekorra asemele võib aga võtta nurgad. Seega oleks: $\frac{\frac{\alpha}{2}}{\frac{\beta}{2}} = \frac{f}{f_1}$; $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{f}{f_1}$; $S = \frac{f}{f_1}$. Pikksilma suurendamine võrdub objektiivi fookuse kaugusega, mis on jagatud okulaari fookuse kaugusele.

Pikksilma vaateväli määrab ära pindala või ruumi ulatuse mida on näha liikumata ülesseatud pikksilmaga. Vaateväli oleneb nurga suurusest, mis sünnib objektiivi sentri ja diafragma diameetriga. Et diafragma üles seatakse samas vertikaalpinnas, kus kujuneb objektiivist heidetud pilt, see aga asja kauguse tõttu peaaegu on fookuses, siis võime üles tähendada (39. joon.):



39. joon.

$\frac{a}{2} = f \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$; $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2f}$ (1); $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\operatorname{Sin} \alpha}{1 + \cos \alpha}$ (2);

väikese ∢ α juures muutub $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha \sin 1''}{2}$ (3); seega valem (1): $\alpha = \frac{a}{f \sin 1''}$ (4).

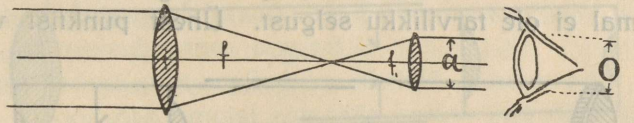
Diafragma diameeter on alati kokkukõlas okulaari suuruse ja okulaari fookuse kaugusega. Harilikult on: $a = \frac{2}{3} f_1$; seetõttu muutub valem (4): $\alpha = \frac{2 f_1}{3 \sin 1'' f} = \frac{2}{3 \sin 1''} \cdot \frac{f_1}{f}$; $\alpha = \frac{2}{3.S.\sin 1''}$: kus S on pikksilma suurendamine.

Siit järgneb, et pikksilma vaateväli oleneb pikksilma suurendamisest. Mida suurem on pikksilma suurendamine, seda vähem on vaateväli, ja ümberpööratult, mida vähem on pikksilma suurendamine, seda suurem on vaateväli.

Pikksilma selgus ehk valgustus oleneb pikksilmas olevate klaaside arvust, nagu juba kord tähendatud, sest iga paremgi klaas hoiab osa valgusekiiri kinni ja osa peegeldab neid ta-

gasi. Peale selle oleneb valgustus objektiivi suurusest. Mida suurem objektiiv, seda rohkem valgusekiiri võtab tema vastu ja saadab neid läbi okulaari vaataja silmani. Pikksilma valgustuse määramisel võetakse mõõduandvaks läbi pikksilma tungiva kiirtekimbu läbilõike-pinna vahekord silmatera vaateaugu pinnaga.

Kui okulaarist tulev kiirtekimp katab tervelt silmatera vaateaugu pinda, s. o. saadab silmale sama laia valgusekimbu, nagu harilikult valgus silma tungib ilma pikksilmata, siis nimetatakse pikksilma valgustust normaalvalgustuseks. Tema suu-



40. joon.

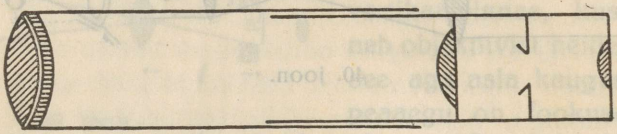
rus on üks (1.). On aga kiirtekimbu diameeter a vähem kui silmatera vaateaugu diameeter O, siis on valgustus (40. joon.):

$$w = \frac{\pi a^2}{4} : \frac{\pi O^2}{4} = \frac{a^2}{O^2}.$$

Võtame valgusekiirte kimbu, mis lõpmatust kaugusest paralleelselt langevad objektiivi. Need kiired kogunevad tulipunktis, kust nad laialimineva kimbuna okulaari satuvad. Nõudmisel, et läbi okulaari minnes nad muutuksid uuesti paralleelseks, peaks kiirte kogumise punkt F asuma okulaari läätsest viimase fookusemaa kaugusel. Selle tõttu on: $\frac{a}{A} = \frac{f_1}{f}$; $a = \frac{f_1}{f} \cdot A = \frac{A}{S}$, kus S on pikksilma suurendamine. Seega on $w = \frac{A^2}{S^2 O^2}$; sellest valemist on näha, et ühe ja sama pikksilma suurendamise S ja silmatera diameetri O juures on valgustus võrdeline objektiivi diameetri A ruutastmega. Kui aga objektiivi diameetrid on ühesuurused, siis on valgustus pöördvõrdeline pikksilma suurendamise S ruutastmega, arvestades, et inimese silmatera suurus on muutumata.

Eelmistest seletustest on näha, et pikksilma suurendamine, vaateväli ja valgustus on üksteisega seotud. Ühte neist muutes muutuvad ka teised. Näiteks suurendamist paremaks tehes teeme teised halvemaks. Kõikide nõuete rahuldamine võib siin sündida ainult teatud tasakaalu valikul suurendamise, vaatevälja ja valgustuse vahel.

Liht Kepler'i pikksilmal on mõned puudused. Suurema suurendamise juures ei kogu objektiiv kõiki ühest punktist väljuvaid kiiri teisel pool fookust ühtekokku, vaid jätab neid laiali. Teiseks lahutab ta valgusekiired vikerkaare-värvilisteks osadeks, nõnda et iga vaadatava asja piirjooned on ümbritsetud mitmest värvilisest joonest, pilt seega halvasti näha, — pikksilmal ei ole tarvilikku selgust. Ühest punktist väljuvate



41. joon.
Huygens'i okulaariga pikksilma kujutis.

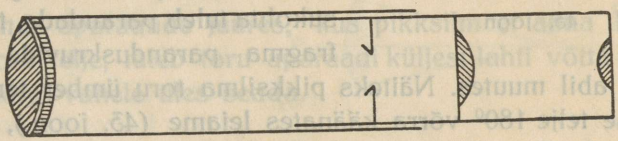
kiirte mitmesse punkti kogunemist nimetatakse objektiivi sfääriliseks aberratsiooniks. Valgusekiirte värvilisteks osadeks jagunemist nimetatakse kromaatiliseks aberratsiooniks ehk värviliseks kiirte kõrvalekaldumiseks. Kromaatilise aberratsiooni kõrvaldamiseks tehakse pikksilma objektiivid kahest klaasist: I osa — kahepoolne kumer lääts on kroonklaasist, tagumine vastu-okulaari õõnes kumer klaas aga flintklaasist ja seisab oma õõnsa küljega vastu esimest klaasi. Kahe klaasi vahe on tihti palsamit täis valatud. Sfääriline aberratsioon kõrvaldatakse osalt diafragmade läbi, mis mitmes kohas objektiivitorus üles seatud ja mis kõiki kõrvalekalduvaid objektiivi äärtelt juhitud kiiri kinni peavad.

Ka võib kroon- ja flintklaasi segude valiku abil kõrvaldada sfäärilise aberratsiooni. Säärast objektiivi, milles mõlemad kiirte aberratsioonid kõrvaldatud, nimetatakse akromaatiliseks objektiiviks. Okulaari läbi võib samuti

sündida kiirte kõrvalekaldumisi. Selle kõrvaldamiseks seatakse okulaari ühe klaasi asemele kaks.

Huygens'i okulaar (41. joon.) koosneb kahest tasakumerast läätsest, millede kumerad küljed mõlematel objektiivi poole on pööratud. Mõlemate läätsede vahele on diafragma niitidevõrguga üles seatud. Huygens'i okulaar annab pikksilmale hea valgustuse ja võrdlemisi suure vaatevälja. Pikksilma suurendamine jääb aga keskmiseks.

Ramsdeen'i okulaaril (42. joon.) on ka kaks tasakumerat läätse, kuid need on oma kumerate külgedega teineteise vastu pööratud. Diafragma ühes niidivõrguga on esi-

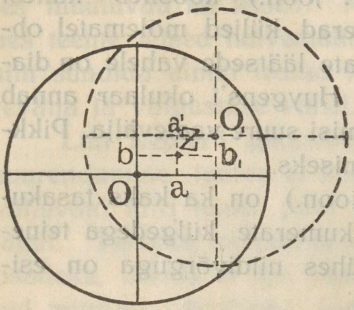


42. joon.
Ramsdeen'i okulaariga pikksilm.

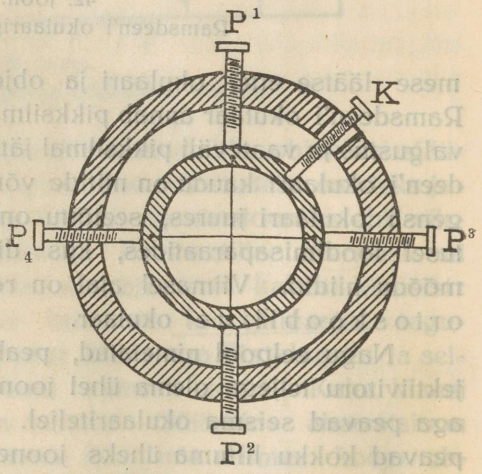
mese läätse ette, okulaari ja objektiivi vahele üles seatud. Ramsdeen'i okulaar annab pikksilmale hea suurendamise, kuna valgustus ja vaateväli pikksilmal jätab rohkem soovida. Ramsdeen'i okulaari kaudu on niitide võrk selgemini näha kui Huygens'i okulaari juures, seetõttu on Ramsdeen'i okulaar tarvitusel loodimisaparaatides, kus diafragmal olemas kaugusemõõdu niidid. Viimasel ajal on rohkesti tarvitusel Kelner'i ortoskoobiline okulaar.

Nagu eelpool nimetatud, peab objektiiviläätse senter objektiivitoru teljega olema ühel joonel, okulaariläätsede sentrid aga peavad seisma okulaariteljel. Objektiivi- ja okulaariteljed peavad kokku liituma üheks jooneks ja selleks peab ka diafragma niitide ristist läbi minema. Esimesed nõuded proovitakse juba mehaanikute poolt järele, objektiivi ja okulaari ühes torudega ümber oma telje keerates. Okulaar on siinjuures nõnda üles seatud, et diafragmaniitisid ei ole näha. Kui pikksilma ümber telje keerates tema läbi vaadatava asja punktid oma seisukohta ei muuda, siis on tingimus täidetud ja võib

asuda diafragma proovimisele. Okulaar seatakse nüüd nõnda, et niidid oleksid näha võimalikult selgesti, ja läbi pikksilma kuhugi punkti vaadates keeratakse ta toru ümber telje, mille seisukoht peab jääma muutmata. Kui seejuures diafragma niitiderist vaadatava punkti ümber ringi keerleb, siis, silmas pidades, et okulaari- ja objektiivitorud juba on sentritud, tuleb arvata, et diafragmarist ei ole keset toru geomeetrilist telge. Diafragma seisukohta tuleb parandada, teda diafragma paranduskruvide p_1, p_2 p_3 ja p_4 abil muutes. Näiteks pikksilma toru ümber tema geomeetrilise telje 180° võrra käänates leiame (43. joon.), et vaadatav punkt O, mis enne oli risti keskel, nüüd on kaldunud niitidest paremale poole kõrvale punkt O_1-sse. Tõelikult on O ja O_1, seisukoht pikksilma teljest jäänud ühesuguseks ja kõrvale on kaldunud niitide rist, sellepärast juhime vinti p_4 välja käänates ja vinti p_3 sisse käänates niitide risti läbi pikksilma vaadates paremalt poolt pahemale poole punktide O ja m kauguseosa vahel. Siis juhime vintide p_1 ja p_2 abil risti alt üles, poole kauguseosa punktide O_1 ja m vahel. Selle paranduse tõttu on nüüd ristide keskpunkt lükatud Z-sse. Nüüd peab risti keskkoht olema pikksilma toru geomeetrilisel teljel. Tõendis: pikksilma geomeetrilise telje kaudu vaadates näeksime meie alati punkt Z (kui objektiivi- ja okulaaritorud



43. joon.



44. joon.

sentritud, mis toimub kõikide aparaatide juures enne müügile saatmist). Niitide rist oli meil aga geomeetrilisest teljest pahemale poole kaldunud Zb ja allapoole Za võrra. 180° võrra toru ümber telje käänates jäi senter Z oma kohale, aga rist O sattus paremale poole Zb ja ülespoole Za võrra. Kui toru on just 180° käänatud, siis on niidid oma endisele seisukohale paralleelsed, ühtlasi on $a_1Z = aZ = \frac{O_1m}{2}$; $b_1Z = bZ = \frac{Om}{2}$.

Enne parandusvintide kruvimist peab diafragmat toru külge kinnitav vint K (44. joon.) vabastatama ja peale risti parandust uuesti kinni kruvitama. Kruvi K vabastades võib ka parandada diafragmaniitide vertikaalsust.

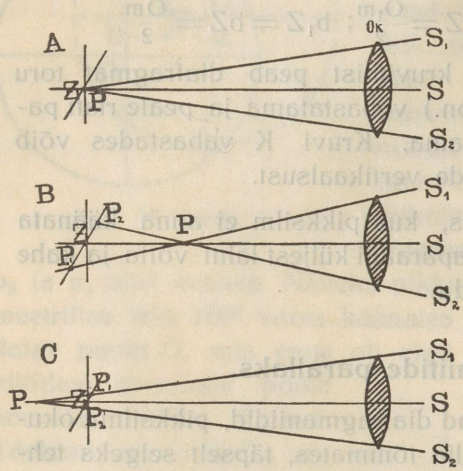
Nende aparaatide juures, kus pikksilm ei anna käänata ümber toru telje, tuleb toru aparaadi küljest lahti võtta ja kahe kindla hargi vahele üles seada.

Pikksilma niitide parallaks.

Enne iga vaatlust peavad diafragmaniidid, pikksilma okulaari välimist osa sisse ja välja tõmmates, täpselt selgeks tehtama. Seda saab kõige kergemini, kui vaadata pikksilmaga vastu mõnd valget asja, näit. taevast. On niidid selgesti näha, siis juhitakse toru vaadatava asja peale ja kremaljeerkruvi abil lükatakse okulaaritoru ühes diafragmaga edasi-tagasi, kuni vaadatava asja kujutis on selge. Siinjuures peavad vaadatava asja pilt ja diafragmaniidid seisma ühes tasapinnas. Vastasel korral sünnib nõndanimetatud niitide parallaks, mis seisab selles, et pikksilma okulaarist vaadates, silma paremale poole või üles hoides, me näeme läbi niitide risti teist punkti kui hoides silma pahemal pool või all. 45. joonisel on P objektiivist heidetud asja kujutis, Z diafragmaniitide rist. SS_1S_2 silma seis väljaspool okulaari läätse. Kui objektiivi heidetud pilt ja diafragmaniidid seisavad ühes vertikaalpinnas, siis katab punkt Z punkt P igas silma seisus (vaata 45. joon. A). Kui objektiivi heidetud pilt on silma ja diafragmaniitide vahel, siis silma paremal pool punktis S, hoides näeme, et punkt P seisab niitide ristist Z pahemal pool, punktis P_1. Silma pahe-

mal pool — punktis S_2 — hoides näeme, et vaadeldav punkt P seisab paremal pool niitide risti — punktis P_2 (45. joon B).

Et kõrvaldada niitide parallaksi, tuleb okulaaritoru ühes diafragmaniitide risti Z-ga tõmmata väljapoole, sest punkt P kaugus objektiivist on muutumata. Juhtumil, kui objektiivi heidetud pilt P on objektiivi pool diafragmaniitidest, siis, hoides silma paremal pool, punktis S_1, näeme vaadatavat punkti P ka paremal pool niitide risti. Hoides silma pahemal pool, punktis S_2, näeme vaadatavat punkti P ka pahemal pool niitide risti, punktis P_2 (45. joon. C). Niitide parallaksi kõrvaldatakse siin, kui okulaaritoru ühes niitidega kaugemale sisse lükkame, kuni punkt Z ulatub punkt P-ni.



45. joon.

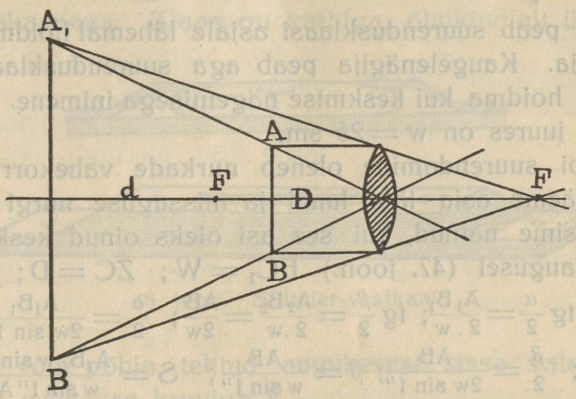
Niitide parallaksile tuleb panna suurt rõhku, sest vastasel korral tekivad kergesti lubamatud vead nii nurgamõõtmis- kui ka nivelleerimistööde juures.

Luup ehk suurekstegev klaas.

Nurgamõõdu-aparaatide limbi jaotus on tihti niivõrd ühejooneline ja pügalad väiksed, et palja silmaga vaadates üksikud pügalad ei ole mitte küllalt selgesti näha ja vaatlused vernjeeridelt võivad toimuda ainult suurendusklaasi ehk luubi abil.

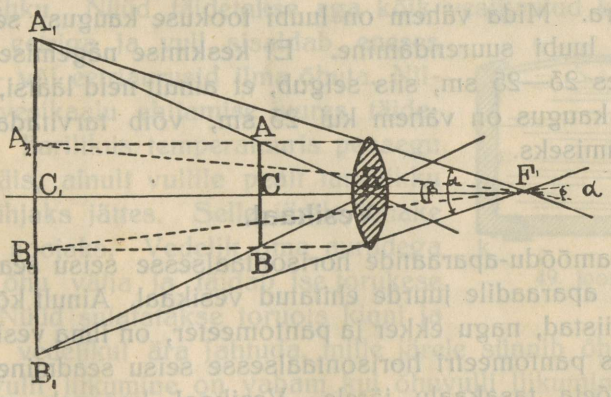
Kõige lihtsam suurekstegev klaas on kaksikkumer lääts, mis vaadatava asja lähedal hoitakse nõnda, et asja kaugus läätsest oleks vähem kui läätse fookuse kaugus. Seejuures näeb silm asja AB (46. joon.) ebakujutist suurendatult punktides A_1B_1. Kumerläätse klaaside enne-esitatud üldine valem $\frac{1}{D}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$ jääb ka siin maksma, ainult silmas pidades,

et d siin arvatakse pahemal pool läätse (mitte paremal pool nagu objektiivide juures), seega peab d võetama negatiivse suu-



46. joon.

rusena: $\frac{1}{D}+\left(-\frac{1}{d}\right)=\frac{1}{f}$, ehk $\frac{1}{D}-\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$ (I). Harilikult on läbi luubi vaadates silm läätse ees fookusemaa kaugusel klaa-



47. joon.

sist, asja ebakujutis silmast hariliku keskmise w kaugusel. Seega on $w=d+f$ ehk $d=w-f$ (II); eelmine valem, esimene, muutub seega: $\frac{1}{D}=\frac{1}{f}+\frac{1}{-f+w}=\frac{w}{f(w-f)}$ (III) ehk $D=$

$= \frac{f(w \cdot f)}{w} = f\left(1 - \frac{f}{w}\right)$. Lühinägevate inimeste juures on w väiksem, seega $\frac{f}{w}$ suurem kui harilikult, D aga vähem. Tähendab, lühinägija peab suurendusklaasi asjale lähemal hoidma kui harilik nägija. Kaugelenägija peab aga suurendusklaasi asjast kaugemal hoidma kui keskmise nägemisega inimene. Keskmise nägemise juures on $w = 25$ sm.

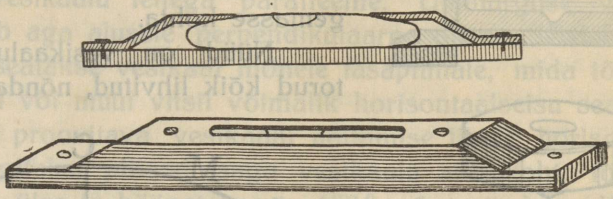
Luubi suurendamine oleneb nurkade vahekorrast, mille all me näeme asja läbi luubi ja missuguse nurgi me sama asja oleksime näinud, kui see asi oleks olnud keskmise nägemise kaugusel (47. joon.) $FC_1 = W$; $ZC = D$; $ZC_1 = d$; $S = \frac{\alpha}{\beta}$; $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{A_1B_1}{2 \cdot w}$; $\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{A_2B_2}{2 \cdot w} = \frac{AB}{2w}$; $\frac{\alpha}{2} = \frac{A_1B_1}{2w \sin 1''}$; $\alpha = \frac{A_1B_1}{w \sin 1''}$; $\frac{\beta}{2} = \frac{AB}{2w \sin 1''}$; $\beta = \frac{AB}{w \sin 1''}$; $S = \frac{A_1B_1 \, w \sin 1''}{w \sin 1'' \, AB} = \frac{A_1B_1}{AB}$; $\triangle A_1ZB_1 \sim \triangle AZB$; $\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{C_1Z}{CZ} = \frac{d}{D}$; $S = \frac{d}{D} = \frac{w-f}{\frac{f(w-f)}{w}} = \frac{w}{f}$

kui α on viis korda suurem kui β, siis on luubi suurendamine 5 j. n. e. Järgnevast tõendisest on näha, et nurkade suurusevahekorra asemele võib võtta keskmise nägemise kauguse ja luubi fookuse vahekorra. Mida vähem on luubi fookuse kaugus, seda suurem on luubi suurendamine. Et keskmise nägemise kaugus on umbes 23—25 sm, siis selgub, et ainult neid läätsi, millede fookuse kaugus on vähem kui 23 sm, võib tarvitada asjade suurendamiseks.

Vesikaal.

Maamõõdu-aparaatide horisontaalsesse seisu seadmiseks on igale aparaadile juurde ehitatud vesikaal. Ainult kõige lihtsamad riistad, nagu ekker ja pantomeeter, on ilma vesikaaluta, kusjuures pantomeetri horisontaalsesse seisu seadmine toimub magnetnõela tasakaalu järele. Vesikaal koosneb suuremalt jaolt pikergusest klaastorust, mis mõnesuguse vedelikuga on täidetud ja mille mõlemad otsad kinni sulatatud. Pealmises osas on väike vull, mis näitab, et toru pole ääreni täidetud. Klaastoru on mahutatud vaskraami, et klaastoru hoida vigastuste eest. Säärast pikergust torusarnast vesikaalu nimetatakse

silinder-vesikaaluks (48. joon.) Peale silinder-vesikaalu on veel olemas ümmargune vesikaal (49. ja 50. joon.), mis enesest kujutab ümmargust madalat silinder-vaskkarbikest kumeriku klaaskaanega. Klaas on karbiga. õhukindlalt ühendatud.

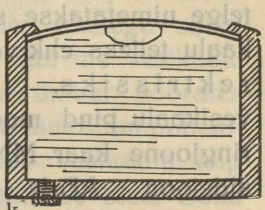


48. joon. Silinder-vesikaal.

Vedelikku võib põhja tehtud augukesest sisse valada, mille järele auk suletakse kruviga k.

Uuemad ümmargused vesikaalud on lihvitud klaasist karbikesed, mis peale vedeliku sissevalamist põhjast kinni sulatatakse.

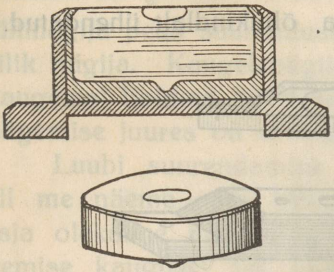
Endistel aegadel täideti vesikaalud veega ja vull sisaldas endas õhku. Nüüd täidetakse aga kõik vesikaalud kas piirituse või eetriga ja vull sisaldab eneses piirituse- või eetriaurusid ilma õhuta. Niisuguse vesikaalu ehitamise juures täidetakse ta harilikus temperatuuris peaaegu ääreni täis, ainult vullile pealt tarvilikku ruumi tühjaks jättes. Selle järele tehake vesikaal soojaks. Vedelik oma aurudega pressib õhu välja ja täidab ise torukese ääreni. Nüüd sulatatakse toruots kinni ja lastakse vedelikul ära jahtuda, mille järele sünnib õhuta vull. Õhuta vulli liikumine on vabam kui õhuvulli liikumine endistes veega täidetud torudes. Ka ei ole siin karta, et suure soojuse käes aurude rõhumisel toru võiks lõhkeda, mis õhuga täidetud vullide juures on ette tulnud.



49. joon.

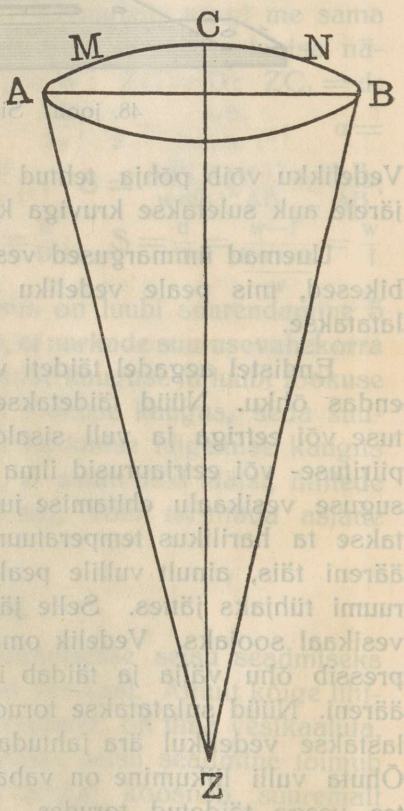
Kõige vanemad vesikaalud olid tulel kõveraks koolutatud klaastorud. Vesi kui raskem ollus hoidus allapoole ja õhu-

vull jäi kõige kõrgemale kohale. Kui toru oli õieti koolutatud, look üleval, alusjoon aga horisontaalne, siis vastas vulli keskpaik toru keskkohale. Ühte toru otsa vähe kõrgemale tõstes, liigub ka vull sinnapoole kui kõige kõrgemasse kohta.



50. joon.

Nüüd on vesikaalu klaastorud kõik lihvitud, nõnda et toru seespoolne pind on kumerpind. Toru keskkoht on joonega tähistatud. Keskkohast mõlemale poole on pügalate jaotus. Lihvitud silinder-vesikaalu pinna saame kätte, kui ringjoone kaarel MN laseme keerelda ümber sidejoone AB. Sidejoont ehk telge nimetatakse silinder-vesikaalu teljeks ehk vesikaalu d i r e k t r i s s i k s. Ümmarguse vesikaalu pind moodustub, kui ringjoone kaar MN (51. joon.) sidejoon AB-le perpendikulaarselt keerleb ümber raadiuse CZ. Raadiust CZ nimetatakse ümmarguse vesikaalu teljeks ehk direktrissiks. Mida suurem on kaare raadius, seda tundlikum on vesikaal. Ümmarguste vesikaalude lihvitud pinna kumeruse raadius on 0,2—2 meetrini. Silinder-vesikaalu kumeruse raadius on märksa suurem, 5—50 meetrini. Silinder-vesikaaluga on võimalik mõõta väikseid vertikaal-

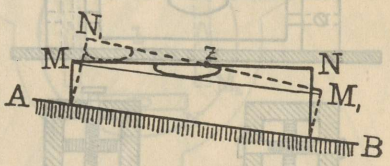


51. joon.

nurki, suuremalt jaolt tarvitatakse teda aga aparaadi horisontaalseisu seadmiseks.

Vesikaal peab vastama järgmisile nõudeile:

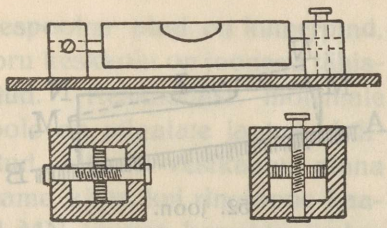
1. Silinder-vesikaalu aluse ehk vaskraami pind peab olema vesikaalu teljega paralleelne. Ümmarguse vesikaalu telg peab aga alusele perpendikulaarne olema. Selle proovimiseks seatakse vesikaal mõnele tasapinnale, mida tõstekruuvide abil või muul viisil võimalik horisontaalseisu seada. On tasapind proovitava vesikaalu näitamise järele horisontaalne, siis märgitakse pliiatsiotsaga vesikaalu seisukoht, tõstetakse vesikaal üles ja käänatakse ta 180° võrra ümber. Kui vesikaalu raami alus ja telg on paralleelsed, siis jäävad jooned 180° ümberkäänamisel üksteisega paralleelseks ja vesikaalu vull seisab nagu ennegi vesikaalu keskmiste pügalate kohal. On aga vesikaalu telje (52. joon.) MN ja aluse AB vahekord mitte paralleelne, vaid on olemas mõni kalle (nurk α), siis vesikaalu järele tasapinda, mille vastu toetub alus AB, horisontaalseisu seades, jääb tasapind tõelikult ühes alusega siiski kaldseisu, horisontaalne on ainult telg MN. Kui me vesikaalu ühes alusega ümber tõstame ja 180° võrra ümber pöörates uuesti tasapinnale asetame, kusjuures endine madalam pahempoolne ots nüüd on paremal pool, siis võtab vesikaalu telg seejuures seisukoha N_1M_1. Vull tõuseb pahemasse otsa. Seda viga võib kõrvaldada vesikaalu paranduskruvi abil, mida sisse või välja kruvides me vesikaalu otsa üles- või allapoole juhime. Vea parandamisel tuleb vull ainult poole maa võrra tagasi kruvida ja siis korrata proovimist 180° võrra ümberkäänamisega. On vulli keskkoht näiteks 6 pügala võrra pahemale poole tõusnud, siis tuleb parandusvindi abil vull 3 pügala võrra juhtida pahemalt paremale poole. Nüüd muudetakse tasapinna seisukohta nõnda, et vesikaalu vull tuleks keskkohta tagasi, tõste-



52. joon.

takse vesikaal jälle 180° võrra ümber ja kui veel õige väike viga esimesest parandamisest on alles, siis parandatakse see niisama kui esimeselgi korral — poole kauguse võrra vulli kõrvalekaldumisest.

Mispärast nimelt pool maad, see selgub 52. joonisest. Kui vesikaalu telje MN ja aluse AB, ehk alusele paralleelselt võetud joone MM_1 vahel on nurk α, siis jääb vesikaalu ümber käänates nurk telje ja aluse vahel endiseks. $\sphericalangle NMM_1 = \sphericalangle N_1M_1M$, kuid horisontaaljoone MN ja vesikaalu telje uue seisukoha vahel olev nurk N_1ZM on kolmnurga MZM_1 kohta välimine nurk ja seega nii suur kui $\sphericalangle ZMM_1 + \sphericalangle ZM_1M = 2\alpha$. Seega selgub: kui vesikaalu telje ja aluse vahel on nurk α, siis vesikaalu horisontaalseisu seades on ainult tema telg horisontaalne, kuna alus ühes tasapinnaga ei ole horisontaalseisus; vesikaalu nüüd ümber käänates, tasapinna seisu endiseks jättes leiame, et horisontaaljoone ja vesikaalu telje vahel on sündinud nurk 2α, mis kõrvaldatakse järgmisel viisil: pool sellest nurgast nim. $\sphericalangle \alpha$ suurusest kaotatakse ära vesikaalu paranduskruvi abil, ülejäänud osa — samuti $\sphericalangle \alpha$, kaotatakse tasapinnale ühes alusega AB uut seisukohta andes. Vesikaal ja selle mõlemate otsade paranduskruvid on näha53. joon.

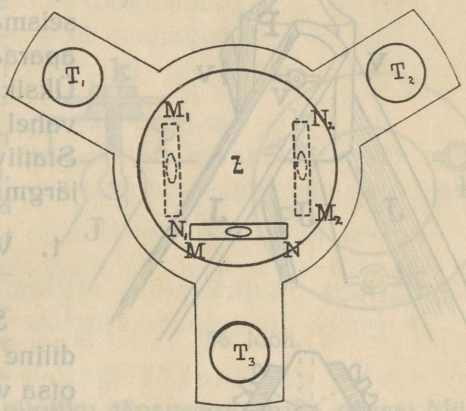


Vesikaal paranduskruvidega.
53. joon.

2. Kui silinder-vesikaal kinnitatakse mõne aparaadi, limbi või tugipostide külge, siis peab vesikaalu telg aparaadi pöördeehk vertikaalteljele perpendikulaarselt seisma. Näiteks 54. joon. on olemas limb L ja tema külge kinnitatud vesikaal MN paranduskruvi p-ga. Seame limbi horisontaalseisu tõstekruvide T_1, T_2 ja T_3 abil. Selleks pööratakse limb nii, et vesikaalu telg oleks tõstekruvide joonele T_1T_2 paralleelne; siis ühe käega kruvi T_1 ja teisega kruvi T_2 korraga käänates, ühte sisse, teist välja kruvides, seame vesikaalu vulli v keskkohta. Selle järele pöörame limbi 90° võrra ümber ja kruvi T_3 abil juhime vulli

jälle uuesti keskkohale; sellega on jooned T_1T_2 ja T_3Z-le seatud horisontaalseks. Ka limb peab seisma horisontaalselt. Märgime indeksi abil limbi seisukoha ära ja kääname teda, täpselt 180° võrra ümber. Vesikaalu endine seisukoht oli M_1N_1 nüüdne on M_2N_2. Kui vesikaalu telg ja limb on paralleelsed, siis peab vull ka nüüd keskkohale jääma. Ei ole ta seda mitte, siis tuleb parandusvindi p abil vull poole maa võrra tagasi juhtida keskkoha poole, siis tõstevindi T_3 abil aparaadi limb horisontaalseks seada ja proovimist korrata.

Sagedasti on aparaadi limbidel kaks vesikaalu, mis on teineteisele perpendikulaarsed. Aparaadi horisontaalsesse seisu seadmiseks seatakse üks vesikaal kahele tõstekruvi joonele paralleelselt, siis seisab teine vesikaal kolmanda tõstekruviga ühes suunas. Esimene vesikaal seatakse üles tõstekruvide T_1 ja T_2 abil ja selle järele teine vesikaal tõstekruvi T_3 abil. Limbi 90° võrra käänata ei ole siin tarvis. On mõlemate vesikaalude vullid keskkohal, siis on ühtlasi ka limb horisontaalne.



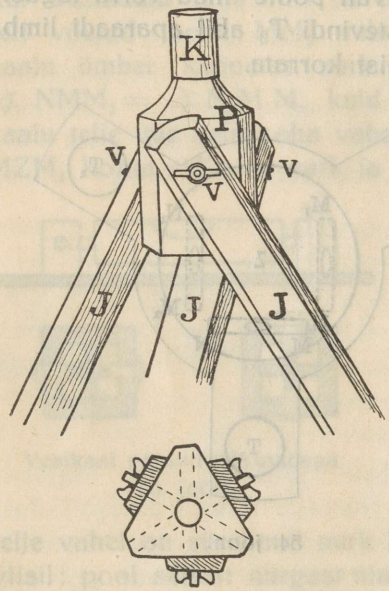
54. joon.

Kahe vesikaalu juures tuleb vesikaalude järeleproovimist ette võtta kummagi kohta üksikult. Juhtumil, kui silindervesikaalu asemel on ümmargune vesikaal, peab selle telg limbi teljele perpendikulaarne olema. Proovimisviis jääb siin endiseks. —

Üksikasju vesikaalude ehitusest toome veelkord täiendavalt loodimisaparaatide käsitlemisel. Siin olgu ainult veel juurde lisatud, et katsete järele on kindlaks tehtud, et vesikaalu toru pikkus võib 6 kuni 9 korda suurem olla kui toru diameeter; õhuvulli pikkus peab olema $^1/_3$—$^1/_5$ toru pikkusest.

Maamõõdu-aparaatide statiivid.

Peaaegu kõik maamõõdu-aparaadid peab statiivide otsa üles seatama, et kaugemal olevad asjad oleksid näha. Keskmiselt arvatud peab aparaat statiivi abil asuma maapinnast 1 — $1^1/_2$ m kõrgusel. Statiivid peavad olema võimalikult lihtsad, tugeva ehitusega, kuid kaasaskandmise mõttes siiski kerged. Statiivi otsa ülesseatud aparaat peab liikumata kindlalt seisma. Statiivid maamõõduaparaatide jaoks tehakse puust. Üksikud statiivi osad on oma vahel vaskkruvidega ühendatud. Statiividest olgu siin nimetatud järgmised:



55. joon.

1. Vanaaegne statiiv (55. joon.).

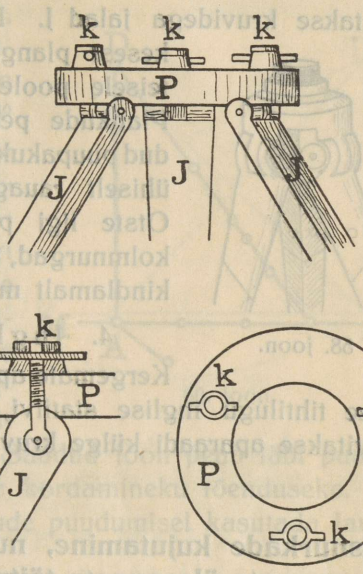
See on puust kolmekandiline prisma P, mille ülemisse otsa vasksilinder või tömp koonus K liikumatult on kinnitatud. Selle vasksilindri külge seatakse aparaadi aluse toru. Prisma külgede vastu on statiivi jalad J vaskkruvidega kinnitatud. Jalad annavad kruvi V keerates laiemale tõmmata. Selle statiivi ülesseadmine on natuke tülikas ja pea ühendus jalgadega liiga nõrk, mis aparaadile võib anda väikest vankumist. Seda statiivi tarvitatakse kergemate ja lihtsamate aparaatide, nagu pantomeetrite, astrolaabide ja ühe osa mensulite ülesseadmiseks. Ta on teistest statiividest märksa odavam.

2. Müncheni ehk Reichenbachi statiiv (56. joon.).

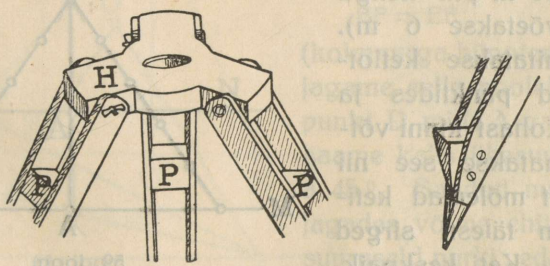
Statiivi pea on puust ratas, 6—8 cm paks, 15—20 cm diameetris. Keset ratast on auk diameetriga 5—8 cm.-ni. Sta-

tiivi jalad J on peaga ühendatud vask-kruvide k abil, mis endid reguleerida annavad.

Kruvisid k kinni kruvides, kindlustatakse ühendus statiivi pea ja jalgade vahel. Auk ratta sees võimaldab statiivi pea peale ülesseatud aparaati, teda edasi-tagasi lükates, kaunis kiiresti täpselt antud kohta üles seada. Müncheni statiivi võib tarvitada ainult nende aparaatide ülesseadmiseks, millede aluseks on kolm haru tõstekruviga. Müncheni statiiv on oma soliidse ehituse poolest eelmisest vanaaegsest parem, kuid ta on võrdlemisi raske, ka peab kruvide k ehitus ja nende ühendus peaga tehtama õige piinliku täpsusega, mille pärast Müncheni statiiv aegamööda tarvitamiselt kõrvale on jäetud.



56. joon.



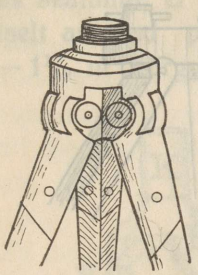
Prantsuse statiiv. Statiivi jalaots.

57. joon.

3. Prantsuse statiiv (57. joon.).

Kõige rohkem on praegu tarvitusel oma lihtsa ehituse ja vähese raskuse tõttu prantsuse statiiv. Selle statiivi pea on

5—6 cm paksune puuratas, millel kolm haru küljes ja sama suur auk keskel kui Müncheni statiivil. Harude H külge kinnitatakse kruvidega jalad J. Iga jalg koosneb kahest õhukesest plangust, milledest üks ühele, teine teisele poole haru külge kinni kruvitakse. Plankude pealmiste otste vahele on pandud puupakukesed P. Alumised otsad lõpevad ühiselt rauaga ülelöödud teravate otstega. Otste ligi plankude vahele on kinnitatud kolmnurgad, milledele vajutades statiivi jalgu kindlamalt maa sisse surume.



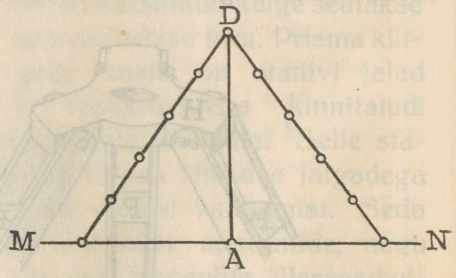
58. joon.

4. Inglise statiiv (58. joon.).

Kergemate aparaatide ülesseadmiseks tarvitatakse tihtilugu inglise statiivi, mille pea on vasest. Statiiv kruvitakse aparaadi külge kruvi abil.

Täisnurkade kujutamine, nurkade mõõtmine ja mitmesuguste ülesannete täitmine maamõõteketi abil.

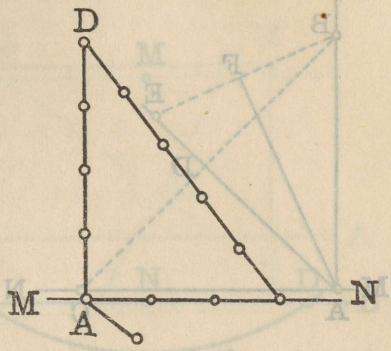
I. Sirgjoonel MN võib punkt A-st täisnurka kujutada järgmiselt: mõõdetakse ketiga (10 s. pikk) punkt A-st mõlemale poole à 3 sülda (20 m pik. ketiga mõõtes võetakse 6 m). Siis kinnitatakse ketiotsad leitud punktides ja keti keskkohast kinni võttes tõmmatakse see nii pingule, et mõlemad ketipooled on täiesti sirged (59. joon.). Keti keskpaik, punkt D, näitab seejuures punkti, mis seisab otsitaval perpendikulaaril. Punkt D punkt A-ga ühendades saame kätte selle perpendikulaari.



59. joon.

Ka võib seda ülesannet täita, kui punkt A-st ainult ühele poole 6 m (3 s.) ära mõõta, sinna kinnitada üks ketiots ja

punkt A-sse keti 18 m (9 s.) lõpp. Keti keskpaigast — 10 m (viienda sülla) kohast sirgu tõmmates, leiame jällegi otsitaval perpendikulaaril oleva punkti D, sest kolmnurk, mille küljed suhtuvad kui 6:8:10 = 3:4:5 on täisnurkne, seega nurk A = 90° (60. joon.). Täisnurga kujutamisel võime ketti niisama käidelda kui paberil sirklit. Mõõdame punkt A-st kummalegi poole 6 m ja neisse punktidesse kordamööda üht ketiotsa kinnitades (61. joon.) tõmbame teise otsaga mõlemale poole sirgjoont kaks kaart, millede ristlõiked teineteisega ühendame. Saadud joon peab läbi punkt A minema, mis on ülesande õige kordamineku tõenduseks. Viimast võtet võib muude abinõude puudumisel kasutada lankide sisseajamisel.



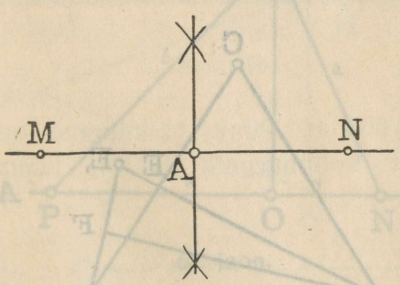
60. joon.

II. Täisnurka võib keti abil pooleks jagada.

Mõõdame nurga mõlemaid külgi mööda 10 m ketiga, ühendame need punktid (62. joon.), mõõdame ühendava joone

AB = AC = AE = 10 m
BD = DC
BF = EF

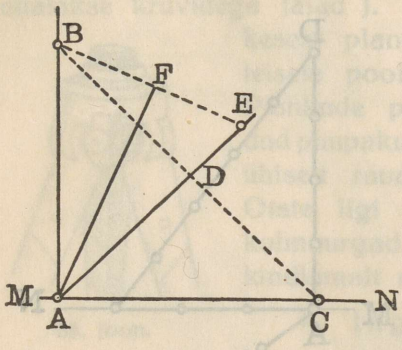
(kolmnurga hüpotenuusi) ära ja jagame selle pooleks; leiame punkt D, mida A-ga ühendades saame kaks ühesuurust nurka à 45°. Saadud nurki pooleks jagades võime ehitada $22^1/_2{}^0$ suuruseid nurki; edasi jagades — 11°15′ suuruseid nurki j.n.e., missuguseid nurki kokku arvutades mitmeid kombinatsioone võime sünnitada.



61. joon.

III. Keti abil võib nurka, mis on 60° või 30° suur, üles ehitada järgmiselt: Antud joone MN peale (63. joon.)

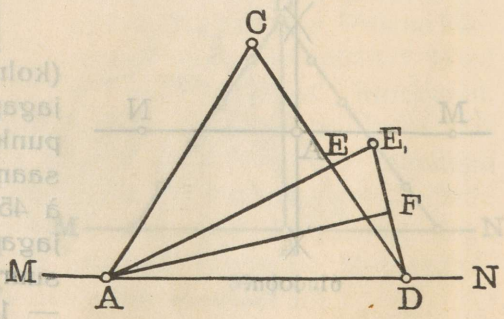
punkt A-s tuleb ehitada 60° nurk. Mõõdame punkt A-st AN suunas 10 m — saame punkt D. Kinnitame ühe ketiotsa punkt A-s ja teise punkt D-s. Tõmbame keti keskpaiga järele pingule, mille tõttu sünnib võrdhaarne kolmnurk ACD. Ühtlasi on nurk CAD 60° suur. Külge CD pooleks jagades ja saadud punkti E kolmnurga tipu A-ga ühendades saame nurga EAD, mis 30° suur. Külge AE kuni 10 meetrini pikendades, saadud punkti E_1 punkt D-ga ühendades ja joont E_1D pooleks jagades, saadud punkti F nurkade tipu A-ga ühendades saame nurga FAD, mis on 15° suur. Säärast poolitamist võime ka edasi jätkata.



62. joon.

IV. Punktist M, mis väljaspool sirgjoont AB, võib keti abil sellele joonele tõmmata perpendikulaari.

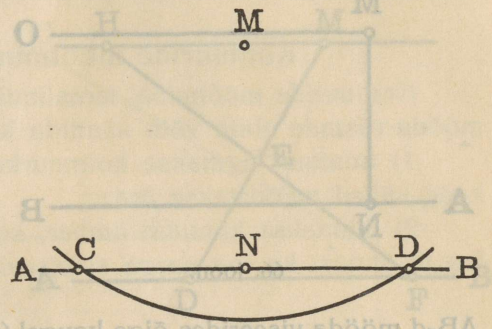
Kui punkt M-u kaugus joonest vähem on kui 18—20 m (64. joon.), siis võib seda tööd niisama teostada, kui see paberil sirkliga tehakse: kinnitatakse keti üks ots punkt M-sse ja teise otsa tõmmatakse kaar CD, mis joon AB-d lõikab punktides C ja D. Joon CD-d pooleks jagades leiame otsitava perpendikulaari aluse N.



63. joon.

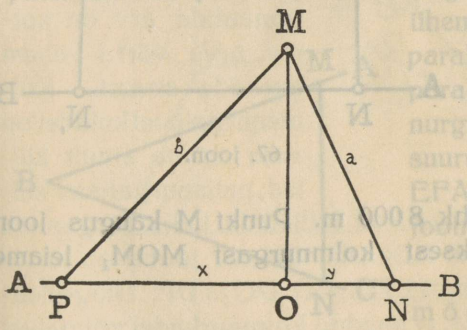
Juhtumil, kui punkt M on kaugemal joonest AB, et ei ulatu ketiga kaart tõmbama, saadetakse M ühendatakse mõnesuguse ülesanne teisiti korda: punkt punktiga N, mis võetud AB-l,

kusjuures nähtavalt sünnib teravnurk MNA. Pikkus MN mõõdetakse ära. Saame näiteks a meetr. Siis mõõdetakse punkt N-st punkt A suunas sama palju — a m. Ühendatakse saadud punkt P punkt M-ga ja mõõdetakse joon PM, saame b meetr. Perpendikulaari saame, kui punkt N-st mõõdame punkt A suunas $\frac{2a^2 - b^2}{2a}$ m, või punkt P-st mõõdame $\frac{b^2}{2a}$ meetr., mis on üks ja sama (65. joon.).



64. joon.

T õ e n d i s: Kui joon MO on perpendikulaarne AB-le, siis võime üles tähendada: $MO^2 = MN^2 - ON^2$; $MO^2 = PM^2 - PO^2$; esimesest võrdest teist lahutades saame: $MN^2 - ON^2 - PM^2 + PO^2 = 0$, ehk: $a^2 - y^2 - b^2 + x^2 = 0$; teiseks on teada, et $x + y = a$; kust $x = a - y$; seega x asemele viimast võrdust pannes leiame, et $a^2 - y^2 - b^2 + a^2 - 2ay + y^2 = 0$, kust $y = \frac{2a^2 - b^2}{2a}$; teiselt poolt oleks $x = a - y$ $x = a - \frac{2a^2 - b^2}{2a} = \frac{b^2}{2a}$



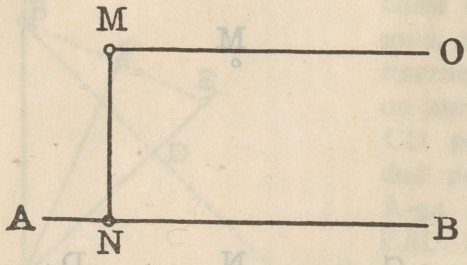
65. joon.

V. P a r a l l e e l j o o n t e e h i t a m i n e.

Punkt M-st on tarvis tõmmata joon AB-le paralleelne joon; selleks tõmmatakse punkt M-st perpendikulaar AB-le. Perpendikulaari MN peale punkt M juures ehitatakse täisnurk, mille tõttu sünnib paralleelne joon MO (66. joon.).

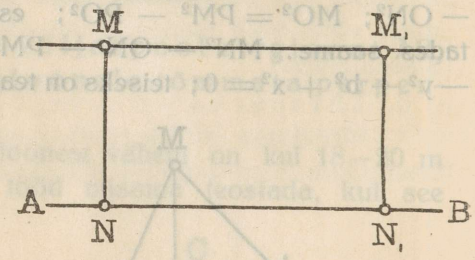
Teisiti saaks seda ülesannet täita, kui perpendikulaari MN

tõmmates selle ära mõõdame ja mõnesugusest teisest punktist N_1 joon AB-l täisnurka ehitades uut perpendikulaari kaudu MN pikkuse tähistame ja leitud punkti M_1-st M-ga ühendades saame (67. joon.) otsitava paralleeljoone.

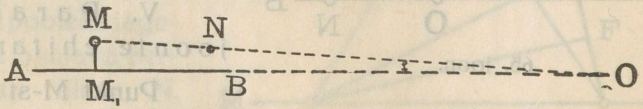


66. joon.

Kui punkt M on joonele AB võrdlemisi lähedal, nii umbes 2—5 m kaugusel, siis on võimalik lagedal väljal või mere ääres tõmmata paralleeljoont punkt M-st õige lihtsat viisi. Otsime joon AB-d mööda viseerides õige kaugel (paari km kaugusel) olevate asjade seast säärase silmapaistva punkti O, mis oleks joon AB-ga ühes suunas. Siis viseerime punkt M-st sama punkti O suunas ja seame üles tiku N (68. joon.). Tõepoolest ei ole joon MN mitte paralleelne AB-ga, kuid väiksemate ülesannete juures võib neid arvata paralleelseteks, sest nurk nende vahel on ainult mõne minuti suurune. Näiteks oletame, et kaugus punktist M kuni O-ni on 8 km ehk 8 000 m. Punkt M kaugus joon AB-st = 5 m. Täisnurksest kolmnurgast MOM_1 leiame



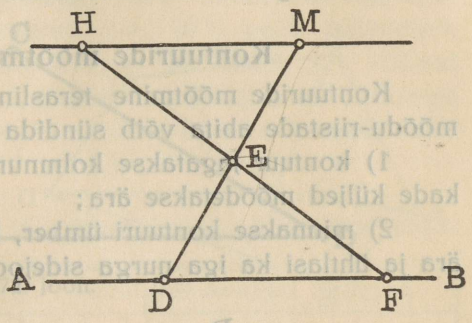
67. joon.



68. joon.

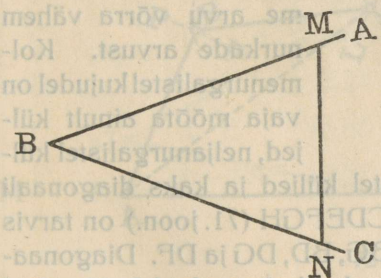
$MM_1 = MO \sin MOM_1$, ehk $5 = 8\,000 \sin \alpha$; siin $\alpha = \frac{5}{8\,000} = \frac{1}{1\,600}$, kust α = umbes $2^1/_2$ min. Kui mõõtmine toimub täpsusega 0,01 m, siis ei tohi käesoleval juhtumil tõmma-

tud paralleeljoone pikkus suurem olla kui 10—15 m. Arusaadav, kui punkti M kaugus joon AB-st on üle 5 m ja kui vaatepiiril ei ole näha kaugel olevaid asju, et need liiga ligidal (lähemal kui paar km), ehk kui on tarvis tõmmata pikemat paralleeljoont, siis ei ole võimalik tarvitada käesolevat meetodit.



69. joon.

Paralleeljoonte ehitamine punkt M-st võib õige soodsalt sündida veel järgmiselt (69. joon.). Ühendame punkt M mõnesuguse punktiga joon AB-l, näiteks punktiga D. Mõõdame saadud joone MD ning jagame selle pooleks. Saadud punkti E ühendame joon AB mõne teise punktiga, mis oleks D-st võimalikult paarikümne meetri kaugusel. Joont EF mõõtes pikendame joont punkt E-st teisele poole edasi. Mõõdame sellel pikendusel EF pikkuse, saame seega punkt H, mida punkt M-ga ühendades ühtlasi joon AB-le paralleelse joone ehitame. Joonte paralleelsus tekib sellest, et kolmnurgad HME ja EFD on ühesuurused, seega nurgad MHE ja EFA ühesuurused, mille tõttu ka jooned HM ja AB on paralleelsed.



70. joon.

VI. Keti abil võib mõõta nurki, nimelt nurkade sidejooni, ringjoone raadiuseks võttes keti pikkust.

Näiteks on tarvis nurga ABC (70. joon.) suurust ära tähendada sidejoone ehk kõõlu abil. Mõõdame punkt B-st nurga külgesid kaudu 20 m, saame punktid M ja N. Nende punktide kaugust teineteisest mõõtes, leiame sidejoone pikkuse MN, mis sm tähistatakse. Saadud andmete järele võib paberil

alati joonistada nurka ABC, on ju kolmnurgal BMN teada kõik kolm külge.

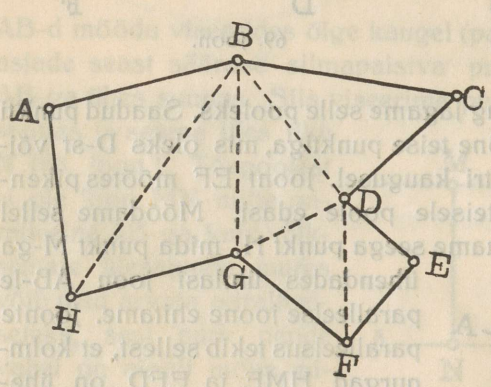
Raamatu lõppu lisatud tabeli järele võib sidejoone järgi arvutada nurga suuruse kraadides täpsusega kuni 5 minutini.

Kontuuride mõõtmine keti abil.

Kontuuride mõõtmine teraslindi või ketiga ilma nurgamõõdu-riistade abita võib sündida kahte viisi:

1) kontuur jagatakse kolmnurkadeks ja kõikide kolmnurkade küljed mõõdetakse ära;

2) minnakse kontuuri ümber, kontuuri küljed mõõdetakse ära ja ühtlasi ka iga nurga sidejoon.

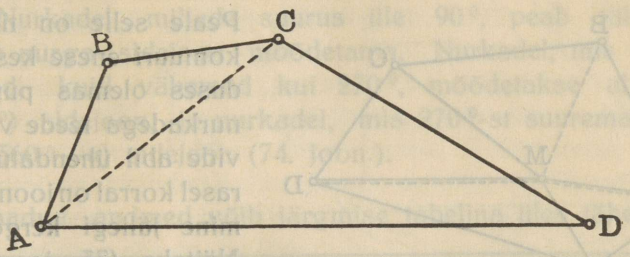


71. joon.

3) Kontuuri punktide asukohad määratakse ristläbilõikega või joonte suunaga.

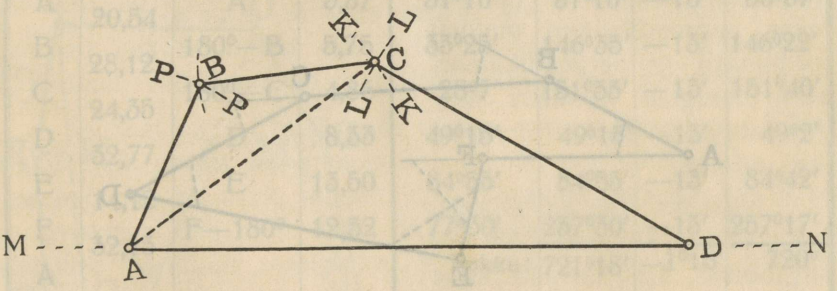
Kolmnurkadeks jaotamine võib sündida diagonaalide abil, kusjuures mõõdetavate diagonaalide arv on kolme arvu võrra vähem nurkade arvust. Kolmenurgalistel kujudel on vaja mõõta ainult küljed, neljanurgalistel küljed ja üks diagonaal, viienurgalistel küljed ja kaks diagonaali j. n. e. Kaheksanurgalisel kujul ABCDEFGH (71. joon.) on tarvis mõõta viis diagonaali, nimelt BH, BG, BD, DG ja DF. Diagonaalide valikul tarvis tähele panna, et saadud kolmnurkadel võimalust mööda seejuures ei teki mitte liiga teravaid nurki (alla 30°) või liiga nürisid nurki (üle 150°). See on tähtis pärastisel joonistamisel, kus liiga teravate nurkade joonistamine (kahe kaare ristläbilõike punkt ei sünni mitte küllalt täpselt. Näiteks peab neljanurgalisel kujul (72. joon.) ABCD peale nelja külje ära mõõdetama diagonaal AC, aga mitte diagonaal BD, mille mõõtmisel tekivad liiga teravad nurgad. Saadud andmete joonis-

tamine paberile toimub üksikute kolmnurkade viisi, iga järgmist kolmnurka liites eelmisele kujule. Näiteks nelinurga ABCD joonistamisel (72. a joon.). Võtame joone MN, sellel



72. joon.

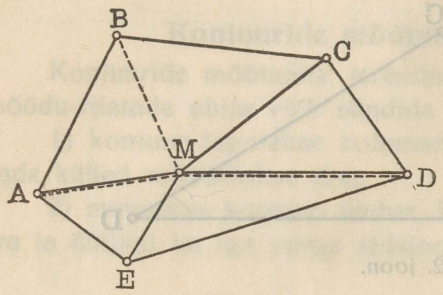
punkt A; sirkli abil vastava mõõtkava järele ehitame joone AD pikkuse, saame punkt D. Nüüd tõmbame punkt A-st AC pikkusele vastava raadiusega kaare KK_1 ja siis punktist D DC pikkusele vastava raadiusega kaare LL_1. Koht, kus üks kaar teist lõikab, on otsitav punkt C, mida A ja D ühen-



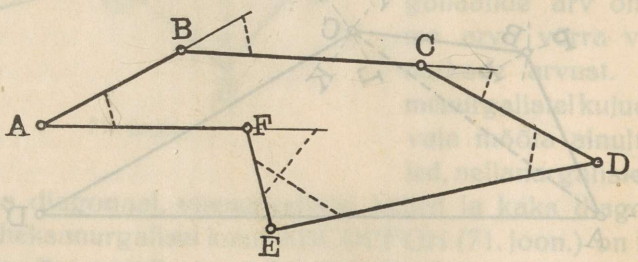
72 a. joon.

dades saame kolmnurga ACD. On see kolmnurk käes, kustutatakse kõik abijooned (kaared KK_1 ja LL_1, jooned AM ja DN). Siis joonele AB vastava raadiusega, mis jällegi mõõtkava järele vastavalt vähendatult võetud, punkt A-st kaart PP_1 tõmmates ja punkt C-st raadiusega, mis BC vastab, kaart tõmmates, leiame punkt B, mida A ja C-ga ühendades saame otsitava neljanurkse kuju ABCD.

Diagonaalide asemel võib kontuuri keskel valitud punkti ühendada nurkade tippudega. Seejuures tuleb mõõdetavate joonte arv kolme arvu võrra suurem, kuid on rohkem võimalust teravaid nurki ära hoida. Peale selle on tihti juba kontuuri enese keskel looduses olemas punkt, mis nurkadega teede või kraavide abil ühendatud. Sääraselt korral on joonte mõõtmine jällegi kergendatud. Näiteks (73. joon.) kontuuril ABCDE läheb punkt A-lt D-ni maantee ja sellel maanteel leiame punkt M, mis kraavidega punkt C ja E-ga ühendatud. Kontuuri ülesvõtmiseks plaanile mõõdame ära küljed AB, BC, CD, DE ja EA, peale selle abijooned AM, MD teed kaudu ja MC ME kraavi kaudu. Jääb üle mõõta ainult joont BM otse



73. joon.



74. joon.

üle põldude. Diagonaalisid sisse ajades oleks aga rohkem põldusid tulnud tallata. Viimane mõõtmisviis kannab polaarmeetodi nime.

II. On juhtumeid, kus on võimatu mõõta diagonaalisid, nii ka abipunkti valida keset kontuuri. Näiteks, kui kontuuri keskel aiad, hooned või muud takistused ees, ehk keset kon-

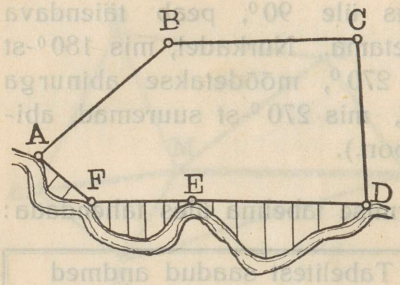
tuuri ligipäästamatud järved, sood ja rabad ehk jälle on täiskülvatud põllud, mida kahju tallata. Niisugusel korral toimub kontuuri ülesvõtmine sidejoonte abil. Mida suurema raadiuse juures sidejooned mõõdetud, seda täpsem on töö tulemus. Nurkadel, millede suurus üle 90°, peab täiendava (180—α) nurga sidejoon mõõdetama. Nurkadel, mis 180°-st suuremad, kuid vähemad kui 270°, mõõdetakse abinurga (α—180°) sidejoon, ja nurkadel, mis 270°-st suuremad, abinurga (360°—α) sidejoon (74. joon.).

Saadud andmed võib järgmise tabelina üles tähendada:

Mõõtmisel saadud andmed				Tabelitest saadud andmed			
Punktide nimetus	Külgede mõõt m	Mõõdetud sidejoontele vastavate nurk. nimetus	Sidejoonte pikkus 10 m raadiusega.	Sidejoontele vastavad nurgad kraadides tabeli järele	Sisemiste nurkade suurus kraadides	Parandus	Parandatud sisenurgad
A	20,54	A	5,37	31°10′	31°10′	—13′	30°57′
B	28,12	180°—B	5,75	33°25′	146°35′	—13′	146°22′
C	24,35	180°—C	4,86	28°7′	151°53′	—13′	151°40′
D	32,77	D	8,33	49°15′	49°15′	—13′	49°2′
E	14,12	E	13,50	84°55′	84°55′	—13′	84°42′
F	32,15	F—180°	12,52	77°30′	257°30′	—13′	257°17′
A				kokku:	721°18′	—1°18′	720°
				peab olema	720°		
				on rohkem	1°18′		

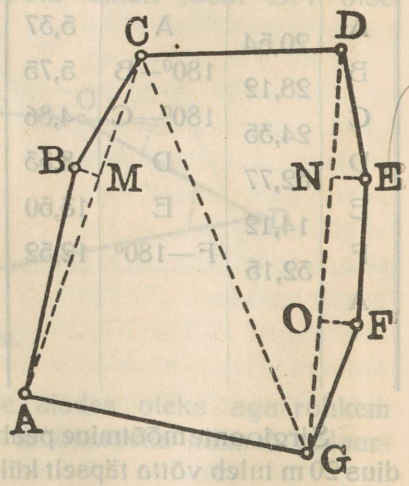
Sirgjoonte mõõtmine peab võimalikult täpselt sündima, raadius 20 m tuleb võtta täpselt külgede suunas, sidejoone mõõtmine ise sündigu õige hoolsasti, — siis võib kindel olla, et iga üksiku nurga mõõtmisel viga ei ulatu üle 15′. Sidejoonte ja diagonaalide abil mõõtmisviise teineteisega võrreldes peab tähendama, et diagonaalide abil mõõtmine on täpsem. Siin on võimalus

ühtlasi kontuuri pinda põllul mõõdetud andmete järele välja arvutada kaunis suure täpsusega. Teada on, et iga üksiku kolmnurga väli on $p = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}$, kus S on pool kolmnurga perimeetrist ja a, b, c on kolmnurga küljed. Mitmenurgalise kuju juures leiame $P = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \ldots + p_n$. $P = \sum p$.



75 joon.

Kontuuride mõõtmisel tuleb tihti ette, et mõned kontuuri küljed ei ole sirgjooned, vaid kõverjooned, näiteks, on põllupiiriks oja kallas. Säärasel korral tähendatakse oja kallast mööda abijooned, millede abil kontuuri küljed sirgjooneliseks tehakse, ära mõõdetakse ja paberil üles tähendatakse (75. joon.). Oja kaugus abijoontest DE, EF ja FA määratakse perpendikulaaride abil, mis oja käärukohtadest abijoontele tõmmatakse, perpendikulaari pikkust (ordinaati) ja perpendikulaari aluse kaugust kontuuri nurgast abijoont kaudu (abstsiss) ära mõõtes.



76. joon.

Niisama võib ka talitada, kui kontuuri külgedeks on küll sirgjooned, aga nurgad kahe külje vahel 180° lähedal (76. joon.). Näiteks kontuuri ABC DEFG küljed AB ja BC, samuti ka DE, EF ja FG sünnitavad nurki, mis 180° lähedal. Soovitav on, et siin kuuekülje-lise kuju asemel ära mõõdetakse nelinurk ACDG ja kindlaks määratakse punktide B, E ja F seisukoht ordinaatide ja abstsisside abil. Punkt B jaoks oleksid need

BM ja AM, punkt E jaoks EN ja DN; punkt F jaoks FO ja DO. Kui peale külgede CD ja AG ning abijoonte AC ja DG veel ära mõõdetaks diagonaal CG, siis oleks võimalik joonistada kontuuri ACDG, millele pärast perpendikulaaride BM, EN ja OF andmete järele tähistatakse joonte AB, BC ja DE, EF ning FG seisukoht.

Igasuguse mõõtmise juures väljal mõõtmise aegu peab valmistatama väike umbkaudne joonis mõõdetavast kontuurist, kuhu kõik märkused üles tähendatakse. Mõõtkavast kinnipidamine ei ole selle joonise juures tarvilik. Säärast joonist nimetatakse algjooniseks ehk abrissiks. Abriss peab siiski niivõrd selgesti ja arusaadavalt joonistatud olema, et peale joonistaja enese ka iga teine maamõõtja saaks sellest aru. —

Joonistamis-abinõud.

Väljal saadud andmete ülestähendamiseks paberile on tarvis järgmisi abiriistu: joonlaud, kolmnurk, mõõtesirkel, mõõtkava, transportiir, joonsulg jne.

Joonlauda on vaja umbes 40—60 sm pikkust; tema servad peavad õiged olema ja mõlemad küljed tasapinnad. Joonlaud valmistatakse harilikult pirnipuust, harvem lepast.

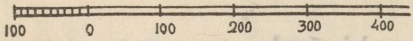
Kolmnurki peab mitu olema, mitmes suuruses. Kõige suuremail peaks hüpotenuus olema 30 sm pikk. Üks nurk peab olema täisnurk, täpselt 90°. Teravate nurkade kohta on soovitav, et üks neist oleks 30° ja teine 60°. Ka kolmnurgad tehakse harilikult pirnipuust. Kolmnurga ja joonlaua proovimisest on eelpool kõneldud.

Sirkel. Sirkli harud peavad olema 10—15 sm pikad. Šarniiri ühendus peab võimaldama kerget ja vaba harude koost- ja kokkuliikumist; selleks otstarbeks valmistatakse šarniir mitmesuguse kõvadusega metallidest. Šarniiri ühendust võib võtme abil muuta kindlamaks või lõdvemaks. Mõõtesirkli harude otsad peavad võimalikult õige teravad olema, seejuures on nõudmine, et nad ei painduks ega murduks; otsad peavad olema võimalikult nii teravad, et harude kokkuliitumisel sirk-

liga vajutatud täpp oleks üks ainus punkt, mitte aga kaks. Sirkli harusid ei pea laiemale lahti lükkama, kui on sirkli jalgade pikkus; tähendab 10 sm pikkuse sirkli juures võib võtta sirkliga maksimum 10 sm pikkusi mõõtusid.

Mõõtkava. Mõõtkava on arvuline ja jooneline. Arvuline mõõtkava on murdarv, mis näitab, mitu korda väljal mõõdetud jooned on suuremad kui vastavad jooned paberil. Metsatööde juures on meil tarvitusel mõõtkavad: $^1/_{10\,000}$, $^1/_{5\,000}$, $^1/_{2\,500}$, s. o. 1 sm paberil = 100 m natuuras
1 sm „ = 50 m „
1 sm „ = 25 m „

Venemaal oli põllu- ja metsakaartide koostamisel tarvitusel mõõtkava $^1/_{8\,400}$, mis tähendab, et 1 toll paberil on 8 400 tolli ehk 100 sülda looduses; mõõtkava — $^1/_{4\,200}$, mis vastab: 1 toll paberil — 50 sülda looduses.



77. joon.

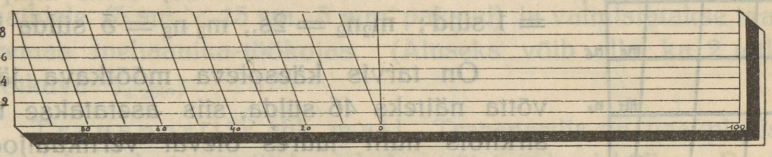
Topograafilistel kaartidel oli mõõtkava 1) $^1/_{42\,000}$, ehk 1 toll vastab 1 verstale; 2) $^1/_{84\,000}$ — 1 toll vastab kahele verstale ja 3) $^1/_{420\,000}$ — üks toll vastab 10 verstale. Liivi- ja Eestimaal oli tarvitusel mõõtkava $^1/_{5\,200}$, misjuures 6 tolli paberil vastavad 1 500 küünrale väljal ehk 1 toll = $61^{13}/_{21}$ sülda. Peale selle oli tarvitusel mõõtkava $^1/_{2\,600}$ (12 tolli = 1 500 küünraga). Igal plaanil plaani alumisel serval (harilikult keskkohal) tähendatakse peale arvulise mõõtkava veel n. n. jooneline mõõtkava. Jooneline mõõtkava võib olla: 1) lihtjooneline ja 2) täisjooneline, mida ühtlasi kutsutakse ka põikjooneliseks.

Lihtjooneline mõõtkava koosneb ühest, vahel ka kahest teineteise ligidal asuvast paralleelsest sirgjoonest ja on jagatud ühesuurustesse osadesse, mis vastavad teatavale mõõdule väljal.

Osade alla on kirjutatud numbrid, mis tähendavad mõõtkava osade lõikjoontele väljas looduses vastavaid pikkusi.

Pahempoolne osa on vähematesse pügalatesse jaotatud ja null ei seisa mõõtkava serval, vaid ärajagatud esimese osa järel. Suurte osade numbrite järjekord läheb nullist paremale poole, väikestel pügalatel nullist pahemale poole. On tarvis

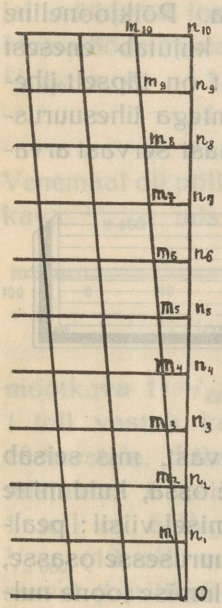
võtta selle mõõtkava 265 m, siis asetatakse üks sirkli jalg põikjoonele, mis number 200-le vastab, teine haru aga pahemale poole nulli, veel $6^1/_2$ väikest pügalat ligi võttes. Kogu suurus on seega: 200 m paremalt poolt + 65 m pahemalt poolt. Lihtjooneline mõõtkava on rohkem ehituste ja vähemate plaanide juures tarvitusel. Maamõõtmisel tarvitatakse aga harilikult täisjoonelist ehk põikjoonelist mõõtkava. Põikjooneline mõõtkava on kujutatud 78. joonisel. See kujutab enesest 11 paralleelset joont, millede kaugus üksteisest on täpselt ühesuurune. Jooned on perpendikulaarsete põikjoontega ühesuurustesse osadesse jaotatud. Nullpügal asub pahemast servast arva-



78. joon. Suurendatud 18:10.

tes esimese põikjoone peal. See osa mõõtkavast, mis seisab nullist pahemal pool, on jaotatud 10 vähemasse ossa, kuid mitte alusele perpendikulaarsete joontega, vaid järgmisel viisil: pealmine ja alumine joon on jaotatud 10-sse ühesuurusesse osasse, pealmise joone esimene pügal on ühendatud alumise joone nulliga, teine pealmine pügal alumise esimesega, kolmas pealmine alumise teise pügalaga jne. Seega on pahempoolne osa mõõtkavast jaotatud väikesteks parallelogrammideks (rööpkülikuteks) ja kolmnurkadeks. Väikeste parallelogrammide pikutiküljed on kõik $^1/_{10}$ tolli pikad, sest käesolev mõõtkava on ehitatud 1 toll = 100 süllale ja seega on pealmine ja alumine joon pahempoolsest mõõtkavast jaotatud $^1/_{10}$ tolli suurustesse (ehk $^{100}/_{10}$ = 10 süllale väljal vastavaisse) pügalaisse. Äärmised põikjooned sünnitavad kolmnurki (79. joon.) m_1on_1; m_2on_2; m_3on_3 . . . . $m_{10}on_{10}$ (1); et aga paralleelsete joonte kaugus üksteisest on ühesuurune, siis $on_1 = n_1n_2 = n_2n_3 =$ $= n_3n_4 = n_4n_5$ . . . . . $= n_9n_{10} = x$ (2); kust: $on_{10} = 10x$; $on_9 = 9x$; $on_8 = 8x$ . . . . . $on_1 = x$ (3); seega oleks esimene

võrrand, silmas pidades eeltoodud kolmnurkade sarnasust, järgmine: $\frac{m_{10}\,n_{10}}{n_{10}\,o} = \frac{m_9\,n_9}{n_9\,o} = \frac{m_8\,n_8}{n_8\,o} = \ldots = \frac{m_1\,n_1}{n\,o}$, või teisiti: $\frac{m_{10}\,n_{10}}{10\,x} = \frac{m_9\,n_9}{9\,x} = \frac{m_8\,n_8}{8\,x} = \ldots = \frac{m_1\,n_1}{x}$ (4); seda valemit x-ga korrutades jääb järele: $\frac{m_{10}\,n_{10}}{10} = \frac{m_9\,n_9}{9} = \frac{m_8\,n_8}{8} = \ldots = \frac{m_1\,n_1}{1}$ (5); $m_{10}\,n_{10}$ on teada, see on 0,1 tolli, sellega oleksid 5-da valemi osad üksikult grupeeritult: $\frac{m_9\,n_9}{9} = \frac{0{,}1}{10}$; $m_9n_9 = 0{,}09$ tolli; $m_8n_8 = 0{,}08$ tolli; $m_7n_7 = 0{,}07$ tolli jne. Arvates 1 toll = 100 sülda, oleks $m_1n_1 =$ = 1 süld; $m_2n_2 = 2$s., $m_3\,n_3 = 3$ sülda jne.



79. joon.

On tarvis käesoleva mõõtkava järgi võtta näiteks 46 sülda, siis asetatakse üks sirkliots nulli juures olevat vertikaaljoont mööda 6. paralleeljoonele ja teine sirkliharu sellesama paralleeljoone ja põikjoone nr. 4 ristläbilõike punkti. Sirkliotste vahe on: nelja parallelogrammi pikkus + kuuenda kolmnurga külje pikkus ehk $(0{,}1 \times 4) +$ $+ 0{,}06 = 0{,}46$ tolli, mis vastab 46 süllale. Võtame teise juhtumi: on tarvis võtta 283 sülda. Üks sirkliots pannakse 200 juures olevat vertikaaljoont mööda nr. 3 paralleeljoonele, teine sirkliots aga sama paralleeljoone ja pahemal pool nulli oleva 8-da põikjoone ristpunkti. Sirkliotste vahe on: kaks tervet tolli + kaheksa parallelogrammi külge + kolmanda kolmnurga külg = 2 tolli + $(0{,}1 \times 8) +$ $+ 0{,}03 = 2{,}83$ tolli, mis vastab 283 süllale väljal. Ka võib säärase mõõtkava järele mõõta pooli süldasid, sirkliotsi kahe paralleeljoone keskele üles seades. Lihtjoonelise mõõtkava juures tulid 1—10 silma järele võtta, täisjoonelise juures aga näeme, et ka üksikud süllad (1—10) on üles tähendatud, ja seega mõõtkava tarvitamine täpsem.

Mõõtude ülekandmise üldjärjekord:

a) Valida saja meetri (süldade) arvule vastav vertikaaljoon mõõtkava parempoolses osas;
b) valida üksikute meetrite (süld.) arvule vastav paralleel- (horisont.) joon;
c) nende joonte lõikepunkti asetada sirkli parem ots;
d) valida kümnete meetrite (süldade) arvule vastav põikjoon mõõtkava pahempoolses osas ja sinna asetada sirkli pahempoolne ots.

Mõõtkava osade joone pikkust nimetatakse mõõtkava aluseks. Käesoleval juhtumil on mõõtkava alus 1 inglise toll. Mõõtkava alus võib ka olla 0,01 sülda; meetri juures — 1 sentimeeter ehk 2 sm. Põikjoonelised mõõtkavad lõigatakse vaskplaatidele (3 sm × 15 sm, 3 mm paksud) ja valmistatakse igas paremas mehaanika-töökojas. (Aluseks võib olla ka 2 tolli, mõõtkava $^1/_{4\,200}$.)

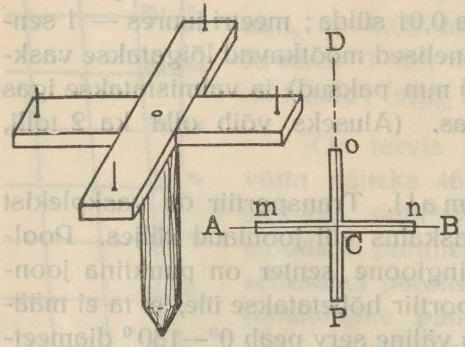
Transportiir ehk mall. Transportiir on vaskplekist lõigatud poolratas, millel vaskalus või joonlaud küljes. Poolratas on jagatud 180°. Ringjoone senter on punktina joonlaua sisse märgitud. Transportiir hõbetatakse üle, et ta ei määriks paberit. Aluse joonlaua väline serv peab 0°—180° diameetrile paralleelne olema. Maamõõtjaile on tarvilik transportiir, mille diameeter oleks 10—20 sm. Suurema diameetriga transportiiridel on kraadid tihti veel pooleks jagatud, vahel koguni neljaks, nii et transportiiril nurgad on tähistatud täpsusega 30′—15′. Säärase transportiiriga pügalate vahet silma järele poolitades, on võimalus nurki üles tähendada täpsusega kun 10 minutini.

Täisnurkade ehitamine ja selleks tarvisminevad mõõduriistad.

Eelmises peatükis seletasime, kuidas on võimalik maamõõte-keti abil täisnurki ehitada. Säärane ehitamine on siiski liiga tülikas, seepärast ehitatakse täisnurk harilikult mõne teise mõõduriistaga.

Mõõduriista, mille abil on võimalus väljal täisnurki ehitada, nimetatakse ekkeriks.

Kõige lihtsam ekker on puust rist, mille üksikud harud 20 sm pikad (80. joon.). Üks haru on tapina teise sisse lõigatud, et igasugune liikumine oleks kõrvaldatud. Risti otstesse on kinnitatud nõelad, nõnda et jooned, mis ühendavad vastastikku olevaid nõelu, oleksid isekeskis perpendikulaarsed. Rist naelutatakse vaia otsa. Et käesolevale suunale AB-le — punkt C-s perpendikulaari ehitada, seatakse ekker üles joon AB-d pidi, nõnda et üle nõelte mn viseerides ühelt küljelt vaadates nõelad ühes vertikaalpinnas oleksid punkt B-ga ja teiselt küljelt vaadates punkt A-ga. See on tõenduseks, et ekker seisab keset joont AB. On see sündinud, seatakse nõelte op suunas üles sihitikk D, joon CD on suund AB-le perpendikulaarne. Et teada saada, kas ekker on õige ja kas $\sphericalangle$ 90° õieti üles ehitatud, pöörame risti horisontaalpinnas 90°-le ümber, ilma et me vaia maa seest välja tõmbaksime, nõnda et nõelad op suunaga AB ühte langevad. Üle nõelte mn viseerides peame nägema punkt D-d, kui ekker on õige.



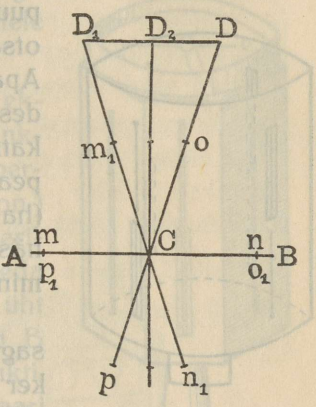
80. joon.

Juhtumil, kui ekker ei ole õige, s. o. kui nõelu ühendavad jooned omavahel ei ole perpendikulaarsed, s. o. kui nurk mCo (81. joon.) on suurem kui nurk oCn, jääks ekkeri ühe täisnurga osa (ekkeri järele arvates) ümberkeeramisel sihitiku D kõrvale ja üle nõelte m_1n_1 vaadates näeme mingisugust teist punkti D_1. Esimesel vaatlusel on seejuures nõelad mn joon AB suunas juhitud, teisel vaatlusel (s. o. peale pööret arvatava täisnurga võrra on sama joont AB kaudu juhitud nõelad po. Joont D_1D ära mõõtes ja pooleks jagades ning saadud punkti kolmandat tikku üles seades, parandame ekkeri nõela m seisukoha nii, et üle nõelte mn vaadates me näeksime punkti D_2, ühtlasi peavad aga seejuures üle nõelte op_1 vaadates algussuuna AB tikud näha olema.

On soovitav kontrollimist korrata.

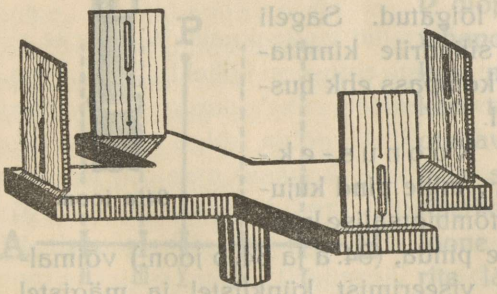
Vertikaalpinda, mis läbi kahe nõela läheb ja milles toimub vaatlemine, nimetatakse kollimatsioonipinnaks.

Ülemalkirjeldatud ristekkerit võib täiendada, kui nõelte asemele nõndanimetatud dioptrid üles seame. Diopter on vasest (või mingisugusest muust metallist) püstplaat, millele vaateauk ehk -aken sisse lõigatud. Dioptrite vaateaugud on kahte liiki: 1. silmadiopter, millel vaateauguks kitsas pragu ($^1/_2$ — $^3/_4$ mm) või vertikaalne rida väikseid auke; 2. asjadiopter, millel lai ($^1/_2$—1 cm) püstpragu sees; keset seda pragu on pinguletõmmatud jõhv. Risti alla, mis ekkeri moodustab, joodetakse vasktoruke, mille abil võimaldub ekkeri kepi otsa panemine.



81. joon.

Asjadiopter võiks ka olla kitsas pragu, kuid sel juhtumil jääb vaadatav asi liiga tumedaks, sest läbi kahe kitsa prao pääseb silma väga vähe valgusekiiri. Siiski on säärasel dioptril üks suur headus: läbi kahe kitsa prao võib viseerida mõlemas suunas.

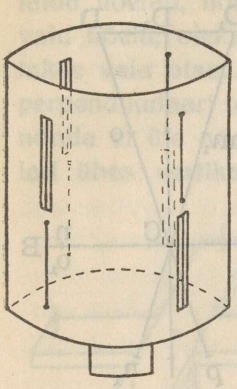

82. joon.

Uuemal ajal ehitatakse kõik dioptrid nõnda, et võimalik on kahes suunas viseerida (82. joon.). Igal dioptripaaril on kaks kuni kolm kollimatsioonipinda, s. o. igal dioptril on nii kitsas kui ka lai lõhe. Kui ühel dioptril on kitsas lõhe all, siis on teisel vastas oleval lai lõhe all ja kitsas üleval.

Nõudmine, mida me seame dioptritele, on, et kitsas pragu

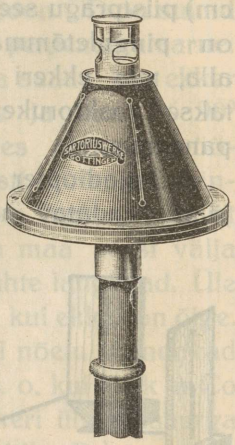
ja jõhv peavad täiesti vertikaalselt seisma, kui aparaat ise horisontaalseisu on seatud.

Proovida võib seda järgmiselt: lastakse kuskilt kõrge puu otsast või teise korra aknast lood nööri otsas alla rippu; nöör kujutab vertikaaljoont. Aparaati vesikaalu abil horisontaalseisu seades, peab läbi dioptrite vaadates jõhv nööri katma, kuid ei tohi teda lõigata. Silmadiopter peab asjadioptrist 25 sm kaugusel olema (harilik hästinägemise kaugus), siis on niihästi vaadatav asi kui ka jõhv kõige paremini näha.



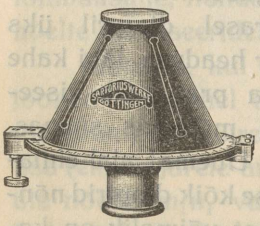
83. joon.

Peale rist- ja dioptritega ekkeri on sagedasti tarvitusel silinder-ekker, koonusekker ja kaheksakandiline ekker. Need ekkerid on ristekkerist paremad selles mõttes, et neid hõlpsam on kaasas kanda.



84. a joon.

Silinder-ekker (83. joon.) on vasktrummel, mille küljesse kaks paari üksteisega perpendikulaarseid dioptreid on lõigatud. Sageli on silindrile kinnitatud kompass ehk bussool.



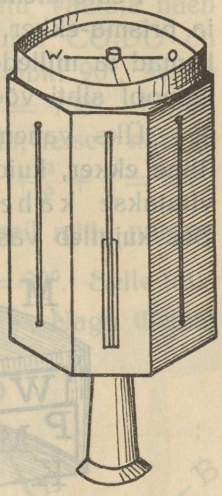
84. b joon.

Koonus-ekker, mille pind kujutab tõmbiotsalise koonuse pinda, (84. a ja 84. b joon.) võimaldab viseerimist künklistel ja mägistel maadel, kus harilik ristekker ja ka silinderekker pole kohased. Koonus-ekker varustatakse tihtilugu limbi ja alidaadiga, mis võimaldab säärase ekkeriga mõõta polügooni nurki. (84. b joon.)

Kaheksakandilisel ekkeril (85. joon.) on harilikult neli paari dioptreid, kuna neid silinder- ja koonus-ekkeril on kõigest 2 paari. Seega on kaheksakandilise ekkeriga

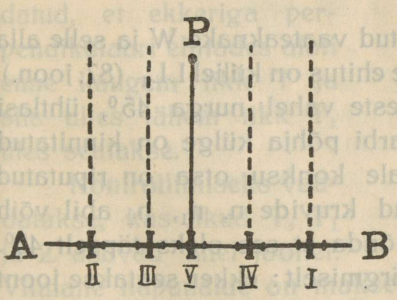
võimalik 45° nurki üles ehitada. Kahel paaril ristdioptritest on harilikult nii silma- kui ka asjadioptril ainult kitsas pragu.

Ülemaltoodud ekkerite abil on kerge antud punktist antud suunas ehitada sellele suunale perpendikulaarset joont.



85. joon.

Raskemaks muutub ülesanne, kui ekkeri abil väljaspool sirgjoont olevast punktist on tarvis sellele joonele tõmmata perpendikulaar — näit. punkt P-st (86. joon.) sirgjoon AB-le. Ülemalkirjeldatud ekkeritega mööda joont AB sammudes, seame teda siin ja seal joone suunas üles, nõnda et üht dioptripaari kaudu viseerides tikud A ja B oleksid näha, ja otsime kohta ehk punkti, kust läbi oleks näha teise dioptritepaari punkt P. Näit. kohta I ekkerit üles seades leiame, et punkt P meie punkt I-st kujutletavast perpendikulaarist seisab kõrval sealpool küljes, kuhu meie liikusime. Tähendab, tuleb edasi liikuda ja uuesti proovida. Võib tulla juhtum, et me perpendikulaaripunktist üle oleme sammunud ja punkt P dioptrite läbi vaadates juba tahapoole jääb, sinnapoole, kust me tulime. Siis tuleb ekkerit tagasi tõsta, kuni viimaks otsitava punkti üles leiame. Siis saab ekkeri ülesseadmist täielikult kontrollida: antud joone AB suunas olevate dioptrite läbi vaadatakse enne A poole, siis teiselt poolt läbi samade dioptrite B poole. Mõlemate poolte sihitikke peab dioptri jõhv katma. Läbi teise dioptritepaari vaadates peab jõhv katma punkt P-d. On see sündinud, siis oleme ühtlasi leidnud ka perpendikulaari aluse.



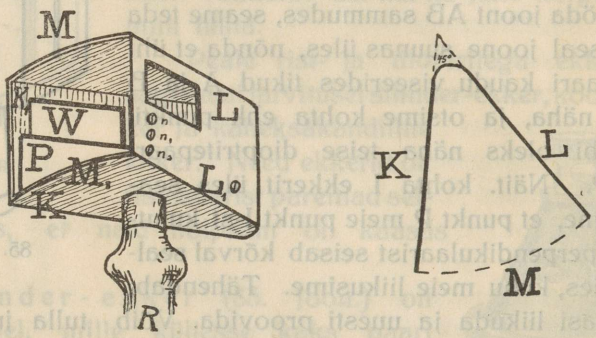
86. joon.

Silinder-, koonus- ja kaheksakandilise ekkeri järeleproo-

vimine sünnib niisama kui liht ristekkeri juures. Väikese vea võib parandada jõhvi ümberpaigutamisega.

Peale ülemalkirjeldatud ekkerite on tarvitusel peegel-ekker ja prisma-ekker, mis oma suuruse poolest eelmistest hulga vähemad ja milledega ühtlasi ka on lihtsam perpendikulaare väljaspool sihti võetud punktidest sihile alla juhtida.

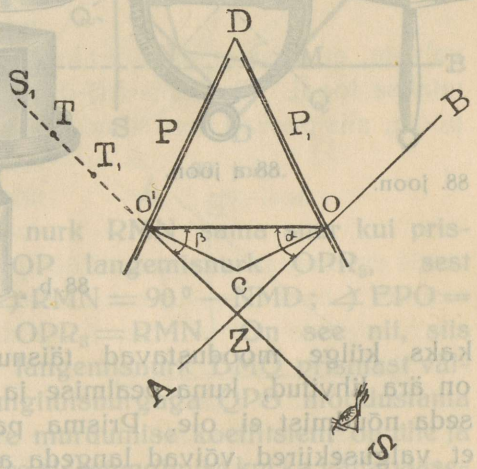
Üks vanematest peegel-ekkeritest on Winkler'i ühepeegliline ekker, kuid see on vähe tarvitust leidnud. Rohkem tarvitatakse kahe peegliga ekkerit (Adams'i leiutis). See kujutleb vask-karbikest, millel alumine külg MM_1 lahtine.



87. joon. ja 87. a.

KülgKK_1 ülemisse ossa on lõigatud vaateaknake W ja selle alla kinnitatud peegel P. Samasugune ehitus on küljel LL_1 (87. joon.). Küljed KK_1, LL_1 sünnitavad eneste vahel nurga 45°, ühtlasi sellega ka peeglid P ja P_1. Karbi põhja külge on kinnitatud käepide R, mille alumisele otsale konksu otsa on riputatud lood. Karbi seintest läbikruvitud kruvide n, n_1, n_2 abil võib muuta peeglite vahelist nurka, nõnda et see oleks täpselt 45°. Valguse peegeldus toimub siin järgmiselt: ekker seatakse joont AB pidi nõnda üles, et ekkerilt allalastud lood sihitikkudega A ja B seisaks ühes vertikaalpinnas. Punkt Z on seega punktide A ja B-ga ühes joones. Valgusekiir, mis punkt A poolt tuleb, langeb peegel P_1-le, peegeldub sealt tagasi, peeglile punktist O võetud perpendikulaariga OC ühesuuruseid nurki $\frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$ sünnitades (87 b. joon.). Tagasipeegeldatud kiir langeb peegel P-le,

seal punkt O_1-st võetud perpendikulaariga O_1C ühesuuruseid nurki $\frac{\beta}{2} = \frac{\beta}{2}$ sünnitades. Teist korda tagasipeegeldatud kiir satub vaataja silma S, mille tõttu vaataja näeb punkti A SZS_1 suunas. — Neljanurkses kujus CO_1DO on $\measuredangle O_1DO = 45^0$, nurgad CO_1D ja COD kumbki 90^0, seega oleks nurk $O_1CO = 360^0 - 90^0 - 90^0 - 45^0 = 135^0$. Kolmnurgas O_1CO on nüüd üks nurk (135^0) teada, teised nurgad $\frac{\alpha}{2}$ ja $\frac{\beta}{2}$ peavad moodustama summa 45^0, sest $135 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} = 180^0$, kust $\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} = 45^0$. Kolmnurgas O_1ZO on meil nüüd nurgad ZO_1O ja O_1OZ, mis kokku on $\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2}\right) \times 2 = 90^0$. Selle tõttu peab $\measuredangle O_1ZO$ olema täisnurk ehk 90^0 suur. — Nagu ülemal nimetatud, näeb maamõõtja peeglis P sihitikke AA_1 suunas S_1ZS. Samas suunas läbi peegli akna vaadates laseb maamõõtja tikud T ja T_1 üles seada, millega ühtlasi joonele AB punktist Z täisnurk on üles ehitatud. — Olgu tähendatud, et ekkeriga perpendikulaari ehitades alati enne kaugem tikk T ja siis alles lähem tikk T_1 üles seatakse.



87 b. joon.

Kontrollimiseks vaadatakse, kas tikud T, T_1 ja Z asuvad ühel joonel. Viimane näpunäide on maksev tööde kohta igasuguste ekkeritega. Kahe peegliga ekkerit ühepeeglilisega võrreldes leiame, et esimene on teisest parem, sest et kaks korda tagasipeegeldatud kiir ei muuda oma sihti igal väiksemal peegli liigutusel; suureneb $\measuredangle \alpha$, jääb $\measuredangle \beta$ sedavõrd vähemaks, et nende summa ikkagi on 45^0 ja suund SZS_1 jääb muutumata.

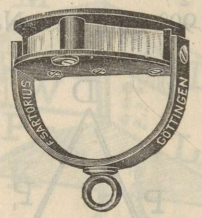
Väljaspool sirgjoont võetud punktist P perpendikulaari

tõmbamine sünnib ka kergesti. Mööda joont AB edasi sammudes ja peeglit oma ees käes hoides, nõnda et läbi ekkeri vaateakna sihitikud AB oleksid näha ühes joones, leiame koha Z, kus peeglis nähtud punkt P sihitikkudega AB seisab ühes joones.

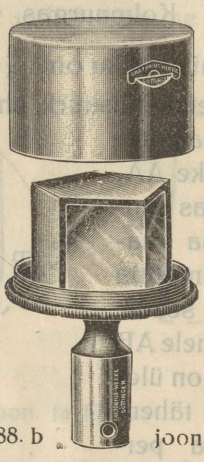
Niisama soovitav kui kahe peegliga ekker on oma väikese suuruse ja lihtsa töötamisviisi poolest p r i s m a - e k k e r. (joon. 88). Prisma-ekker on klaasist kolmnurkne prisma, mille



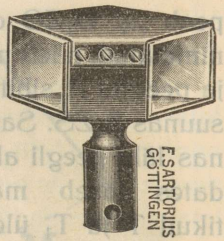
88. joon.



88. a joon.



88. b joon.

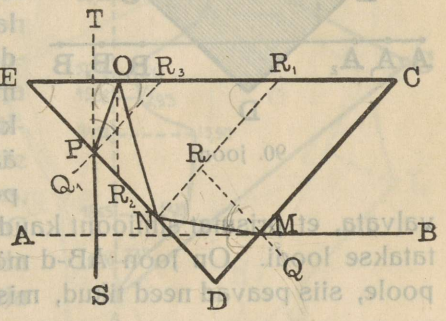


88. c joon.

kaks külge moodustavad täisnurga. Kolm prisma külge on ära lihvitud, kuna pealmise ja alumise prismaseina kohta seda nõudmist ei ole. Prisma pannakse nõnda vaskraami, et valgusekiired võivad langeda ainult kaatetikülgedele. Hüpotenuus on kui tagasein mustaks värvitud vaskplaadiga kaetud. Vaskraamile on käepide külge kruvitud. Käepidemes on läbi puuritud auk, et oleks võimalik prisma-ekkerilt loodi alla lasta.

Valguse peegeldamine toimub prisma-ekkeris järgmiselt: (89. joon.). Valgusekiir B murdub klaasi tungides nõnda, et ta langeb perpendikulaar MR-le lähemale, — seega on nurk RMN vähem kui nurk BMQ. Punkt N-st peegeldub kiir lihvitud küljelt tagasi ja satub punkt O-sse; sealt peegeldub ta

teist korda tagasi ja satub punkt P-sse, kust ta prismast välja tungides jällegi murdub ja perpendikulaar R_3 Q_1-ga moodustab suurema välisnurga QPS kui on sisenurk OPR_3. — Vaataja näeb punkt B kujutust pildina ST suunas. — Joonte AB ja ST perpendikulaarsuse tõenduseks olgu juurde lisatud järgmist: kui prisma nurk $D = 90^0$ ja $\sphericalangle E = \sphericalangle C = 45^0$, siis moodustab punkt N-st võetud perpendikulaar NR_1 prisma külje EC-ga samuti nurga 45^0, sest jooned DC ja NR_1 on paralleelsed. Kolmnurgad POE ja ONR_1 on sarnased, sest neil on kummalgi üks nurk 45^0 ja ka nurgad EOP ja R_1ON on ühesuurused kui tagasipeegelduva kiire sünnitised. Seetõttu on nurk EPO sama suur kui $\sphericalangle ONR_1$, millega nurgad R_1NM ja NMD on ühesuurused, — viimased kui seesmised risti olevad nurgad. Ühtlasi on prismasse tungiva kiire murtud nurk RMN sama suur kui prismast väljetungiva kiire OP langemisnurk OPR_3, sest $OPR_3 = 90^0 - \sphericalangle EPO$ ja $\sphericalangle RMN = 90^0 - NMD$; $\sphericalangle EPO = \sphericalangle NMD$, selle tõttu ka $OPR_3 = RMN$. On see nii, siis peab ka sissetungiva kiire langemisnurk BMQ prismast väljapääsenud kiire PS väljatungimisnurgaga QPS moodustama ühesuguseid nurki, sest kiire murdumise koeffitsient on ühe ja sama klaasi juures niihästi kiire sissetungimise kui ka väljapääsemise puhul üks ja sama; kui need nurgad aga on ühesuurused ja kui nurkade küljed PQ_1 ja QM eneste vahel on perpendikulaarsed, siis peavad ka teised küljed PS ja BM teineteisega perpendikulaarsed olema.

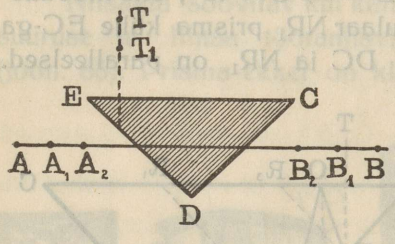


89. joon.

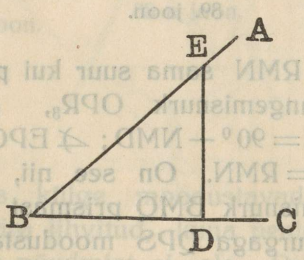
Kaasaskandmiseks on soovitav kokkupandav prisma-ekker (88. a joon), mis kokkupandult hästi vestitasku ära mahub, kusjuures prismaklaas täiesti on kaitstud.

Valguse jõu ja selge pildi poolest on kõige paremad pentagoon-ekkerid (88. b ja c joon.).

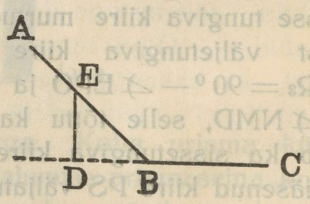
Prisma-ekkeri tarvitamisel tuleb prisma nõnda käes hoida (90. joon.), et prisma üks kaatet oleks vastu ühte antud suuna külge ja teine kaatet vastu teist suuna külge ja hüpotenuus seisaks paralleelselt antud suunaga vastu vaatajat. Prisma teravasse nurka E vaadates näeme sihitikke $B B_1 B_2$ ja selle pildiga ühes vertikaaljoones üle prisma ääre vaadates, seame tiku T üles ja siis tiku T_1; joon TT_1 on joon AB-ga perpendikulaarne. Prisma nurka C vaadates näeme sihitikkusid AA_1A_2, missugune pilt ülesseatud tikkudega TT_1 (mis üle prisma ääre näha) ühes vertikaalpinnas peab seisma. Tuleb selle järele valvata, et prismat sihijoont kaudu käes hoitaks, milleks tarvitatakse loodi. On joon AB-d mööda mitu sihitikku kummalegi poole, siis peavad need tikud, mis ühel pool küljes, näit. AA_1A_2



90. joon.



91. joon.



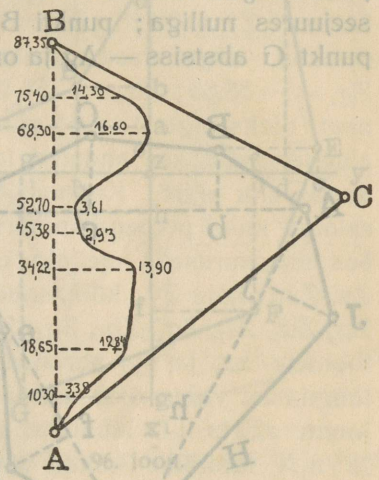
92. joon.

prismal saadud pildis üksteist katma, mis on tõenduseks, et me seisame otsejoonel.

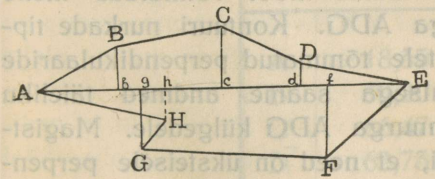
Ekkeri abil võib nurkade tangensjooni mõõta ja saadud arvude järele nurki joonistada. Näiteks (91. joon.) võime nurga ABC suuruse kindlaks teha, kui joon BC-d kaudu 10 sülda ära mõõdame ja siit ekkeri abil perpendikulaari ehitame kuni külg AB-ni. Perpendikulaari pikkust ära mõõtes on kõik andmed kogutud, millede järele koju jõudes võime ehitada paberile säärase kolmurga, seega ka otsitava $\sphericalangle$ ABC üles tähendame. —

Nürinurkade juures mõõdetakse tangensjoonte abil täiendav nurk $180^0 - \alpha$ (92. joon.). Raamatu lõpul on toodud tabel, mille järele tangensjooned võib ümber arvutada kraadideks. Tangensjoonte tarvitamist sidejoonte tarvitamisega võrreldes, tuleb tähendada, et sidejoonte tarvitamine siiski vähem tüli teeb ja paremaid tagajärgi annab.

Ekkeri abil võib ka kontuuri kõverjoonelise külje üles võtta (93. joon.). Näiteks on tarvis plaanile võtta heinamaatükk ABC, mille küljed AC ja BC on sirgjooned, kuna küljeks AB on oja kallas. Punkte A ja B abijoonega ühendades, mõõdetakse ära jooned AB, BC ja AC. Abijoont AB mööda sammudes tähendab maamõõtja kõik need kõverjoone tähtsamad käärukohad peegel- ehk prisma-ekkeri abil perpendikulaaridena. Ühtlasi mõõdavad töölised perpendikulaaride aluste kaugused punkt A-st ja perpendikulaaride pikkused. Perpendikulaaride kaugus algpunktist A ehk nende abstsissid on Aa = 10,30; Ab = 18,65; Ac = 34,22 m j. n. e. Perpendikulaaride pikkused ehk nende ordinaadid on: a_1a = = 3,38; bb_1 = 12,84; cc_1 = = 13,90 j. n. e. Kõverjoone mõõtmisel joonistatakse abriss, kuhu silma järele üles märgitakse ka need vähemad käärud, mis perpendikulaari abil jäid mõõtmata. Perpendikulaaride kaugus ja pikkus (abstsissid ja ordinaadid) tähistatakse numbritega, nagu see on näha juurdelisatud kujul.



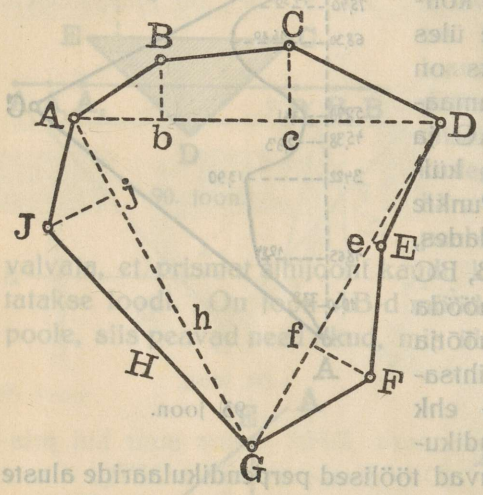
93. joon.



94. joon.

Ekkeri abil võib igasuguse kontuuri plaanile võtta (94.joon.).

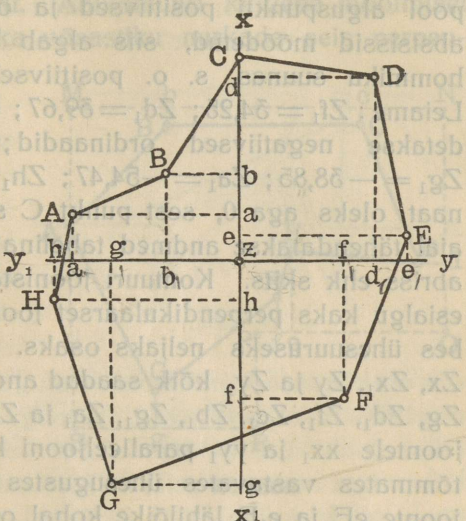
Näiteks pikergune kontuur ABCDEFGH. Abijoonena magistraali AE sisse ajades, mõõdame seda magistraali mööda kontuuri nurkade tippude abstsissid ja ordinaadid, nimetades seejuures ordinaate põhja pool joon AE-d «positiivseteks» ja lõuna pool «negatiivseteks». Punkt A ordinaat ja abstsiss võrduvad seejuures nulliga; punkti B abstsiss on Ab ja ordinaat Bb; punkt G abstsiss — Ag ja ordinaat — Gg; punkt H abstsiss — Ah, ordinaat Hh; punkt C abstsiss oleks Ac ja ordinaat — Cc; punkt D abstsiss — Ad ja ordinaat Dd; punkt F abstsiss oleks Af ja ordinaat — Ff; punkt E abstsiss — AE ja ordinaat — o.



95. joon.

Ühe magistraali asemele võib neid võtta ka mitu, nõnda, kuidas kontuuri kuju seda nõuab. Näiteks kontuuri ABCDEFGHJ (95. joon.) juures on magistraaljooni võetud kolm — AD, DG ja GA. Nende kolme joone üldine mõõt võimaldab meile paberile joonistada kolmnurga ADG. Kontuuri nurkade tippudest nende magistraaljoontele tõmmatud perpendikulaaride kauguse ja pikkuse mõõtmisega saame andmed täieliku kontuuri joonistamiseks kolmnurga ADG külgedele. Magistraaljooni võib valida ka nii, et need on üksteisele perpendikulaarsed. Säärasel korral võib ühe neist nõnda valida, et ta läheb põhjast lõunasse, seda joont kutsutakse abstsiss-(xx_1) teljeks. Abstsiss-teljele perpendikulaarne joon läheb õhtust hommikusse ja kannab nime ordinaat-(yy_1) telg. (96. joon.). Esimest telge valides võib teda mõnest kontuuri tipust läbi võtta. Kõikidest kontuuri punktidest tõmmatakse siis perpendikulaarid nii xx_1 teljele kui ka yy_1 teljele. Siin

mõõdetakse aga ainult perpendikulaaride aluste kaugusi punkt-Z-ist. — Esimene mõõtmine algab punkt Z-ist, mis on ordinaatide ja abstsisside alguspunktiks, ja võetakse põhja suunas ette punkt x poole. Maamõõtja sammub, peegel- ehk prismaekker käes, joon zx-i mööda ja otsib nii paremal kui ka pahemal pool seisvate punktide aluseid. Mõõtjad ketiga tulevad järele, iga perpendikulaari aluse juures peatudes ja selle kaugust punkt Z-ist tähistades. Näiteks leiame, et punkt E abstsiss on Ze = 5,62; punkti A = = Za = 18,35; punkti B = Zb = 30,20; punkti D = Zd = 62,73; punkti C = 66,47. Siis algab mõõtmine



96. joon.

Punkti nimetus	Punkti abstsiss meetrites	Punkti ordinaat meetrites
A	18,35	—54,47
B	30,20	—22,31
C	66,47	0
D	62,73	39,67
E	5,62	48,77
F	—48,63	34,25
G	—70,32	—38,85
H	—11,37	—58,62

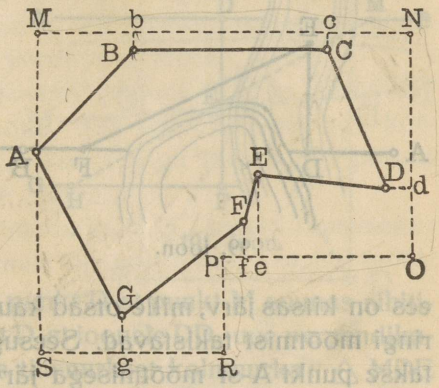
lõuna suunas x_1 peale. Leiame punkt H abstsissi = — 11,37; punkti F = —48,63; punkti G = —70,22. Olgu tähendatud,

et kõik abstsissid lõuna pool alguspunkti on negatiivsed, põhja pool positiivsed. Samuti on ordinaadid hommiku pool alguspunkti positiivsed ja õhtu pool negatiivsed. On abstsissid mõõdetud, siis algab mõõtmine yy_1-telje kaudu hommiku suunas, s. o. positiivsete ordinaatide mõõtmine. Leiame: $Zf_1 = 34{,}25$; $Zd_1 = 39{,}67$; $Ze_1 = 48{,}77$. Lõpuks mõõdetakse negatiivsed ordinaadid; leiame: $Zb_1 = -22{,}31$; $Zg_1 = -38{,}85$; $Za_1 = -54{,}47$; $Zh_1 = -58{,}62$. Punkti C ordinaat oleks aga 0, sest punkt C seisab xx_1-teljel. Mõõtmise ajal tähendatakse andmed tabelina üles, ühtlasi peetakse ka abriss ehk skits. Kontuuri joonistamisel tõmmatakse paberile esialgu kaks perpendikulaarset joont, mis jagavad paberi umbes ühesuuruseks neljaks osaks. Siis tähendatakse joontele Zx, Zx_1, Zy ja Zy_1 kõik saadud andmed Ze, Za, Zd, Zc, Zh, Zf, Zg, Zd_1, Zf_1, Zc_1, Zb_1, Zg_1, Za_1 ja Zh_1 sirkliga üles. Magistraaljoontele xx_1 ja yy_1 paralleeljooni kolmnurga ja joonlaua abil tõmmates vastavates ühesugustes punktides e ja e_1, saame joonte eE ja e_1E läbilõike kohal otsitava punkti E, joonte aA ja a_1A läbilõike kohal otsitava punkti A jne. Ordinaatide ja abstsisside «+» ja «—» märgid annavad juhatust, missuguses suunas paralleeljoont tõmmata. Eksituste eemalehoidmiseks tuleb põllul valmistatud abriss abiks võtta.

Võrreldes kahe perpendikulaarse telje abil mõõtmist eelmiste mõõtmistega, leiame, et siin on järgmised head küljed: mõõtmine toimub ainult kahte joont mööda, kuna enne kõik perpendikulaarid pidid ka pikkust mööda mõõdetama; seega on siin vähem põldude tallamist. Tööde kontrolli mõttes oleks soovitav, kui kontuuri küljed AB, BC ja CD jne. mõõdetaks, — siis saab plaani arvesse võttes abstsisside ja ordinaatide abil joonistatud kontuuri külgede pikkust otsekohe väljal saadud andmetega võrrelda. Säärane külgede mõõtmine on ka varemalt kirjeldatud mõõtmisviiside juures soovitav.

On juhtumeid, kus kontuuri keskel igasugune mõõtmine võimatu, ehk kus magistraaljoont mööda kontuuri välispunkte mitte küllalt selgesti ei ole näha, näiteks võsastikus ABCDEFG (97. joon.). Säärasel juhtumil võib ekkeri abil väljaspool võsastikku ehitada abikontuuri MNOPRS, mille iga üksik külg oleks

järgnevale küljele perpendikulaarne. Külgede pikkusi MN, NO, OP, PR, RS ja SM mõõtes, võib joonistada abikontuuri, sest nurgad on kõik täisnurgad. Abikontuuri külgede mõõtmisel tehakse ühtlasi kindlaks ka võsastiku nurkade seis perpendikulaari pikkuse ja kauguse mõõtmisega. Näiteks punkt B seis määratakse kindlaks, kui on teada kaugus M-st b-ni, samuti perpendikulaari bB pikkus; punkt C — kui kaugus cM teada ja perpendikulaari cC pikkus. Abikontuur tuleb sisekontuurile (võsastikule) ehitada võimalikult ligidale, kuid tuleb hoida, et abikontuuri täisnurkade arv siiski ei muutuks liiga suureks. —



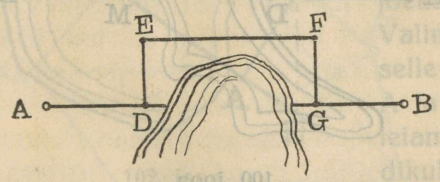
97. joon.

Ekkeri abil võib täita mitmesuguseid ülesandeid joonte mõõtmise juures, kui mõõtmine ketiga võimatu.

Vaatame kolme järgmist juhtumit, mis sageli ette tulevad.

I. Sihi mõõtmisel tuleb ette väike järv.

Lootsikut käepärast ei ole, järve lähem ots ei ulatu aga sihist kuigi palju kõrvale. Säärasel korral ehitatakse ekkeri abil järve kalda ligidal punkt D-le perpendikulaar (98. joon.), perpendikulaaril võetakse punkt E, nõnda et sellest punktist joon DE-le ehitatud uus perpendikulaar EF läheks mööda järve otsa ja et seda joont EF oleks võimalik mõõta. Punkt F-ist tõmmatakse perpendikulaar FG alla joon GB-le ja mõõtmine toimub punkt G-st B suunas takistamatult edasi. Kogu joone AB pikkus oleks:

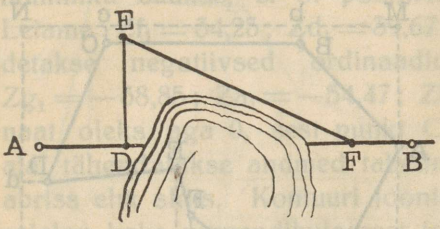


98. joon.

$$AD + EF + GB.$$

Ka võiks samal juhtumil teisiti talitada.— Mõõdetakse punkt A-st (99. joon.) kuni järve lähedal oleva punktini D. Punkt D-st ehitatakse nõnda perpendikulaar DE, et punkt E-st võib otsejoont vastas olevale järve kaldale siht AB peale välja pääseda, ja ühtlasi mõõta joont EF. Mõõdetakse, jooned DE = a ja EF = b, mille põhjal võib saada DF pikkuse: DF = $b^2 - a^2$. Kogu joone AB pikkus on:

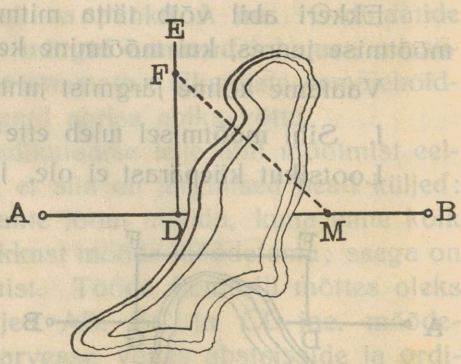
AD + $\sqrt{b^2 - a^2}$ + FB.



99. joon.

II. Järgmine juhtum oleks, kui sihti AB mõõtes ees on kitsas järv, mille otsad kaugele ulatuvad, ja seega ümberringi mõõtmist takistavad. Seesugusel korral (100. joon.) ehitatakse punkt A-st mõõtmisega järvekaldani jõudes punkt D-sse täisnurk ja otsitakse selle küljel, joon ED-l säärane punkt F, kust järve teisel kaldal siht AB peal olev punkt M oleks näha 45° all. Joone DF pikkus oleks ühtlasi ka järve laiuseks, sest DM = FD. Üldine joone AB pikkus on seega mõõtmisel saadud:

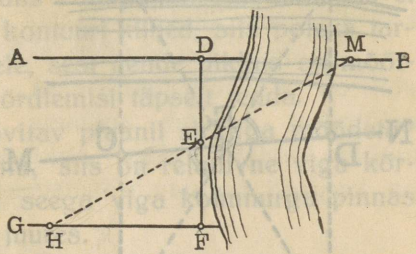
AD + DF + MB.



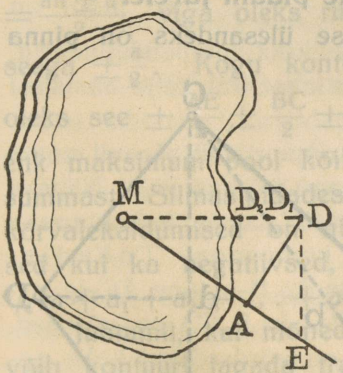
100. joon.

Samuti võib talitada, kui mõõtmisel ette tuleb jõgi. Peab siiski tähendama, et iga ekkeriga 45° ülesehitamine mitte pole võimalik, seepärast esitatakse siin ka teisi mõõtmisviise. Siht AB kaudu mõõtes jõudsime jõe kaldale (101. joon.). Siin ehitame punkt D-st perpendikulaari DF. Joon DF-i ära mõõtes jagame selle pooleks ja tähistame saadud punkti E sihitikuga. Perpendikulaari lõpp-punktist F ehitame uue perpendikulaari FG, mis seega joon AB-le ehk AD-le oleks paralleelne. Joon FG-d mööda otsime üles punkt H, mis punktidega E ja M oleks

ühes suunas. Joon HF pikkus oleks ühtlasi ka joon DM pikkuseks, sest täisnurksed kolmnurgad DME ja EFH on võrdsed. Säärast mõõtmisviisi tuleb tarvitada ka neil juhtumitel, kui tarvis on mõõta kaugust mõnesuguse säärase punktini kuhu ligi ei pääse. Näiteks oleks tarvis teada, kui kaugel on keset järve asuv kivi M järvekaldal võetud punkt A-st (102. joon.); punkt A ise on kättesaadav. Siin võib veel järgmiselt toimida. Punkt A-st sihi AM-le perpendikulaari AD ehitades, seame punkt D-st punkt M suunas sihitikud D_1D_2 üles ja ehitame punkt D-st joonele DD_2 uue perpendikulaari DE. Seega saame kaks täisnurkset kolmnurka: △ MDE ja △ MAD. Joonte DA ja AE pikkuse järgi võib joon AM pikkust arvutada: AM : DA = = DA : AE, kust $AM = \frac{DA^2}{AE}$.



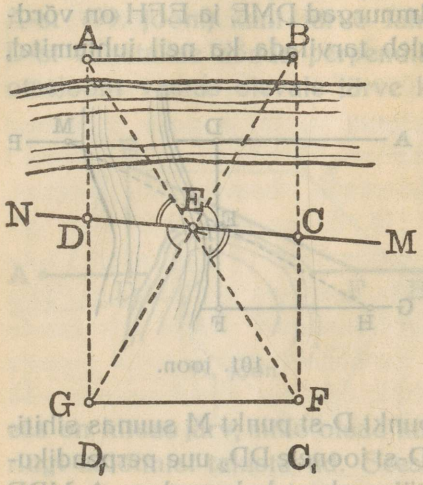
101. joon.



102. joon.

III-as juhtum: On tarvis teada joon AB pikkus (103. joon.), kui punktid A ja B mõlemad ligipääsetamatud. — Näiteks teispool jõekaldal olevad kivid A ja B. Valime jõe läheduses sihi MN ja selle sihi peal otsime üles punktide A ja B perpendikulaaride alused; leiame punktid C ja D. Perpendikulaari BC pikendame punkt C-st edasi, samuti perpendikulaari AD punkt D-st. Joon CD-d mõõtes jagame selle pooleks, saame punkti E. Punktist E ajame AE suunas sirgjoone sisse kuni perpendikulaar CC_1-ni ja samast punktist E teise sirgjoone EB suunas kuni läbilõikeni perpendikulaar DD_1-ga. Nende joonte läbilõiked perpendikulaaridega oleksid punktid F ja G. — Joon FG pikkus ongi otsitava joone AB pikkus. —

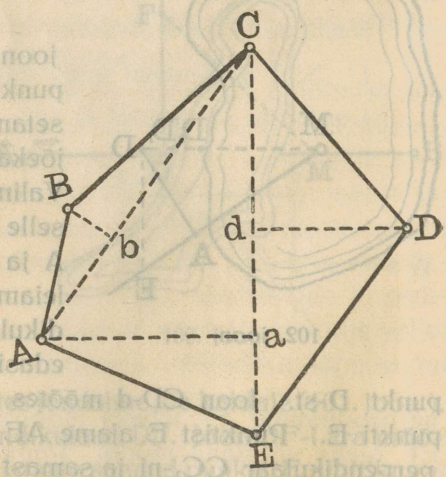
Tõendis: Kolmnurgad BCE ja DEG on ühesuurused kui täisnurksed kolmnurgad, milledel üks kaatet ja üks teravnurk ühesuurused. Niisama on ka kolmnurgad AED ja ECF võrdsed. Sellest järgneb, et ka kolmnurkade vastavad küljed BE ja EG on võrdsed, samuti ka küljed AE ja EF. Sellest võime järeldada, et △ ABE on võrdne △ EFG, milledel 2 külge ja nurk nende külgede vahel võrdsed, selle tõttu siis on küljed AB ja FG omavahel võrdsed.



103. joon.

Kontuuri pinna arvutamine plaani järele.

Üheks tähtsamaks maamõõtmise ülesandeks on pinna suurust ruutmõõtudes kindlaks määrata. Niipea kui kontuuri kohta plaan on valmistatud, on selle plaani järgi alati võimalik kontuuri pinda arvutada. Abijoontega jagatakse kontuur kolmnurkadeks. Iga üksiku kolmnurga pinna saame teada, kui kolmnurga aluse tema kõrgusega korrutame ja saadud arvu pooleks jagame. Aluste ja kõrguste suurused määratakse sirkli ja mõõtkava abil. Näiteks on kontuuri ABCDE väli $P = \frac{AE \times CC_1}{2} + \frac{BC \times AA_1}{2} + \frac{ED \times CC_2}{2}$, kus CC_1

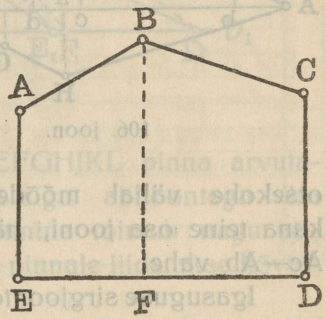


104. joon.

AA_1 ja CC_2 on vastavad kõrgused. Vähem täpne oleks kõrguseid nii valida, nagu see 104. joonisel näha. Kolmnurki teisiti valides võib saadud pinna suurust P kontrollida. Kolmnurkade valimisel on soovitav, et valitaks võimalikult suuremad, ja et kolmnurkade alusteks võetaks kontuuri küljed, siis poleks tarvis nende mõõtmist plaani järele, sest nende pikkus on mõõtmisel saadud andmete järele võrdlemisi täpselt teada.

Kõrguste valikul on soovitav plaanil sirkliga mõõdetav kõrgus võrdlemisi suurem võtta, siis on relatiivne viga kõrguse määramises väiksem ja seega viga kolmnurga pinnas vähem kui vähemate kõrguste juures.

Ketiga mõõtmine võib toimuda kuni $^1/_{100}$ meetri täpsusega; aga plaani järgi saab mõõta ainult täpsusega kuni 1 m, kui mõõtkava on 100 m = 1 sm. Kolmnurga kõrguse mõõtmisel võib seega tekkida viga kuni 1 m, selle tõttu saame õige pinna $\frac{ah}{2}$ asemel $\frac{a \times (h \pm 1)}{2} = \frac{ah \pm a}{2}$, viga oleks ruutmeetrites seega $\pm \frac{a}{2}$. Kogu kontuuri kohta oleks see $\pm \frac{AE}{2} \pm \frac{BC}{2} \pm \frac{CD}{2}$ □ m, ehk maksimum pool kõikide aluste summast. Silmas pidades, et saadud kõrvalekaldumised on nii positiivsed kui ka negatiivsed, võib lubatavat viga arvatud ainult $^1/_4(a + a_1 + a_2 + \ldots + a_n)$.

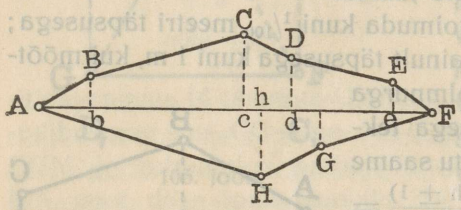


105. joon.

Juhtumil, kui mõned kontuuri nurkadest on täisnurgad, võib kontuuri jagada trapetsiteks või ruutudeks. Viisnurka ABCDE (105. joon.), millel nurgad D ja E on täisnurgad, võib jagada kaheks trapetsiks ABFE ja BCDF. Kontuuri väli ruutmeetrites oleks $\frac{(AE + BF) \cdot EF}{2} + \frac{(BF + CD) \cdot FD}{2}$, kus AE ja CD võib ketiga ära mõõta, jooned BF ja EF sirkliga plaani järele võtta ja arvutada joon FD kui joonte ED ja EF vahe. Juhtumil, kui kontuur keti abil on mõõdetud ja ühtlasi ka kõik diagonaalid mõõdetud, ühtib kontuuri väli:

$P=\sqrt{S_1(S_1-a_1)(S_1-b_1)(S_1-c_1)}+\sqrt{S_2(S_2-a_2)(S_2-b_2)(S_2-c_2)}+$ $+\ldots\ldots+\sqrt{S_n(S_n-a_n)(S_n-b_n)(S_n-c_n)}$. Viimase valemi järele arvutamine on sama täpne kui teodoliidiga mõõdetud ja koordinaatide järele arvutatud pind.

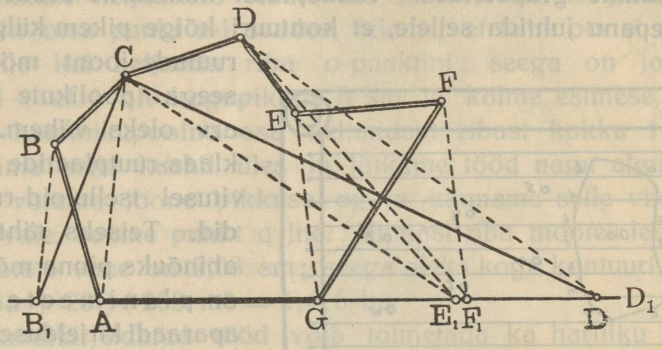
Juhtumil, kui kontuur ekkeriga abstsisside ja ordinaatide abil on plaanile joonistatud, võib kontuuri pinda arvutada mõõtmisel saadud andmete järele, ilma et vaja oleks mõõta joonte pikkusi sirkliga plaanil, kusjuures kontuur on kergesti jagatav trapetsiteks ja kolmnurkadeks. Näiteks kontuuri ABCDEFGH väli (106. joon.) $P=\frac{Ab\times Bb}{2}+$ $+\frac{Bb+Cc}{2}bc+\frac{Cc+Dd}{2}cd+$ $+\frac{Dd+Ee}{2}de+\frac{Ee\times eF}{2}+$ $+\frac{Fg\times Gg}{2}+\frac{Gg+Hh}{2}gh+$ $+\frac{Ah\times Hh}{2}$; osa jooni on otsekohe väljal mõõdetud, näiteks kõik perpendikulaarid, kuna teine osa jooni, näit. bc, arvutatakse kui kahe abstsissi Ac—Ab vahe.



106. joon.

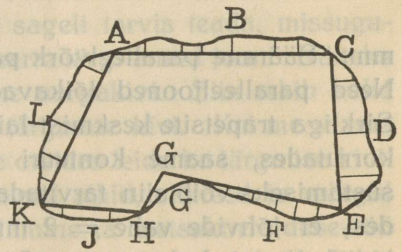
Igasuguse sirgjoontega piiratud kontuuri võib plaanil muuta kolmnurgaks, millel on kontuuri pinnaga võrdne väli. Näiteks kontuuri ABCDEFG (107. joon.) võib muuta kolmnurgaks B_1CD_1, mille pind ühesuurune antud kontuuriga. Tõendis: punkt C A-ga ühendades tõmbame punkt B-st joon AC-le paralleelse joone BB_1. Kolmnurgad ABC ja B_1CA on võrdsed, sest alus on neil ühine ja kõrgused on võrdsed kui kahe paralleelse joone kaugus teineteisest. $\triangle$ ABC asemel $\triangle$ CB_1A võttes oleme vähendanud ühe nurga kontuuril. Teiselt poolt — punktisid E ja G ühendades tõmbame joon EG-le punkt F-st paralleelse joone, saame põhijoonel punkt F_1. Joon F_1D-le punkt E-st paralleelset joont tõmmates saame põhijoonel punkt E_1. Ühendame punkt E_1 punkt C-ga ja tõmbame punkt D-st joon CE_1-le paralleelse joone DD_1. Punkt D_1 punkt C-ga ühendades saame kolmnurga B_1CD_1. Kolmnurk D_1CB_1 on ot-

sitav. Tegelikult selle töö juures sidejooni ja paralleele ei tõmmata; kolmnurga ja joonlaua abil jooni tähendades märgitakse paberile sirkliotsaga väikeste täppidena ainult punktid B_1, F_1, E_1 ja D_1. Saadud kolmnurga pind arvutatakse, kõrgus CH-i alus B_1D_1-ga korrutades ja saadud arvu pooleks jagades.



107. joon.

Kõverjoonelise kontuuri ABCDEFGHJKL pinna arvutamisel (108. joon.) tähendatakse esialgu abijoontega ära kontuur $ACEG_1HK$, mille pinna mõõtmine toimub nagu eelmistel juhtumitel kirjeldatud. Saadud pinnale liidetakse kõverjoone ja abijoonte AC, CE, EG_1, G_1H, HK ja KA vahel saadud kolmnurkade ja trapetsite väljad.

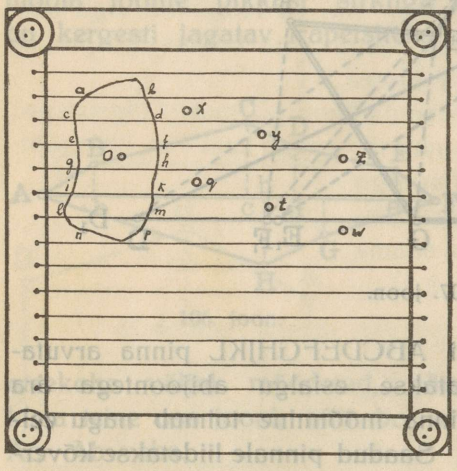


108. joon.

Kõik eelpool-toodud pinnaarvutamise viisid põhjenevad geomeetriaseadustel ja sellepärast nimetatakse säärast pinnaarvutamise viisi *geomeetriliseks*.

Pinnaarvutamisel võib ka mitmesuguseid mehaanilisi abinõusid tarvitada. Kõige lihtsam nendest on klaasplaat, millele ruudud peale on joonistatud. Suuremad ruudud tähendavad tessatiine (resp. ha) ja vähemad tessatiini sajandikke osi. Näiteks on mõõtkavas — 100 sülda 1 tollis — tessatiini tähendaval

ruudul üks külg 0,4 tolli ja teine külg 0,60 tolli pikk. Tiinu sajandikosadel on aga 0,04- ja 0,06-tollilised küljed. Säärast ruutudega plaati mõõdetavale kontuurile pannes, loeme kontuuri piiris olevate ruutude arvu ära, enne terved tiinud (resp. ha), siis sajandikud ja lõpuks poolikud sajandikud, neist terveid sajandikke grupeerides. Klaasplaati kontuurile seades, tuleb tähelepanu juhtida sellele, et kontuuri kõige pikem külg läheks ruutude joont mööda, et seega poolikute ruutude arv oleks vähem. Peale klaas-ruutplaatide on tarvitusel tselluloid-ruutplaadid. Teiseks tähtsamaks abinõuks pinna mõõtmisel on planimeeter. Selle aparaadi kirjeldusel peatun allpool pikemalt.



109. joon.

Ühe lihtsama abinõuna oleks veel nimetada paralleeljõhv-võrku (109. joon.). Puuraami vahele on jõhvid pingule tõmmatud, nõnda et ühe jõhvi kaugus teisest oleks 2 mm. Säärane paralleelvõrk pannakse kontuuri kohale paberile. Need paralleeljooned lõikavad kontuuri mitmeks trapetsiks. Sirkliga trapetsite keskmist laiust mõõtes ja seda niitide vahega korrutades, saame kontuuri pinnasuuruse. Arvutamise lihtsustamiseks võib siin tarvitada järgmist abinõu. Silmas pidades, et jõhvide vahe = 2 mm ($^1/_{1000}$ mõõtkavas 2 m), tuleks iga hektaari kohta võtta 5 sm paralleeljoontega sünnitatud ribasid. Sirklile antakse sellepärast säärane ehitus, et tema harud üle 5 sm lahti ei lähe. Mõõtmine algab järgmiselt: mõõdetakse esimese riba keskmine pikkus ab, siis tähendatakse sellesama pikkusega järgmise riba juurest kontuuri servast punkt d-st väljapoole pikkus dx, siis üht sirkliotsa punkt x-le pannes, tõstame teise sirkliotsa punkt c-sse, mille läbi

saame sirkliga kahe esimese riba pikkuste summa. Sirkliga saadud pikkus kantakse järgmise kolmanda riba kõrvale, kontuuri servast punkt f-ist ribast väljapoole keskjoone suunas saame punkt y. Sirkli üht otsa punkt y-le pannes tõstame teise otsa punkt e-le, mille tõttu saame kolme riba pikkuse. Seda pikkust neljandale ribale üle kandes saame punkt z. Sirkli üht otsa punkt z-i seades, leiame, et teine ots ei ulatu kaugemale kui neljanda riba o-punktini; seega on joonte ab + cd + ef + oh kogupikkus 5 sm ja kolme esimese riba pind + hommikupoolne osa neljandast ribast kokku 1 ha. Tähendame selle kuskil üles ja jätkame tööd nagu alguses: sirkliga võtame joone pikkuse og ja kanname selle viienda riba kõrvale, saame punkt q jne. Viimast riba mõõtes leiame, et sirkliotste vahe on 2,08 sm; seega oleks kogu kontuuri suurus: 1 ha + 20 × 208 m^2 = 1,416 ha.

Ülemalkirjeldatud tööd võib toimetada ka hariliku sirkliga, selle vahega, et ribade vahede pikkusi võetakse niikaua, kuni sirkliotste vahe ulatub 8—10 sm-ni, siis mõõdetakse mõõtkava järele pikkus ära ja alatakse järgmisest ribast uuesti peale.

Asimuudid ja rumbid.

Bussool kui abinõu rumbide ja asimuutide mõõtmisel.

Maamõõdu-tööde juures on sageli tarvis teada, missuguses suunas on aetud maakera kaarte järgi antud joon. Näiteks leiame vana piiri üles otsides ühe nurgakivi. Siin tekib kohe küsimus, missuguses suunas on järgmine kivi. Kui me saame vastuse: kirde suunas, siis võime otsides leida ka järgmise kivi. Põhjamaa metsades, kus igasugused sihid, sihiteed ja märgid puuduvad, toimub raielankide ajamine ja metsakorralduse-töö kompassi abil. Kompassi abil määratavad nurgad on kahte liiki:

1. Nurk meridiaani ja antud sihtjoone vahel, meridiaani põhjapoolsest otsast üle hommiku ja lõuna arvates kuni antud sihtjooneni. Säärast nurka nimetatakse asimuudiks (110. joon.). Asimuudi suurus võib olla 0° kuni 360°-ni.

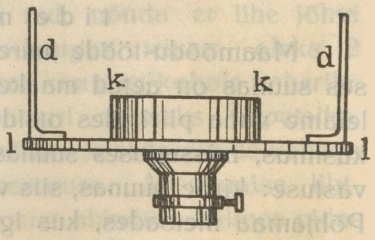
2. Nurk meridiaani ja antud sihi vahel meridiaani nii lõuna- kui ka põhjapoolsest otsast, nii paremale kui ka pahe-

male poole arvates — kuni antud sihini. Säärast nurka nimetatakse r u m b i k s (110. joon.). Rumbide suurus võib olla 0^0 kuni 90^0-ni; sellejärele, kummast otsast ja missuguses suunas lugemine algas, kannavad rumbid nimetusi: NO, NW, SO, SW.



Asimuut. Rumb.
110. joon.

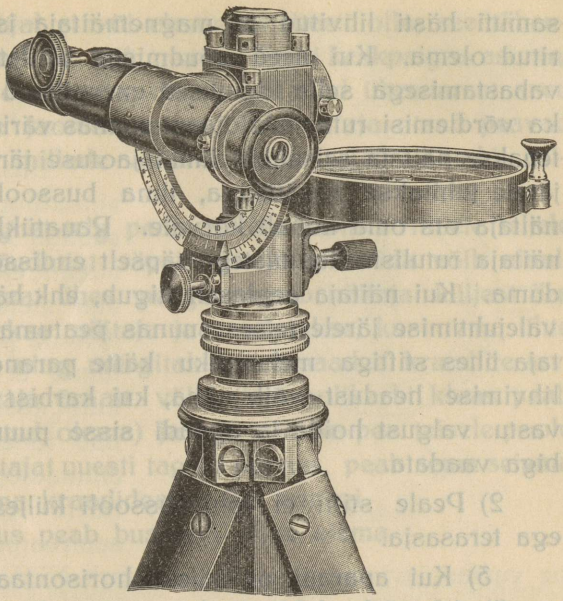
Meridiaani seisukoha annab magnetnõel, mis alati magnet-meridiaaniga paralleelselt seisma jääb. (Esialgu on kõne ainult magneet-meridiaanist.) Antud siht aga tehakse kindlaks mõne viseerimisaparaadi või liht-joonlaua abil, millede vertikaalne viseerimispind ehk n. n. kollimatsioonipind magnetnõela sentrist läbi peab minema. Seesugust suuremat kompassi, millele viseerimis-abinõud juurde lisatud, nimetatakse b u s s o o l i k s. Lihtsam bussool (111. joon.) on joonlaud, mille külge kinnitatud liikumatu vask-karbike k, raadiusega 10 sm. Karbi äärel on kraadide jaotus 0^0 — 360^0 (ehk 0^0 — 90^0 — 0^0 — 90^0 — 0^0). Keset karbi põhja on stifti otsa üles seatud magnetnõel. Joonlaua otstele on dioptrid d nõnda külge pandud, et dioptrite kollimatsioonipind läheb läbi magnetnõela stifti, mis ühtlasi on kraadide ringi keskkohaks, ja ka läbi nullpunkti. Karbi alla selle keskkohale on tehtud vasktoru, mille abil bussool statiivi otsa üles seatakse. Bussooli horisontaalseisu seadmiseks on vasktoru ja statiivi vahel kuulšarniiri ühendus. Et magnetnäitaja kergemalt ja vabamalt liiguks, asetatakse tema keskkohta agaatkivi, mille sisse puuritud ja lihvitud augukesse ulatub nõela stift. Stift peab samuti hästi lihvitud olema.



111. joon.

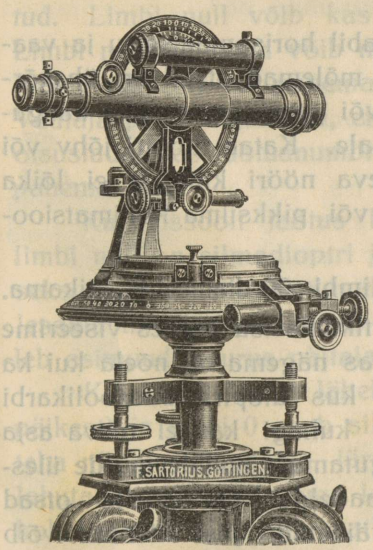
Osa bussoolidest on nõnda ehitatud, et dioptrid otsekohe karbi äärte külge kinnitatakse, kuid nõnda, et dioptrite kollimatsioonipind limbi 0-jaotusest läbi läheks. Need bussoolid seatakse munašarniir-alustel statiividele.

Mägiseil maadel töötamiseks, kus peale rumbide on tähtis teada kaldjoonte vertikaalnurkade suurusi, on soovitavad vertikaalse ratta ja pikksilmaga varustatud bussoolid. Bussool (112. joon., firma Sartorius) on kergesti kokkupandav ja hea kaasaskandmiseks.



112. joon.

Dioptrite asemel võib pikksilma (113. joon.) tarvitada, kusjuures pikksilm ainult vertikaalpinnas vabalt keerleb, horisontaalpinnas toimub pikksilma käänamine ainult ühes karbiga. Igal bussoolil peab sisseseade võimaldama magnetnäitajat vastu karbi klaasi kinni vajutada, sest bussooli ühest kohast teise kandmisel võib vabalt liikuv magnetnõel kergesti rikunduda.



113. joon.

Enne bussooli tarvitusele võtmist tuleb teda järele proovida. 1) Magnetnõela stift, mille otsa näitaja asetatakse, peab heast terasest ja hästi lihvitud olema. Magnetnõela külge kinnitatud agaatkivi auguke peab

samuti hästi lihvitud ja magnetnäitaja ise hästi magnetiseeritud olema. Kui need nõudmised täidetud, siis on näitaja vabastamisega selle liigutused energilised; kuid näitaja peab ka võrdlemisi ruttu meridiaani suunas värisedes peatuma. Siis tehakse näitaja seisukoht limbi jaotuse järele kindlaks ja selle järele juhitakse rauatükiga, ilma bussooli külge puutumata, näitaja ots oma kohalt kõrvale. Rauatükki kõrvaldades peab näitaja rutuliste liigutustega täpselt endisse seisu tagasi pöörduma. Kui näitaja aeglaselt liigub, ehk hästi ei näita, või kõrvalejuhtimise järele teises suunas peatuma jääb, siis tuleb näitaja ühes stiftiga mehaaniku kätte parandada anda. Agaadi lihvimise headust võib näha, kui karbist väljavõetud näitajat vastu valgust hoida ja agaadi sisse puuritud augukest luubiga vaadata.

2) Peale stifti ei tohi bussooli küljes olla ühtegi raudega terasasja.

3) Kui aparaat on täiesti horisontaalseisus, peab magnetnäitaja tasakaalus seisma.

4) Dioptrite või pikksilma kollimatsioonipind peab seejuures vertikaalselt seisma.

Aparaat seatakse vesikaalu abil horisontaalseisu ja vaadatakse, kas vabakslastud näitaja mõlemad otsad on ühekõrgusel. Siis viseeritakse kümne või paarikümne sülla kauguselt pikema loodis oleva nööri peale. Katab dioptri jõhv või pikksilma vertikaalniit loodis oleva nööri kinni ja ei lõika teda mitte risti, siis on dioptrite või pikksilma kollimatsioonipind õige.

5) Kollimatsioonipind peab limbi 00-diameetrit lõikama.

Nullide kohta peeni nõelu vertikaalseisu seades viseerime läbi dioptrite ja peame ühes suunas nägema nii nõela kui ka dioptri jõhvi. Aparaatide juures, kus dioptrid bussoolikarbi alla seatud, tuleb dioptrite kaudu kuhugi kaugel oleva asja peale vaadata ja siis aparaati liigutamata nullide juurde ülesseatud vertikaalnõelte kaudu vaadelda. On nõelte otsad samas suunas, siis on nõudmine täidetud. Just niisama võib ka pikksilma juures talitada.

6) Magnetnäitajal ei või ekstsentritsiteeti olla, see tähendab: näitaja keskkoht ja stift peavad limbi keskpaigas asuma, mille tõttu mõlemad näitaja otsad näitavad ühesuurust arvu limbil limbirumbide jaotuse juures, ehk näitaja otsad peavad näitama kraadisid, millede vahe on täpselt 180° (limbi asimuutide jaotus).

7) Näitaja magnet-telg peab näitaja geomeetrilisele teljele vastama. Seda nõudmist täpselt järele proovida võib ainult siis, kui näitaja agaat ühes peaga annab näitaja küljest ära kruvida. Vabastatakse näitaja ja vaadatakse, kuni tema ühte kohta paigale jääb, ning märgitakse ära saadud kraadide arv. Siis võetakse näitaja õrnalt välja (bussoolikarbi klaas peab enne juba kõrvaldatud olema) ja käänatakse pea teisele poole näitaja külge. Näitajat uuesti tagasi pannes, peab tema seisma jäädes näitama sama kraadidearvu kui ennegi.

8) Limbi jaotus peab bussoolil õige olema.

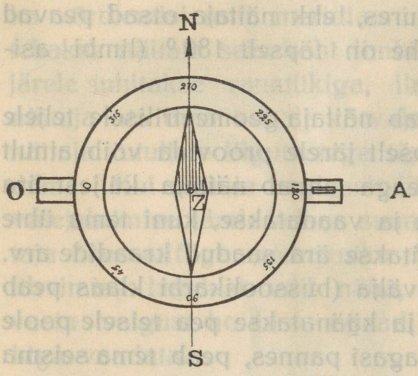
Bussooli tarvitamine, asimuutide mõõtmine.

Asimuutide mõõtmiseks on bussooli limb 360°-ks jagatud. Limbi null võib kas silma- või asjadioptri juures olla. Limbi numeratsioon võib minna kas paremalt poolt pahemale (vastu päikest) või pahemalt poolt paremale (mööda päikest). Vaataja peab kujutlema, et tema keset limbi seisab, siis võib otsustada, kas jaotusnumbrite suurenemine läheb paremat või pahemat kätt.

Kui bussooli jaotus läheb paremalt poolt pahemale ja limbi null on silmadioptri juures, siis tuleb asimuudi mõõtmiseks vaatlust teha alati magnetnõela lõunaotsa järele. On sellesama limbijaotuse juures limbi 0 asjadioptri kohal, siis tuleb asimuudi suurus näitaja põhjaotsa järele arvata.

Kui limbi jaotus läheb pahemalt poolt paremale (mööda päikest) ja limbi 0 asub silmadioptri juures, siis tuleb vaatlust teha näitaja lõunaotsa järele ja saadud kraadide arv 360-st lahutada. Kui sellesama jaotuse juures limbi null asjadioptri kohal seisab, siis tuleb vaatlust teha näitaja põhjaotsa järele, ja saadud kraadide arv 360°-st lahutada, — vahe on otsitav asimuut.

Asja selgituseks kujutleme, et me meridiaani suunas vastu põhja vaatame (113. a joon.). Selle suuna asimuut peab null olema ja aparaadil leiame, et näitaja lõunaots näitab 0.

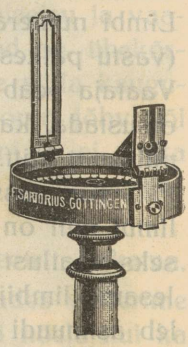


113 a. joon.

Bussoolilimbi null on silmadioptri juures. Vaatesuunda kirde poole käänates näeme, et lõunanäitaja ots hoidub meie silmadioptrist pahemale poole. (Ei pea unustama, et me end kujutleme limbi keskel.) Sessamas suunas läheb ka limbi jaotus. Silmadiopter ühes magnetnõela lõunaotsaga sünnitab sentraalnurga OZS, mis võrdne vastasoleva nurgaga NZA. Nurk NZA-d kui otsitavat asimuuti võib lugeda limbi kaudu näitaja lõunaotsa juures.

Samasugust seletuse järjekorda, kus bussooliga esialgu põhja suunas viseeritakse, võib tarvitada ka teiste juhtumite selgitamiseks.

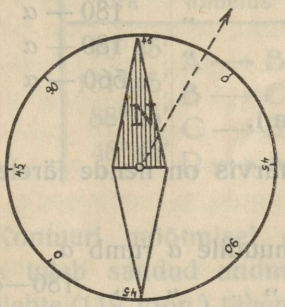
Ülemaltoodud vaatlusviisidest selgub, et soovitav on bussoolidele anda jaotus, kus numeratsioon läheb paremalt poolt pahemale, seejuures võib näitaja otsa vaatluse järele asimuudi saada ilma maha arvamata. Ainult ühe väikese Schmalgalder'i bussooli juures (114. joon.), mille näitajale limb kinnitatud ja ühes näitajaga keerleb, tuleks limbi jaotust ette võtta pahemalt poolt paremale (mööda päikest).



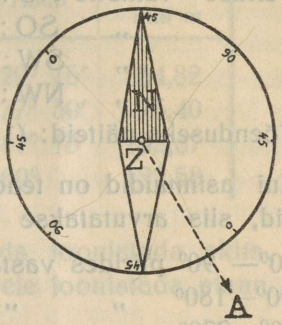
114. joon.

Bussooli limbijaotus võib olla rumbide mõõtmiseks. Säärasel korral seisab nii silma- kui ka asjadioptri juures 0 (115. joon.). Numbrid kasvavad mõlemale poole $0^0 - 90^0$.

Vaatlus tehakse rumbilise jaotuse juures selle magnetnäitaja otsa järele, mis on lähemal antud suunale. Kui põhjaots on sihtjoonele lähemal, siis on rumbi nimetusel esimene täht N.

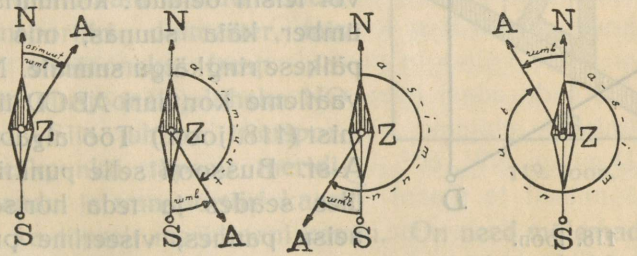


115. joon.



116. joon.

Järgmine ülesanne on selgitada, kuhu suund kaldub lähemast näitaja otsast. (Eksitus tekib, kui ümberpööratult vaadatakse.) Kaldub suund lähemast (põhja-)näitaja otsast paremat kätt, s. o. hommiku poole, siis on rumbi nimetus kirre ehk NO (115. joon.).



117. joon.

Teine näide: Suund ZA on lõunaotsale ligemal ja kaldub lõunaotsast pahemale poole (116. joon.); suuna nimetus on kagu (SO); lõunaots näitajal näitab 68°, seega oleks rumb SO 68°. Keskmise headusega bussoolide juures on võimalus arvutada rumbitäpsusega kuni 15′.

Rumbide järele on võimalus arvutada asimuuti ja ümberpööratult. Näiteks: rumbile SO : 68° vastab asimuut $180^0 - 68^0 = 112^0$.

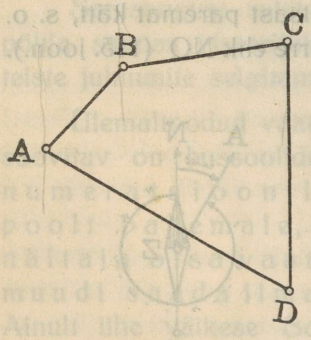
Üldse: rumbile NO : α vastab asimuut α
„ SO : α „ „ $180 - \alpha$
„ SW : α „ „ $180 + \alpha$
„ NW : α „ „ $360 - \alpha$

Tõenduseks näiteid: (117. joon.).

Kui asimuudid on teada ja tarvis on nende järele leida rumbisid, siis arvutatakse nõnda:

0^0— 90^0 piirides vastab asimuudile α rumb α
90^0—180^0 „ „ „ „ „ $180-\alpha$
180^0—270^0 „ „ „ „ „ $\alpha-180$
270^0—360^0 „ „ „ „ „ $360-\alpha$

Bussooli ja keti abil võib kontuuri mõõta ja plaanile võtta. Tähelepanu pean juhtima sellele, et igasuguste kontuuride mõõtmistel tuleb piiri kaudu liikumist ja mõõtmist nõnda teostada, et kontuur jääks alati paremat kätt või teisiti öeldud: kontuurist tuleb ümber käia suunas, mis vastab päikese ringkäigu suunale. Näiteks vaatleme kontuuri ABCD ülesvõtmist (118. joon.) Töö algab punkt A-st. Bussooli selle punkti kohal üles seades ja teda horisontaalseisu pannes, viseerime punkt B peale (punkt D peale viseerides jääks kontuur pahemat kätt, mis pole lubatav), ja vabastame magnetnäitaja. Niipea kui näitaja seisma jääb, loeme limbilt näitaja otsa järele kraadidearvu — AB suuna rumbi. Siis võtame bussooli ja ketiga joone AB pikkust mõõtes läheme punkt B juurde. Siit viseerime bussooli ülesseadmise järele punkt C peale, mõõdame joone BC rumbi määratud pikkuse BC jne.

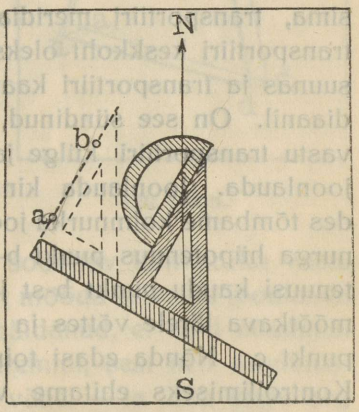


118. joon.

Saadud andmed tähendakse paberile nõnda, nagu näha juurdelisatud tabelist:

Sise nurk	Joone nimetus	Joone rumb	Joone pikkus m
90° 45′	A → B	NO : 29° 15′	54,82
131° 45′	B → C	NO : 77° 30′	76,40
88° 45′	C → D	SO : 11° 15′	102,67
48° 45′	D → A	NW : 60°	122,58

Kontuuri mõõtmisel on tarvis joonistada skits. Koju jõudes tuleb saadud andmete järele joonistada plaan. Keset paberilehte (119. joon.) tähendame vertikaaljoonega meridiaani ning selle põhja- ja lõunaotsa N ja S. Tuletame meelde, et me enda töö algasime kontuuri õhtupoolsest osast. Määrame plaani algpunktiks a, võetud plaani õhtupoolses osas. Nüüd seame transportiiri meridiaani kaudu nõnda, et transportiiri diameeter, mis ühtlasi alusjooneks (resp. paralleelne alusjoonele), läheks NO suunas. Siis juhime transportiiri keskpunkti täpselt meridiaani kaudu ja transportiiri kaare 29° 15′ ka täpselt meridiaani kaudu. On need mõlemad punktid meridiaanil, siis pahema käega transportiiri kinni hoides, liitsume temale kolmnurga ühes joonlauaga ligi, nõnda et kolmnurga üks kaatet on vastu transportiiri alust, teine aga vastu joonlauda surutud. Veel kord kontrollides, kas transportiir ei ole kohalt ära liikunud, kõrvaldame transportiiri, joonlauda vastu aluslauda kinni hoides, et see oma seisukohta ei saaks muuta.

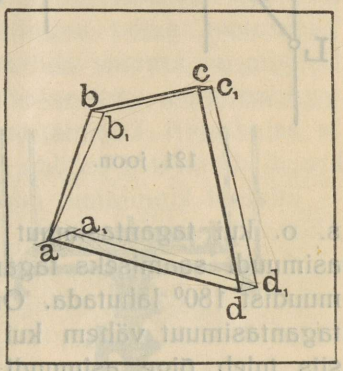


119. joon.

Kolmnurka mööda joonlauda edasi nihutades, saame joonlaua teise kaateti äärt kaudu kriipsu tõmmates, transportiiri abil

võetud rumbile NO : 29° 15′ paralleelse joone. Säärase paralleeljoone tõmbame punkt a-st. Joont punkt a-st tõmmates, tuleb teda pikendada sinnapoole, missuguses suunas joont tarvis võtta. T ä h e n d u s : NO näitab, et tarvis on joont plaani ülemise nurga poole tõmmata. Tihti unustatakse see näpunäide ära ja tõmmatakse punkt A-st joon NO suuna asemele joon SW suunas, tähendab, sedasama joont mööda, kuid punkt A-st plaani alumise ääre poole. On rumb NO : 29° 15′ punkt a-st tähistatud, siis võtame sirkliga mõõtkava järele joone AB pikkuse ja tähendame saadud raadiusega plaanil punkt a-st punkt b ära. Punkti tähistamine sünnib väikese augukese tegemisega, sirkliotsaga õrnalt vastu paberit tõugates; saadud täpile tõmmatakse pliiatsiga väike ringjoon ümber, et täppi kergem oleks leida. Nüüd on punkt b käes ja hakkame järgmist punkti otsima, transportiiri meridiaani juurde üles seades nõnda, et transportiiri keskkoht oleks meridiaanil, põhijoon läheks NO suunas ja transportiiri kaare arv $77^1/_2{}^0$ oleks ühtlasi ka meridiaanil. On see sündinud, siis surume kolmnurga hüpotenuusi vastu transportiiri külge ja kolmnurga suurema kaateti vastu joonlauda. Joonlauda kinni hoides ja transportiiri kõrvaldades tõmbame kolmnurka joonlaua äärt mööda edasi, kuni kolmnurga hüpotenuus punkt b-st läbi läheb. Siin tõmbame hüpotenuusi kaudu punkt b-st joone NO suunas. Joone BC pikkust mõõtkava järele võttes ja punkt b-st joont bc tähistades saame punkt c. Nõnda edasi toimetades saame viimaks ka punkt D. Kontrollimiseks ehitame väljal saadud andmete järele veel joone AD rumbi NW : 60° ja joone pikkuse järele. Oleksid kõik mõõtmised ja plaani joonis absoluutselt ilma veata, siis peaks punkt a selle joonise järele langema alguspunkti a. Kuid meie puudulikkude riistade ja peaasjalikult puuduliku töö tagajärjel kaldub töö lõpul saadud punkt a (120. joon.) kõrvale alguspunktist a. Seega on sündinud viga ehk eksitus a a_1. Vea suurus on mõõtkava järele $2^1/_2$ m, kuna lubatav on viga maksimum $^1/_{100}$ osa perimeetrist, mõõtkavas 100 m = 1 cm. Lubatav viga kaotatakse paralleeljoonte abil. Silmas pidades, et punkt a_1 peab liituma punkt a-ga, tuleks punkt a_1 tõsta edela suunas $2^1/_2$ m võrra edasi. Kõiki teisi punkte tuleb ka tõsta

edela suunas, kuid proportsionaalselt nurkade arvu järele alguspunktist arvates ületõstetavat maad vähendades. Viga $2^1/_2$ m nelja punkti vahel ära jagades saame $\frac{2,5}{4} = 0,6$. Lühemate külgede juures võib parandus olla suurem kui pikkade külgede juures. Seega oleks punkt b_1 parandus 0,6 m; punkt c_1 parandus $0,6 + 0,6 = 1,2$ m; punkt d_1 parandus $0,6 + 0,6 + 0,6 = 1,8$ m. Eksitusele aa_1 paralleeljooni punktidest b_1, c_1 ja d_1 tõmmates $a_1 \longrightarrow a$ suunas, kanname parandused punkt b_1—0,6 m edela suunas, saame punkt b; punkt c_1—1,2 m, saame punkt c; punkt d_1 — 1,8 m, saame punkt d. Punkte a, b, c ja d ühendades saame otsitava neljanurkse kuju abcd.



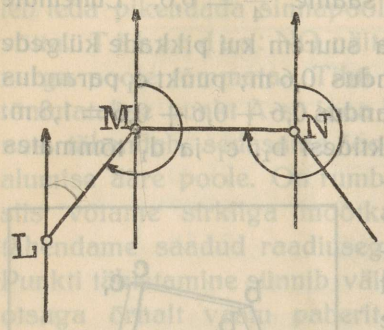
120. joon.

Meridiaanijoont mööda ülesseatud transportiirile kolmnurka liites on soovitav, et väiksemate nurkade — rumbide 0^0—30^0 juures — kolmnurk surutaks suurema kaateti äärt mööda vastu transportiiri ja vähema kaateti äärega vastu joonlauda. Rumbide juures 30^0—60^0 on soovitav kolmnurka vastu transportiiri suruda hüpotenuusi äärt mööda ja vastu joonlauda suurema kaateti serv. Praktika on näidanud, et neid nõudmisi täites joonistamine toimub kõige kiiremini, sest neil tingimustel muutub joonlaua seisukoht õige vähe, — ta jääb kogu aeg enam-vähem õhtu-hommiku suunas laua taga istujale joonistajale paralleelseisu.

Bussool kui abimõõduriist on suuremalt jaolt iga tähtsama ja parema nurgamõõdu-aparaadi külge ehitatud, näiteks teodoliidi, astrolaabi ja pantomeetri külge. Nõuded bussooli kui teise aparaadi osa kohta on needsamad, mis eraldi oleva bussooli kohta ette toodud. Aparaadid, milledele bussool külge on ehitatud, ei tohi sisaldada rauda ega terast.

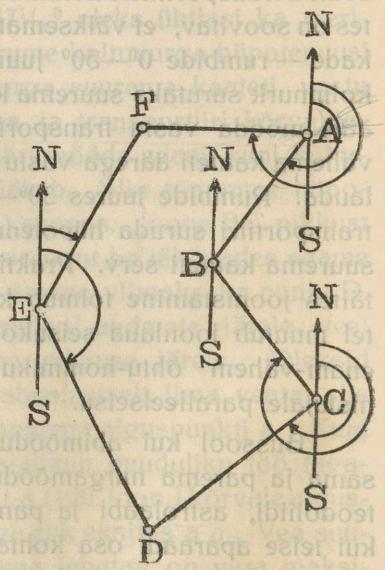
Bussooliga tööd tehes peab maamõõtja tähelepanu juhtima sellele, et ta mingit rauast asja kaasas ei kannaks ega seda

mõõtmise ajal aparaadile ligidal hoiaks. Pealmistes kuue- ja vestitaskutes olevad raudvõtmed ja -asjad tulevad kõrvaldada, kui tahetakse täpselt tööd teha.



121. joon.

Kontuuri asimuute mõõtes on vahel tarvidus töö kestusel end kontrollida. Selleks võib punkt M-ist mõõta (121. joon.) mitte üksi suund MN asimuuti, vaid võime mõõta ka eelmise joone LM asimuuti tagantasimuudina, võttes suunda punktist M ⟶ L. Joon LM õige asimuut α on tagantasimuut $\alpha - 180^0$. Üldine vahekord on aga : õige asimuut = tagantasimuut $\pm 180^0$ s. o. kui tagantasimuut on suurem kui 180^0, siis tuleb õige asimuudi saamiseks tagantasimuudist 180^0 lahutada. On aga tagantasimuut vähem kui 180^0, siis tuleb õige asimuudi saamiseks tagantasimuudiga 180^0 liita. Näiteks: joon AB õige asimuut α = tagantas. $\alpha + 180^0$, sest nurgad NBA ja BAS on võrdsed (122. joon.). Õige asimuut α ehk nurk NAB on aga $180^0 + \sphericalangle$ SAB. Käesoleva vahekorra tõttu võib bussooliga tööd lihtsustada ja pole vaja bussooli igas nurgas üles seada, vaid nurga tagant, iga kahe nurga vahel üht vahele jättes. Joonte pikkused tulevad aga kõik mõõta. Näiteks: kontuuri ABCDEF juures võib bussooli üles seada ainult punktides A, C ja E. Punkt A-st võetakse joon AB asimuut ja joon FA tagantasimuut; punkt C-s seistes



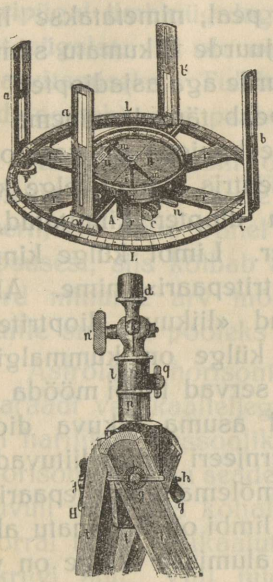
122. joon.

saab joon CD asimuudi ja joon BC tagantasimuudi. Tagantasimuutide järele võib kodus arvutada õiged asimuudid. Olgu tähendatud, et polügooni küljed peab siiski kõik mõõdetama.

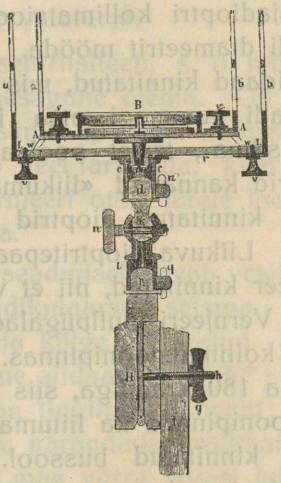
Nurgamõõdu-aparaadid.

Astrolaab ja töötamine temaga.

Eelpool ettetoodud kirjeldusest oli näha, et sisemisi nurki võib mõõta: 1) keti abil sidejoone suurust arvesse võt-



123. joon.



123. a joon.

L — limb; r — limbi ühendusraadiused sentriga; a ja b — dioptrid, mis on kruviga v limbi külge kinnitatud; a^1 ja b^1 — liikuvad dioptrid, v^1 — nende kinnituskruvid. B — bussool; mm — magnetnõel; o — magnetnõela telg; u — vesilood; i — kang magnetnõela kinnipanemiseks; d — aluse pea, mis läheb toru c sisse ja kinnitatakse kinnituskruvi n abil. Statiivi pea on liikuv kuulšarniiril, millel kinnituskruvi n^1. Kruvi q abil kinnitatakse statiivi pea tema aluse p külge. H — kolmnurkne puust prisma, mille külge statiivi jalad on kinnitatud ja mille alla lood riputatakse.

tes, 2) keti ja ekkeri abil tangensjooni mõõtes, 3) bussooli abil asimuutide ja rumbide järele sisenurki arvutades. Need kolm nurgamõõtmisviisi ei võimalda täpselt leida nurga suurust;

kõige paremal juhtumil tulevad siin vead $^1/_6$—$^1/_{10}$ kraadi suured, kuid võivad ka suuremad olla. Sellepärast on sisenurnurkade mõõtmiseks juba vanast ajast (Venemaal Peeter Suurest saadik) tarvitusel astrolaab. Endiste astrolaabide täpsus oli 5 minutit; nüüd ehitatakse neid aga täpsusega 2—1 minutini.

Astrolaab koosneb vaskrattast (123. joon.), millel kraadide jaotus sisse lõigatud nullist kuni 360 kraadini. Tihti on uuemal ajal kraadid veel pooleks jagatud. Kraadide jaotuse numeratsioon on suuremalt jaolt paremalt poolt pahemale (vastu päikest). Vaskratast, millel kraadide jaotus peal, nimetatakse limbiks. Limbile on kruvide abil nullmärgi juurde liikumatu silmadiopter kinnitatud, vastasoleva 180° juurde aga asjadiopter. Silma- ja asjadioptri kollimatsioonipind peab täpselt minema 0—180 kraadi diameetrit mööda. Limbi keskpaigas on vaskjoonlaud — alidaad kinnitatud, mis ümber sentris asuvat telge keerleb. Alidaadi kummagi otsa külge on diopter kinnitatud, ühel pool silma-, teisel pool asjadiopter. Limbi külge kinnitatud dioptrid kannavad «liikumatu dioptritepaari» nime. Alidaadi külge kinnitatud dioptrid kannavad «liikuva dioptritepaari» nime. Liikuva dioptritepaari otste külge on kummalgi pool vernjeer kinnitatud, nii et vernjeeri servad limbi mööda liuglevad. Vernjeeri nullpügalad peavad asuma liikuva dioptritepaari kollimatsioonipinnas. Kui vernjeeri nullid liituvad limbi nulli ja 180 kraadiga, siis peavad mõlema dioptritepaari kollimatsioonipinnad ka liituma. Keset limbi on liikumatu alidaadi külge kinnitatud bussool. Limbi alumisse külge on vintide abil kinnitatud vasktoru (123. a joon.), mille abil astrolaab kas kuulšarniiri alusele või kolmnurkalusele üles seatakse. Statiiviks on vana lihtstatiiv või Müncheni statiiv. Mõni aeg tagasi olid tarvitusel astrolaabid, milledel liikuva dioptritepaari asemel oli pikksilm. Liikumatu dioptritepaar puudus säärastel aparaatidel täiesti.

Enne tarvitamist peab astrolaab järele proovitama:

1. Kas on limbi ja vernjeeri jaotused õiged? Vaadatakse, mitu limbipügalat vastab vernjeeripügalate kogu arvule. Siis käänatakse alidaad teise kohta ja võrreldakse jälle seda vahekorda. Näiteks, kui vernjeer on jaotatud 30 pügalaks,

mis täpselt vastab limbi 29 kraadi jaotusele, siis peab see täpsus igas limbi osas muutmata jääma. Kui vaatlusi 20—30 tehtud ja iga kord vahekord endiseks jäänud, siis võib arvata, et limb on õige. Vernjeeri proovimisel liidetakse vernjeeri nullpügal mõnesuguse limbipügalaga ja võrreldakse lähemaid vernjeeripügalaid: vernjeeri- ja limbipügalate vahe peab proportsionaalselt kasvama, vahekaugus esimese vernjeeri- ja limbipügala vahel peab vähem olema kui vahe teise vernjeeripügala ja vastava limbipügala vahel. Siis liidetakse järgmine vernjeeripügal limbipügalaga ja võrreldakse jällegi paari teist järgmist pügalat. Ei ole need kokkukõlas, siis ei kõlba astrolaab tarvitamiseks. Tuleb viga alidaaditelje ärakulumisest (alidaad logiseb), siis peab uus telg valatama.

2. Alidaadil ei tohi olla ekstsentritsiteeti, s. o. minutite arv mõlema vernjeeri järele peab ühesugune olema. On vahe kahe vernjeeri näite vahel vähem sama aparaadi kolmekordsest täpsusest, siis kõlbab astrolaab veel tarvitada, kuid peab iga kord minutite arv mõlema vernjeeri otste järele loetama ja minutite summa pooleks jagatama.

3. Astrolaabi horisontaalseisu seadmiseks peab vesikaalu telg aparaadi vertikaalteljega perpendikulaarselt seisma. Vesikaal on harilikult bussoolikarbi põhja külge kinnitatud. Vesikaalu horisontaalseisu seades kääname alidaadi just 180° võrra; kui õhuvull seejuures kohale jääb, on tingimus täidetud; vastasel korral tuleb vesikaalutelje seisu parandada vesikaalu paranduskruvi abil. Vull tuleb poole maa võrra tagasi juhtida.

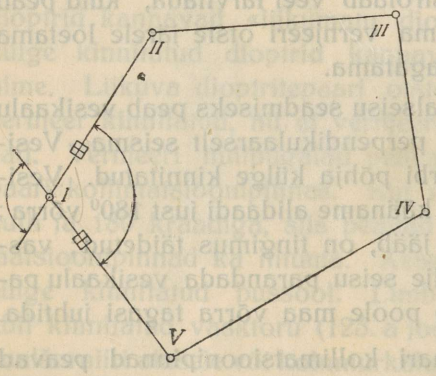
4. Kummagi dioptritepaari kollimatsioonipinnad peavad limbi pinnale perpendikulaarsed olema. Seatakse aparaadi limb täpselt horisontaalseisu ja viseeritakse paarikümne meetri kaugusel mõnest kõrgemast kohast allalastud loodnöörile. Katavad dioptrite jõhvid nööri ja ei lõika teda, siis on tingimus täidetud. Vastasel korral tuleb dioptrite kinnituskruvi vabastada ja dioptrite serva alla vastavale kohale paberit alla panna, kruvi uuesti kinnitades.

5. Liikumatu dioptrite kollimatsioonipind peab limbi 0—180-kraadilist diameetrit pikuti lõikama.

6. Liikuva dioptritepaari kollimatsioonipind peab bussooli 0-kraadilise diameetri kaudu minema, seda pikuti lõigates (bussooli kollimatsiooniviga).

7. Kui limbi null vernjeeri nulliga liitub, siis peab limbi 180 kraadi pügal vernjeeri teise nulliga liituma ja mõlema dioptritepaari kollimatsioonipinnad peavad teineteist katma, s. o. peab võimalus olema läbi kahe silmadioptri vaadata, seejuures peavad mõlemate asjadioptrite jõhvid teineteist katma (astrolaabi kollimatsiooniviga). Juhtumil, kui nõudmine mitte ei ole täidetud, leiame vea suuruse, kui nurka kaks korda mõõdame: esimene kord ainult liikuva dioptritepaariga kahte vaatlust tehes ja teine kord nõnda nagu harilikult liikumatu ja liikuva dioptritepaari abil. Esimene mõõtmine on ilma kollimatsiooniveata.

Astrolaabi külge kinnitatud bussooli kohta seatakse needsamad nõuded üles, mis eraldi oleva bussooli jaoks ette toodud. Mõõtmine astrolaabiga sünnib järgmiselt (124. joon.): Alguspunkt I-sse tulles (on täiesti ükskõik, missugune punkt alguspunktiks võetakse), sentritakse astrolaabi punkt I kohal, s. o. astrolaabi keskpaigast põhikruvilt lastud lood peab täpselt punkt I kohal seisma. Punkti kujutuseks võib olla 5-sm jämeduse maasse taotud teiba otsa kinnitatud rist või ristikivi rist. Kui aparaat sentritud, siis tuleb teda vesikaalu abil horisontaalseisu seada. On see sündinud, algab vaatlus. Vabastatakse limbi alust ja külge ühendav kinnituskruvi ja limbi ümber aluse silindrist käänates, juhime liikumatu dioptritepaari tagumise punkti V-le (s. o. punktile, mis aparaadi seisukohast järgmine vastu päikest minnes). On see sündinud, kinnitatakse limb alusele ja juhitakse liikuv dioptritepaar eelpool olevale punktile II,



124. joon.

mis kontuuri piiri kaudu minnes aparaadi seisukohast mööda päikest seisab. Juhtumil, kui limbi null on liikumatu silmadioptritepaari juures, annab kraadide arv alidaadi, s. o. liikuva silmadioptritepaari juures, meile sisenurga suuruse kraadides, millele vernjeeride järele minutid juurde arvatakse. On limbi null asjadioptri juures, siis tuleb kraadide arv alidaadi asjadioptri järele arvutada. Punkt II-le viseerides vabastatakse magnetnäitaja bussooli juures ja saame ühes sisenurk I suurusega ühtlasi ka teada bussooli kaudu joon I ⟶ II rumbi. Esimese joone rumb tuleb võimalikult täpselt arvutada. On see sündinud, võtame aparaadi ja sammume punkt II juurde, joont I ⟶ II seejuures lindiga mõõtes.

Nagu juba eelpool tähendatud, tuleb kontuuride ja polügoonide mõõtmisel liikuda alati säärases suunas, et polügoon või kontuur jääks paremat kätt. Punkt II juurde tulles sentritakse astrolaab täpselt punkti kohal, siis seatakse ta horisontaalseisu ja liikumatu dioptritepaar juhitakse punkt I-le — sinna, kust me tulime; liikuvate dioptrite kaudu aga III-dale, s. o. sellele punktile, kuhu me läheme. Liikuva silmadioptritepaari vernjeer annab meile sisenurk II suuruse; bussooli kaudu saame ühtlasi teada ka joon II ⟶ III rumbi. On see käes, võtame astrolaabi ja joon II—III mõõtes, liigume punkt III juurde edasi. Nõndaviisi läheb töö lõpuni. Ei pea unustatama, et astrolaabi ühest punktist teise viies kõik kinnituskruvid, iseäranis bussooli magnetnäitaja vabastuskruvi, oleksid kinni kruvitud, mida algajad alati unustavad. Mõõtmisel tuleb joonistada skits, kuhu peale nurkade ja joonte pikkuse kõik piirimõõtmisel ettetulevad asjad tähendatakse. Näiteks, joon III ⟶ IV vahel 25. meetril on maantee, mille laius 5 meetrit, 78. meetril on kraav, 92. m lõpeb põld ja algab heinamaa jne.

Mõõtmisel saadud andmed tähendatakse järgmiselt üles, nagu tabelilt näha.

Polügooni mõõtmisel tuleb iga nurga juures väljal sisenurga suurust rumbide abil kontrollida, arvesse võttes järgmist:

I. Kui kahe teineteisele järgneva joone rumbide nimetu-

sel on mõlemad tähed ühenimelised, siis võrdub astrolaabinurk 180°-ga, mis vähendatud rumbide vahe võrra (124. I joon.).

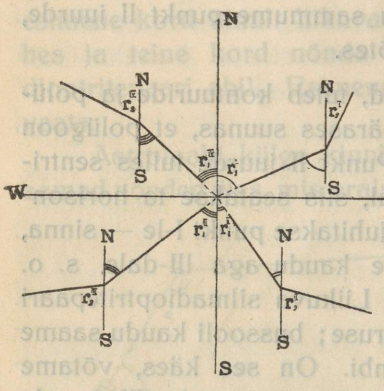
$n = 180^0 - (r_1 - r_2)$; resp. $n = 180^0 - (r_2 - r_1)$.

Näiteks: kui $r_1 = SO: 32^0\,20'$ ja $r_2 = SO: 58^0\,50'$,

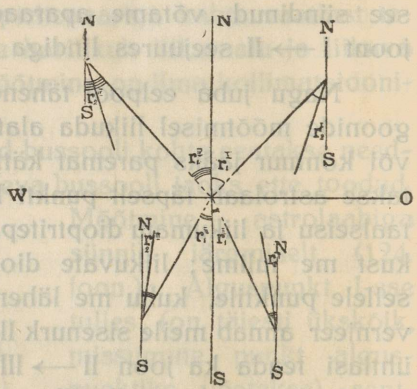
siis $n = 180^0 - (58^0\,50' - 32^0\,20') = 143^0\,30'$,

II. Kui teineteisele järgnevate joonte rumbide nimetustel on mõlemad tähed isenimelised, siis võrdub astrolaabinurk rumbide vahega (124. II joon.).

$n = r_1 - r_2$; resp. $n = r_2 - r_1$.



124. I joon.



124. II joon.

Näiteks: kui $r_1 = NW: 81^0\,10'$ ja $r_2 = SO: 48^0\,40'$,

siis $n = (81^0\,10' - 48^0\,40') = 32^0\,30'$.

III. Kui teineteisele järgnevate joonte rumbide nimetusel on esimesed tähed ühenimelised ja teised isenimelised, siis võrdub astrolaabi nurk 180°-ga, mis vähendatud rumbide summa võrra (124. III joon.).

$n = 180^0 - (r_1 + r_2)$.

Näiteks: kui $r = NO: 55^0\,40'$ ja $r_2 = NW: 23^0\,10'$,

siis $n = 180^0 - (55^0\,40' + 23^0\,10') = 101^0\,10'$.

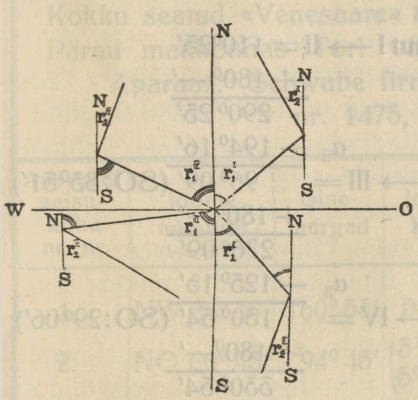
IV. Kui teineteisele järgnevate joonte rumbide nimetusel on esimesed tähed isenimelised ja teised ühenimelised, siis võrdub astrolaabinurk rumbide summaga (124. IV joon.).

$n = r_1 + r_2$.

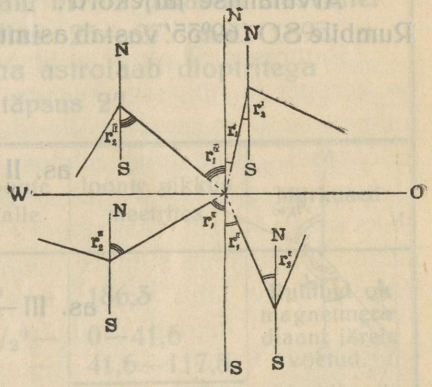
Näiteks: kui $r_1 = NO: 60^0\,15'$ ja $r_2 = SO: 82^0\,20'$,
siis $n = (60^0\,15' + 82^0\,20') = 142^0\,35'$.

Märkus: a) Rumbide vahe saamisel (juht. I ja II) tuleb siin alati suuremast rumbist vähem lahutada.
b) Astrolaabinurk võrdub sisenurgaga juhtumil, kui viimane vähem on kui 180^0. Suuremate sisenurkade juures on astrolaabinurgaks sisenurka kuni 360^0 täiendav nurk.

Ülemal etteloodud seaduste tõenduseks on juuresolevad joonised: 124. I, 124. II, 124. III ja 124. IV.



124. III joon.



124. IV joon.

Saadud andmete järele võib polügooni joonistada transportiiri ja sirkli abil, joonte rumbe arvesse võttes. Rumbid arvutatakse siin täpselt esimese joonerumbi ja sisenurkade järele. Enne parandatud rumbide arvutamist tuleb sisenurkade summa kontrollida. Kui nurkade arv on n, siis peab sisenurkade summa võrduma: $\Sigma\alpha = 180^0\,(n-2)$.

Näiteks: kui $n = 3$, siis $\Sigma\alpha = 180^0$
„ $n = 4$, „ „ $= 360^0$
„ $n = 5$, „ „ $= 540^0$
„ $n = 6$, „ „ $= 720^0$
„ $n = 7$, „ „ $= 900^0$ jne.

Sisenurkade järele rumbide resp. asimuutide arvutamine toimub järgmise seaduse põhjal:

Iga järgneva joone asimuut võrdub eelmise joone asimuudiga, millele lisatud 180° ja millest lahutatud nende kahe joone vahel asuv sisenurk.

$$A_{n+1} = An + 180^0 - \alpha.$$

Rumbi esimesest punktist teise tuleb võimalikult täpselt määrata: see võetakse kõikide teiste joonte rumbide arvutamise aluseks.

Näiteks oli mõõdetud $r_{1 \longrightarrow 2} = SO : 69^0\,35'$ ja sisenurgad $\alpha_1 = 107^0\,26'$; $\alpha_2 = 194^0\,16'$; $\alpha_3 = 125^0\,15'$; $\alpha_4 = 64^0\,33'$; $\alpha_5 = 168^0\,23'$; $\alpha_6 = 115^0\,39'$ ja $\alpha_7 = 124^0\,28'$.

Arvutamise järjekord:

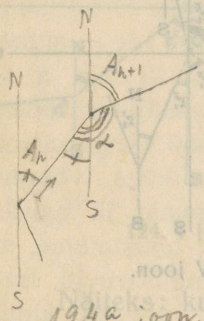
Rumbile SO : 69°35′ vastab asimuut I ⟶ II = 110°25′

$+ 180^0 - '$

$290^0\,25'$

$\alpha_2 \quad - 194^0\,16'$

as. II ⟶ III = $96^0\,09'$ (SO : 83°51′)



$+ 180^0 - '$

$276^0\,09'$

$\alpha_3 \quad - 125^0\,15'$

as. III ⟶ IV = $150^0\,54'$ (SO : 29°06′)

$+ 180^0 - '$

$330^0\,54'$

$\alpha_4 \quad - 64^0\,33'$

as. IV ⟶ V = $266^0\,21'$ (SW : 86°21′)

$+ 180^0 - '$

$446^0\,21'$

$\alpha_5 \quad - 168^0\,23'$

as. V ⟶ VI = $277^0\,58'$ (NW : 82°02′)

$+ 180^0 - '$

$457^0\,58'$

$\alpha_6 \quad - 115^0\,39'$

as. VI ⟶ VII = $342^0\,19'$ (NW : 17°41′)

$+ 180^0 - '$

$522^0\,19'$

$\alpha_7 \quad - 124^0\,28'$

$397^0\,51'$

as. VII – I . . . $37^0\,51'$ (NO : 37°51′)

kontrollimiseks $+180^0 -'$

$217^0 51'$

$\alpha_1 \quad -107^0 26'$

as. I $\longrightarrow$ II = $110^0 25'$ (vastab alg.)

Märkus: Arvutamisel võib summade ja vahede juures tarbekorral kas 360^0 lisada või lahutada, sellega joone suund ei muutu.

GEODEESIAKAUSTIK

Kokku seatud «Venesaare» talu nr. 62 plaanile ülesvõttel Pärnu maakonnas Tori vallas 25.—27. mail 1895. a.
Aparaat: Schwabe firma astrolaab dioptritega nr. 1475, täpsus 2″.

Aparaadi seisukoha nr.	Joonte numbrid	Sisenurgad	Joonte kalle	Joonte pikkus meetrites	Märkused
1.	NW $24^0 30'$	$160^0 53'$	0^0 —	186,3	Rumbid on magnetmeridiaani järele võetud.
2.	NO $60^0 45'$	$94^0 45'$	$3^1/_2{}^0$ —	0—41,6	
			5^0 —	41,6—117,5	
				117,5	Meridiaani kalle $3^0 10'$ hom. poole
3.	SO $59^0 30'$	$120^0 15'$	0^0 —	321,2	

Märkustesse tuleb võtta kõik tähtsamad asjad, mis piiril leiduvad. Ühtlasi peab üles tähendama ka naabermaade omaniku nime, kellega piir ühine, mis punktist alates ja mis punktis lõppedes.

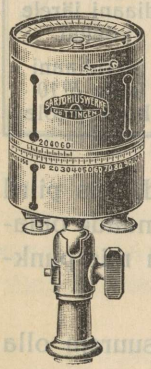
Lubatud viga sisenurkade summas ei tohi suurem olla $\pm 1{,}5 \cdot t \cdot \sqrt{n}$, kus t on aparaadi täpsus ja n nurkade arv. Endistel aegadel oli lubatav viga sisenurga mõõtmisel $\pm t \cdot n$. Viimasel ajal aga (Vene maakorralduse juhtkirja järele) $4' \sqrt{n}$.

Maakatastri plaanide valmistamise juhtnööride järele on nõutav täpsus minutites ringpiiri mõõtmisel $1{,}5 \sqrt{n}$ ja situatsioonikäikudel $4 \sqrt{n}$. (Riigi Teat. nr. 102/1927. a.).

Kui vahe on lubatav, jagatakse see proportsionaalselt nurkade vahel. Lühiküljeliste nurkade juures võib parandus suurem olla kui pikaküljeliste nurkade juures. Parandustega peab arvud kuni 1″ ümmarguseks tegema, sekundite ja minutite murdarvudest kõrvale hoidudes kõigil juhtumitel, kui aparaadi täpsus mitte suurem ei ole kui 1′. Ka võib siin plaani joonistamine toimuda polügooni nurkade koordinaatide arvutamisega; koordinaatide arvutamise kohta järgneb seletus allpool.

Pantomeeter.

Pantomeetril on palju lihtsam ehitus kui astrolaabil. Teda on kergem ja hõlpsam kaasas kanda ja tarvitatakse seepärast mitmekesiste metsaülesvõtte-tööde puhul ja mägiste kohtade mõõtmisel. Kuid tuleb silmas pidada, et pantomeetri täpsus ulatub vaevalt 2 minutini. Pantomeetri ehitus on järgmine: Kaks seest õõnsat vasksilindrit on teineteise otsa vertikaalseisu seatud. Pealmine silinder annab alumise silindri põhjast läbimineva kruvi abil ümber telje käänata ja tema alumine serv liugleb seejuures mööda alumise silindri pealmist serva. Alumise silindri pealmine serv täidab limbi osa; temale on kraadide jaotus 0 - 360 peale lõigatud, suuremalt jaolt niisama kui astrolaabil — paremalt poolt pahemale (jaotus vastu päikest). 0 ja 180 kraadi diameetri kohal on alumisele silindrile diopter sisse lõigatud — silmadiopter 0 kraadi kohal ja asjadiopter 180 kraadi kohal. Dioptrite kollimatsioonipind peab täpselt läbi 0—180° diameetri minema. Pealmise silindri alumise ääre külge on kaks diametraalselt teineteisele vastas seisvat vernjeeri sisse lõigatud. Vernjeeri nullide kohal liikuva pealmise silindri sisse on lõigatud teine dioptritepaar. Seega vastab alumise silindri dioptritepaar astrolaabi liikumatule paarile, pealmise silindri sisse lõigatud dioptritepaar astrolaabi liikuvale dioptritepaarile. Pealmisele silindrile on veel teine dioptritepaar sisse



125. joon.

lõigatud, perpendikulaarses pinnas vernjeeride nullide kohal olevale dioptrite kollimatsioonipinnale, mis võimaldab pantomeetrit kasutada silindri ekkerina (125. joon.). Pealmise silindri otsa on kinnitatud bussool, mille abil joonte rumbe või asimuute võib arvutada. Pantomeetri alumise silindri põhja külge on kruvitud vasktoru, mille abil pantomeeter vastava statiivi või kepi otsa seatakse. Pantomeeter peab toru abil statiivi otsas ringi käänata andma, ja teda võib statiivi külge liikumata kinnitada torust läbi kruvitud kinnituskruvi abil. Aparaadi proovimine ja töötamise järjekord on pantomeetri juures seesama mis astrolaabigi juures. Et vesikaal pantomeetril puudub, siis peab ta horisontaalseisu seatama magnetnäitaja tasakaalus-olemise järele. Pantomeetrit statiivi otsas ringi käänates juhime alumise silindri dioptrid sinna tagumisele punktile, kust me tulime, ja kinnituskruvi kinnikruvimise järele pealmise silindri vernjeeridega varustatud dioptritepaari järgmisele punktile (sinna, kuhu me läheme). Limbilt võime vernjeeride abil lugeda nurga suuruse.

Juhtumil, kui pantomeeter kepi otsa seatakse ja kepi otsas hästi ümber käänata ei anna, võib sisenurka kui kahe vaatluse vahet arvutada: vaadatakse esiti liikuvate dioptrite kaudu tagumisele punktile ja tähistatakse kraadide ning minutite arv; siis, pealmist silindrit ümber käänates, vaadatakse nendesamade dioptrite läbi järgnevale punktile ja tähistatakse jälle kraadid ja minutid. Viimasest arvust esimesel vaatlusel saadud arvu lahutades, saame sisenurga suuruse. On olemas üksikuid pantomeetrite eksemplare, milledele dioptrite asemele pealmise silindri külge pikksilm on kinnitatud. Alumine silinder toetub kolmnurk-alusele, mis olemas aparaadi horisontaalseisu seadmiseks. Pealmise silindri külge on kinnitatud sektor, millelt joonte kaldnurki võib lugeda. Seda aparaati peab ebaõnnestunuks lugema, sest limbi jaotus ja silindrit ühendava võlli ehitus ei vasta pikksilma mõõtmise täpsusele.

Pantomeetriga töötades tuleb meeles pidada sama mis astrolaabigi juures:

1. Kui kraadide jaotus läheb vastu kellaosuti käiku (vastu päikest), siis juhtida liikumatu dioptritepaar sinna, kust tulime

(paremale poole), ja liikuv sinna, kuhu läheme (pahemale poole, näoga vastu polügooni seistes arvates).

2. Polügoon peab meist mõõtmise ajal jääma alati paremale poole.

3. Kui limbi 0-punkt on silmadioptri juures, siis tuleb nurgakraadide arv lugeda alidaadi (pealmise silindri) silmadioptri järele.

4. Kui limbi 0 on asjadioptri juures, siis tuleb nurgakraadide arv lugeda pealmise silindri asjadioptri juurest.

Teodoliit, tema ehitus ja töötamine temaga.

Teodoliit läheb oma ehituse poolest astrolaabist lahku järgmisis asjus:

1) Viseerimine sünnib alati pikksilma abil, mis ennast laseb vertikaalpinnas ümber käänata, ehk — nagu öeldakse — üle seniidi annab keerata.

2) Alidaad-joonlaua asemel on temal alidaadi-ratas, millele kaks diametraalselt vastastikku vernjeeri peale lõigatud.

3) Teodoliidi pealahkuminek astrolaabist on aga võllide ehituses. Astrolaabil on lühike võll, teodoliidil aga pikk koonusvõll, mis tihti alidaadirattaga ühes tükis valatud. Säärase võlli ehituse puhul on ühendus alidaadi ja limbi vahel kindlam ja võlli kulumine ning alidaadi logisemine kõrvaldatud.

4) Teodoliidi limbijaotus on suuremalt osalt pahemalt poolt paremale (mööda päikest või mööda kellanäitaja käiku).

5) Limbi diameeter on teodoliidil harilikult väiksem kui astrolaabil (esimesel 15—18 sm, viimasel 20—25 sm). Selle tõttu on teodoliidi limbi ja vernjeeri jaotus ka peenemakriipsuline.

Teodoliidid võivad oma ehituse järele olla mitut seltsi: 1) Väiksed teodoliidid, millede vernjeeri jaotus võimaldab täpsust 1 minutini.

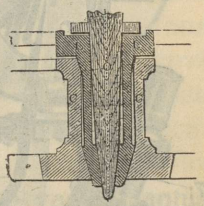
2) Suured teodoliidid, millede täpsus ulatub 30—2 sekundini

Väiksed teodoliidid võivad olla: a) bussooliga või ilma: b) vertikaalrattaga või ilma selleta.

Väiksed teodoliidid jaotatakse: 1) lihtteodoliitideks ja 2) kordavaiks teodoliitideks.

Lihtteodoliidi limb on liikumata teodoliidi aluse kolmnurgaga ühendatud või sellega ühes tükis valatud. Kordavail teodoliitidel on limb liikuv, s. o. limb on ühendatud koonustoruga, mille sees alidaadiratta võll keerleb ja mis ise kolmnurga sisse treitud koonusaugus annab ümber käänata. Kordavad teodoliidid, millede vertikaalratta täpsus horisontaallimbi täpsusega võrdne, kannavad tahhimeetriliste teodoliitide nime.

Teodoliidi võllide valmistamisel valitakse metallide segud nõnda, et alidaadivõll oleks kõvemast segust kui tema laager või limbi koonustoru, mille sees keskmine võll keerleb; see toru peab omakorda jälle kõvemast segust olema kui kolmnurga sisse valatud laager, mille sees toru keerleb. 126. joon. on näha läbilõikes: O — alidaadi telg, L — limbi telg ja C — kolmnurga alus. Võlli ehituse tõttu sünnib teodoliidi alidaadi liikumine kergelt, ladusasti. Allpool järgneb kordava teodoliidi kirjeldus, mille välimist kogu näitab 127. joon. ning vertikaal-läbilõiget 129. a joon. Hõbetatud limb (4) on jaotatud poolteks kraadideks. Kruvi (3 a) abil ühendatakse ta liikumatu kolmnurga alusega (1—2), nii et ainult väike liikumine mikromeeterkruvi (3) abil võimalik. Alidaadi võib kinnituskruvi (5) abil limbi külge liikumata kinnitada; väikest liikumist limbi ja alidaadi vahel võib võimaldada mikromeeterkruvi abil, mis asub kinnituskruvi kõrval. Limbi ja vernjeeri numbrite vaatlemiseks on suurekstegevad klaasid.

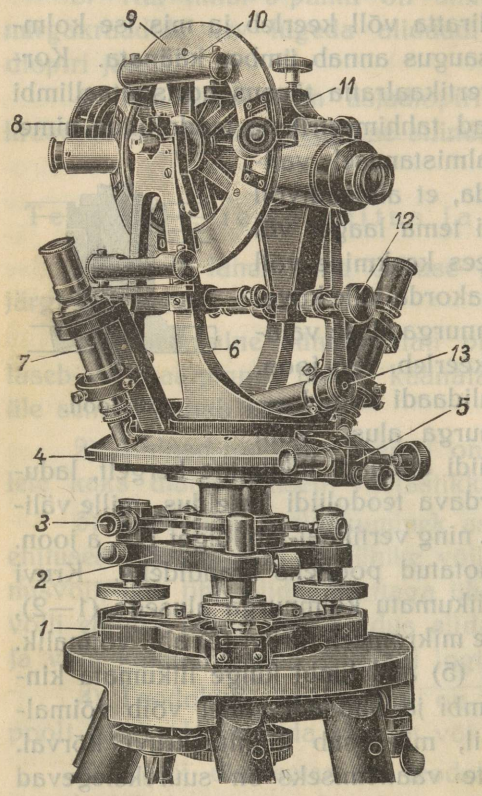


126. joon.

Pikksilm (8) on vertikaalkülje harkide või tugipostide (6) otsa üles seatud, mis liikumata alidaadiga ühendatud. Tugipostid on võrdlemisi massiivsed. Üht vertikaaltugipostidest võib paranduskruvide abil pikemaks või lühemaks teha. Need paranduskruvid on harilikult selles telje otsas, kus ei ole vertikaalratast.

Pikksilm peab horisontaalvõlliga perpendikulaarselt seisma ja on temaga liikumata ühendatud. Horisontaalvõlli külge

on vertikaalne limb (9) liikumata kinnitatud. Vertikaalne limb annab ühes pikksilmaga ja horisontaalse võlliga vertikaalpinnas tugipostide laagrite sees ümber käänata, kuna vertikaalse limbi vernjeerid v liikumata tugipostide külge on kinnitatud.



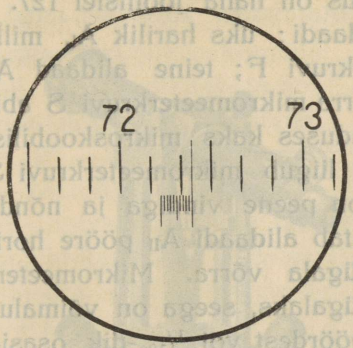
127. joon.

Kruvi (12) annab väikest liikumist pikksilmale vertikaalpinnas, selleks peab aga enne vertikaalratta kinnituskruvi (11) kinni käänatud olema.

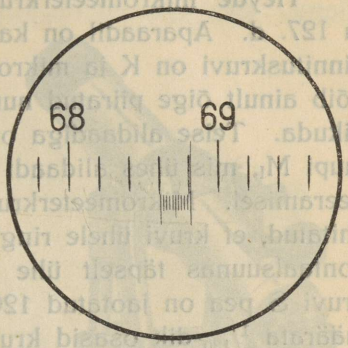
Aparaadi horisontaalseisu seadmine toimub tõstevintide abil vesikaalude näitamise järele. Teodoliit kinnitatakse põhikruvi P abil statiivi külge. Põhikruvi alumise osa abil ühendatakse statiiv teodoliidiga, kuid ühendus on esialgu vaba, nii et teodoliit statiivi pea sees $2^1/_2$—$3^1/_2$ tolli suuruse augu tõttu annab edasi-tagasi lükata. Vedru kinnituskruvi abil ühendatakse teodoliit juba pea liikumatu statiiviga. Tolmu ja vihma eest on hõbetatud limb kaitstud kattega, mis alidaadi külge kinnitatud ja üheskoos viimasega liigub. Vernjeeridele on vastavatele kohtadele asetatud mikroskoobi sarnased suurekstegevad klaasid. Limbipügalate lugemiseks on limbikattesse vastav avaus jäetud.

Limb on jaotatud kraadideks ja iga kraad kuueks osaks; seega on limbi täpsus 10′. Limbi peen jaotus ja teravaotsalised pügalad (127. a ja b joon.) ühes mikroskoopiliselt peene

vernjeerijaotusega võimaldab tugeva suurenduse juures otsekohest jaotuste lugemist. Näiteks joonisel 127. a on vernjeeri

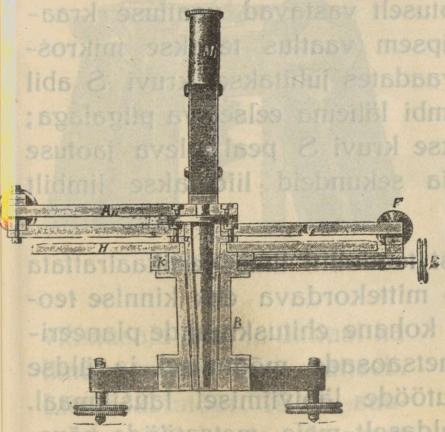


127. a joon.

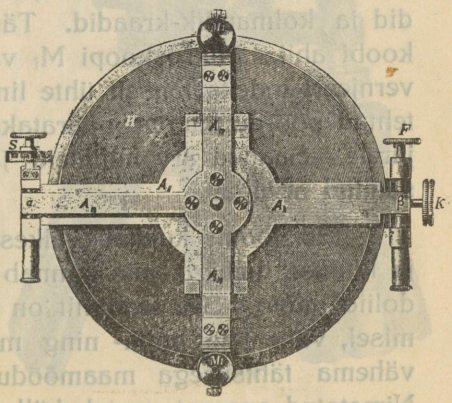


127. b joon.

täpsus 1′ ja vaatlus: 72°23′,5. Joonisel 127. b vastab jaotus limbi 400-kraadilisele jaotusele. Vernjeeri täpsus on 0ᵍ,02 ja



127. c joon.



127. d joon.

vaatlus: 68ᵍ,81. Säärane mikroskoobiline suurendus sünnib viimasel ajal teodoliitide juures sageli. Erilist huvi väärib seejuures Heyde' mikromeeter.

Heyde' mikroskoop-mikromeeterkruvi tarvitusele võtmi-

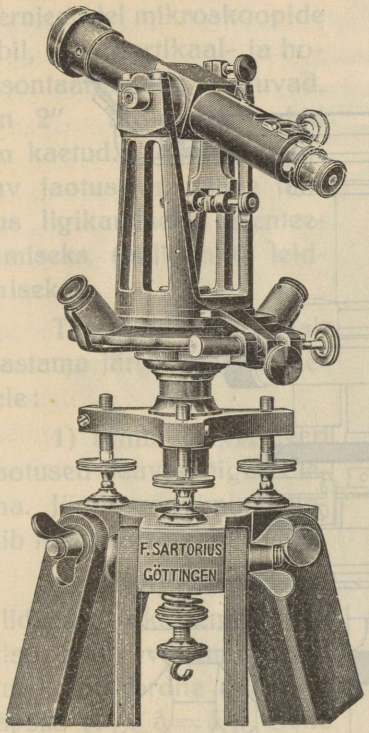
sega on võimalus saavutada keskmise suurusega kordava teodoliidi juures kuni 5-sekundilist täpsust.

Heyde' mikromeeterkruvi ehitus on näha joonistel 127. c ja 127. d. Aparaadil on kaks alidaadi: üks harilik A_I, mille kinnituskruvi on K ja mikromeeterkruvi F; teine alidaad A_{II} võib ainult õige piiratud nurga võrra mikromeeterkruvi S abil liikuda. Teise alidaadiga on ühenduses kaks mikroskoobilist luupi M_I, mis ühes alidaadi A_{II}-ga liigub mikromeeterkruvi S keeramisel. Mikromeeterkruvi S on peene vindiga ja nõnda ehitatud, et kruvi ühele ringile vastab alidaadi A_{II} pööre horisontaalsuunas täpselt ühe limbipügala võrra. Mikromeeterkruvi S pea on jaotatud 120-ks pügalaks, seega on võimalus määrata $^1/_{120}$-dik osasid kruvi S pöördest või $^1/_{120}$-dik osasid limbipügala jaotusest. Kui limbipügala täpsus on 20′, siis saab mikromeeterkruvi abil määrata $20' : 120 = 10''$. Töötamisel seatakse mikromeeterkruvi indeks nullpügalale, siis seatakse aparaat horisontaalseisu, viseeritakse vaadatava objekti peale kruvide K ja F abil, alidaadi A_I pöörates. Kui niitide rist kattub täpselt, siis saadakse limbi jaotuselt vastavad vaatluse kraadid ja kolmandik-kraadid. Täpsem vaatlus tehakse mikroskoobi abil: Mikroskoopi M_I vaadates juhitakse kruvi S abil vernjeeri indeks täpselt ühte limbi lähema eelseisva pügalaga; tehtud pöörde suurus määratakse kruvi S peal oleva jaotuse järele. Saadud arv minuteid ja sekundeid liidetakse limbilt saadud arvuga.

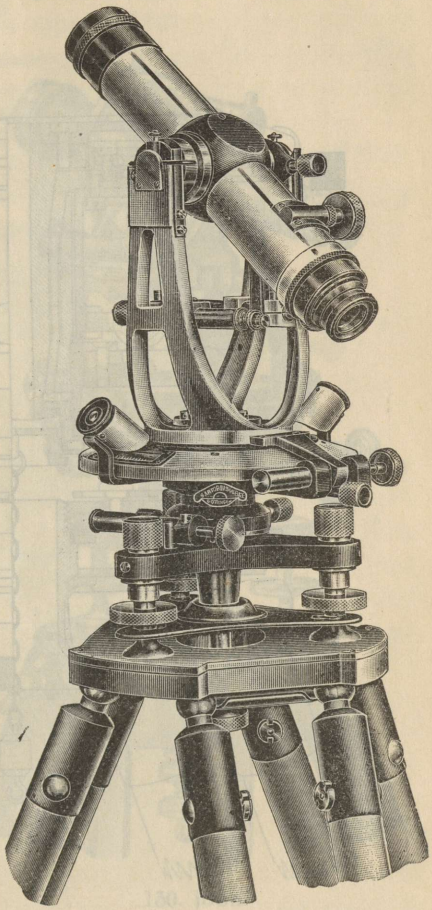
128. joonis kujutab väikest teodoliiti ilma vertikaalrattata ja kinnise limbiga, mis kannab mittekordava ehk kinnise teodoliidi nime. See teodoliit on kohane ehituskruntide planeerimisel, vähemate põllu- ning metsaosade mõõtmisel ja üldse vähema tähtsusega maamõõdutööde läbiviimisel lausikmaal. Nimetatud aparaat vastab küllaldaselt meie metsatööde nõuetele, ja tema lihtsa ehitusviisi tõttu võivad teda ka metsnikud kasutada. Aparaadi täpsus on 1′. Limbi läbimõõt — 12 sm, pikksilma suurendus 20 korda ja hind umbes 350 krooni.

Suuremate polügoonkäikude mõõtmiseks tasapinnalisel maal on kohasem tarvitada kordavat (repetitsioon-)teodoliiti,

s. o. aparaati liikuva limbiga, mis on kujutatud 129. joonisel. Sama aparaadi vertikaal-lõige on näha 129. a joonisel. Nimetatud aparaadil on limb kaetud, mis võimaldab töötamist vähese



128. joon.

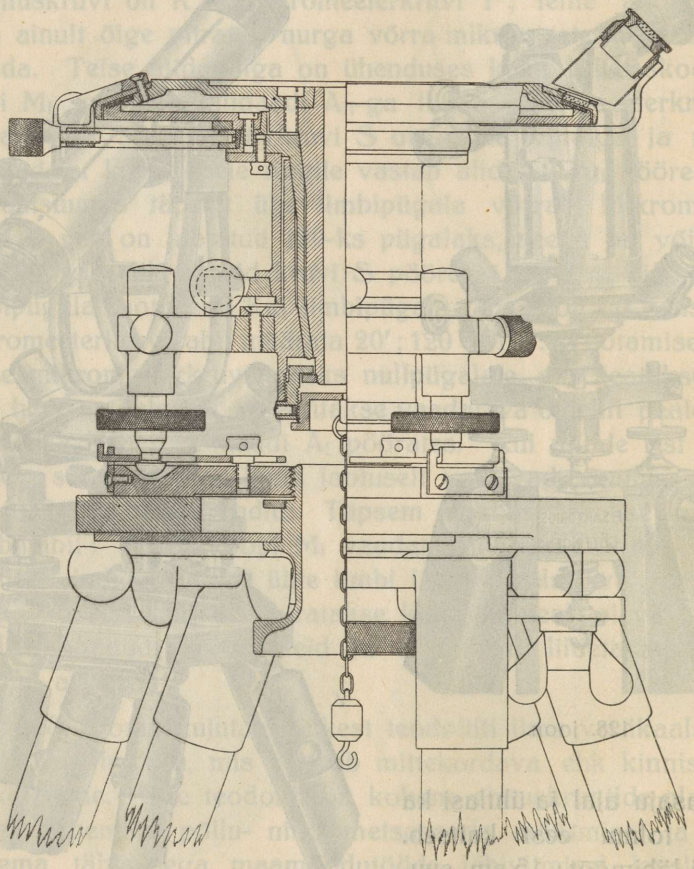


129. joon.

vihmasaju ajal ja ühtlasi ka limbi tolmu eest kaitseb. Limbi läbimõõt: 15 sm, suurendus: 20 korda. Aparaat on umbes 25% võrra kallim eelmisest. Nagu allpool näeme, on kordava teodoliidiga sisemise situatsiooni mõõtmine märksa hõlpsam kui liht-teodoliidiga. Aparaadi täpsus on kas 30″ või 1′. Pikksilma kremaljeerkruvi abil liigub ainult objektiivi osa, kuna okulaari-

toru pikkus ei muutu, mille tõttu parallaksi vigade võimalus on rohkem piiratud.

130. joonisel on kujutatud kordav teodoliit ühes vertikaalrattaga. See aparaat on kohane töötamiseks künklisel maal.

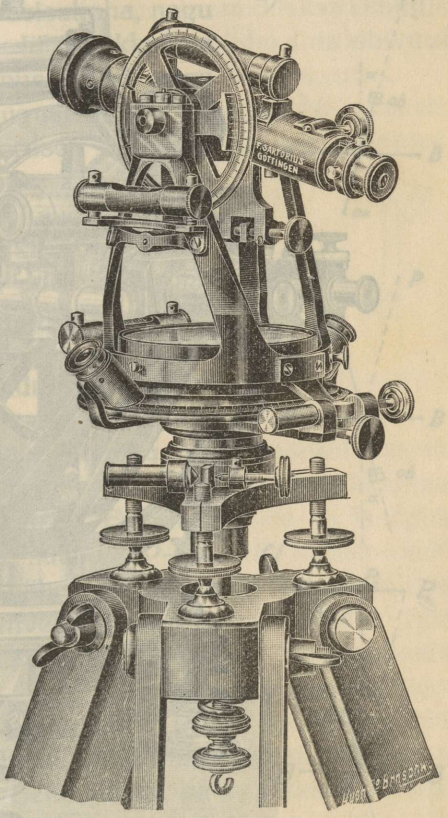


129.-a joon.

Teodoliidi pikksilma külge kinnitatud vesikaal võimaldab ka vähemate loodimistööde tegemist.

131. joonisel on kujutatud universaalteodoliit, mille hind on praegu ligikaudu 5000 krooni. Nimetatud aparaati tarvita-

takse täpsemate triangulatsioontööde juures. Selle aparaadi abil on võimalik teostada ka mitmesuguseid astronoomilisi uurimisi; näiteks: koha määramine tähtede järele. Limbi läbimõõt — 55 sm; limbi jaotuse täpsus: 4′. Vaatluste täpsus vernjeeridel mikroskoopide abil, mis vertikaal- ja horisontaalratastel asuvad, on 2″. Mõlemad limbid on kaetud. Joonisel nähtav jaotus on väline jaotus ligikaudseks orienteerimiseks (nullpunkti leidmiseks).



130. joon.

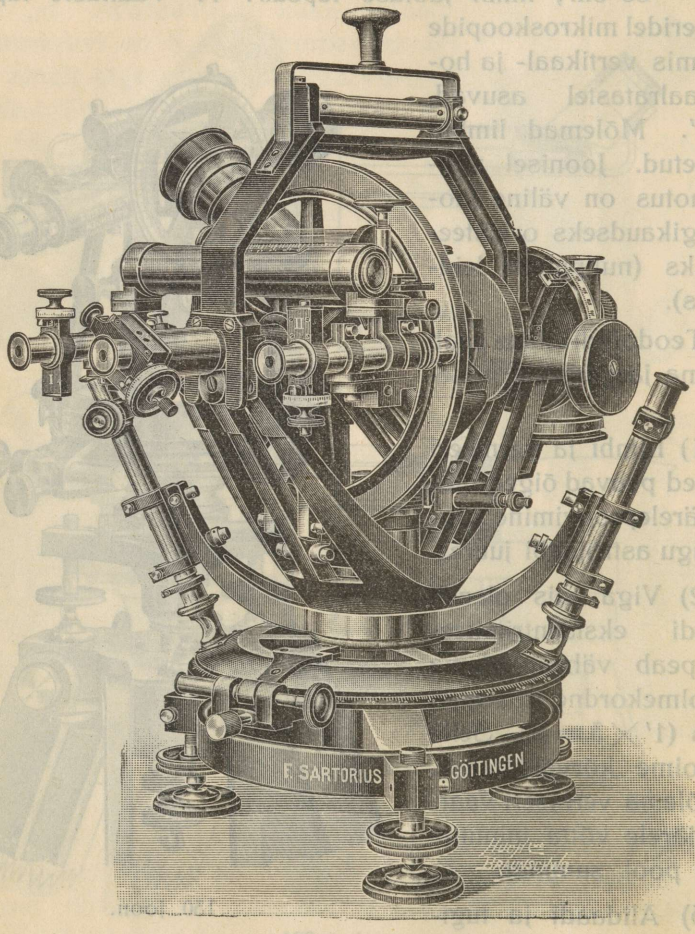
Teodoliidi ehitus peab vastama järgmistele nõuetele:

1) Limbi ja vernjeeri jaotused peavad õiged olema. Järeleproovimine sünnib nagu astrolaabi juures.

2) Viga, mis oleneb alidaadi ekstsentritsiteedist, peab vähem olema kui kolmekordne aparaadi täpsus ($1' \times 3 = 3'$). Selle vea toime kõrvaldatakse, kui mõlema vernjeeri vaatluste järele võtta minutite arvust pool summat.

3) Alidaadi ja tugipostide külge kinnitatud silindervesikaalude teljed (direktrissid) peavad teodoliidi vertikaalpöördeteljele perpendikulaarselt seisma. Ümmarguse vesikaalu telg peab vertikaalpöördeteljega paralleelne olema. Ettetulevad vead parandatakse vesikaalu paranduskruvide abil. (Proovimine alidaadi 180° võrra käänamisel.)

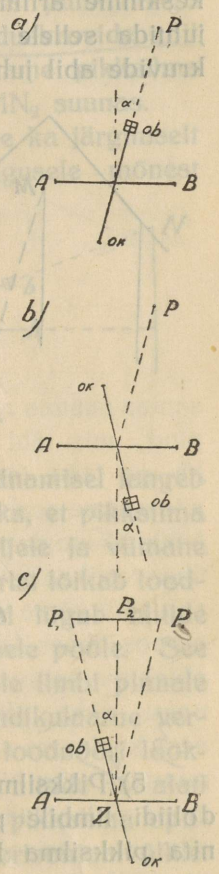
4) Pikksilma kollimatsioonipind peab horisontaalteljele perpendikulaarselt seisma. Vastasel korral sünnib nõndanimetatud teodoliidi kollimatsiooniviga ehk õigemini teodoliidi



131. joon.

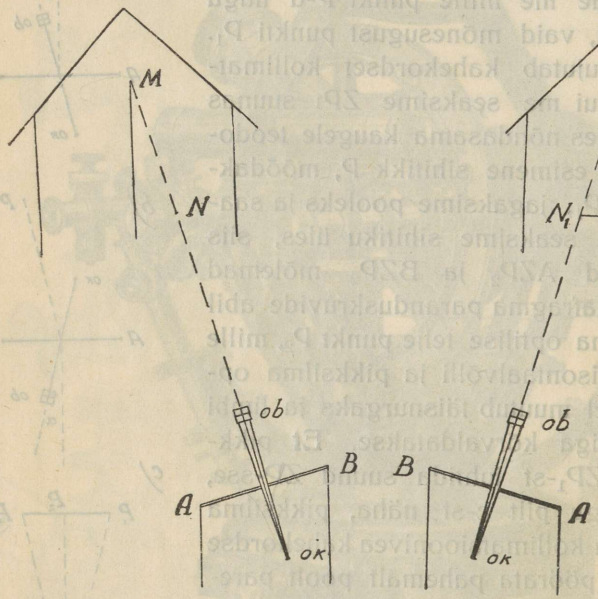
horisontaalvõlli kollimatsiooniviga. Selle vea suuruse võime järgmiselt kindlaks teha: Juhime teodoliidi pikksilma umbes 200 meetri kaugusel seisva punkti P (mõne sihitiku) peale ja teeme vaatluse vernjeeri järele (132. joon. pilt a); siis kääname

pikksilma üle seniidi. Kui pikksilma optiline telg ei ole perpendikulaarne horisontaalpöördeteljele, siis sünnitavad käänamisel nii okulaari kui objektiivi osad koonuse pinnad ja pikksilm võtab seisukoha, nagu pildil b kujutatud. Nüüd käänname alidaadi horisontaalpinnas täpselt 180° võrra, — siis võtab pikksilm seisukoha, nagu see pildil c ette nähtud, ja läbi pikksilma vaadates ei näe me mitte punkt P-d nagu esimesel korral, vaid mõnesugust punkti P_1. Nurk P_1ZP kujutab kahekordset kollimatsiooniviga. Kui me seaksime ZP_1 suunas teise sihitiku üles nõndasama kaugele teodoliidist, kui oli esimene sihitikk P, mõõdaksime joone PP_1, jagaksime pooleks ja saadud punkti P_2 seaksime sihitiku üles, siis oleksid nurgad AZP_2 ja BZP_2 mõlemad täisnurgad. Diafragma paranduskruvide abil juhime pikksilma optilise telje punkt P_2, mille järele nurk horisontaalvõlli ja pikksilma optilise telje vahel muutub täisnurgaks ja limbi kollimatsiooniviga kõrvaldatakse. Et pikksilma suund ZP_1-st juhtida suund ZP-sse, tuleb meil, nagu pilt c-st näha, pikksilma ühes alidaadiga kollimatsioonivea kahekordse suuruse võrra pöörata pahemalt poolt paremale (käesoleval juhtumil). See tähendab, kui mõlema vaatluse juures ainult punkt P-le vaadata, siis sisaldab vaatluste vahe kahekordset kollimatsiooniviga. Selle põhjal parandatakse harilikult pikksilma kollimatsiooniviga järgmiselt: pikksilma niitide rist juhitakse mõnele kaugel olevale asjale, limb kinnitatakse aluse külge ja tähendatakse vernjeeri järele vaatlus üles. Siis tuleb pikksilma üle seniidi ja alidaadi 180° võrra käänata, nii et võimalus oleks uuesti endisse punkti vaadata, ja kui kraadide ja minutite vahe vernjeeride järele on täpselt 180°, siis on tingimus täidetud. On aga kahe vaatluse



132. joon.

juures tekkinud vahe n minutit, siis on n kahekordne kollimatsiooniviga, mida võib parandada, diafragmat ühes niidivõrguga paranduskruvide abil pool maad või kollimatsioonivea võrra tagasi kruvides. Kõige lihtsam on võtta vaatlustest keskmine aritmeetiline, mikromeeterkruvi abil alidaadi indeks juhtida sellele arvule ja siis diafragmaniitide rist paranduskruvide abil juhtida punkt P-sse.

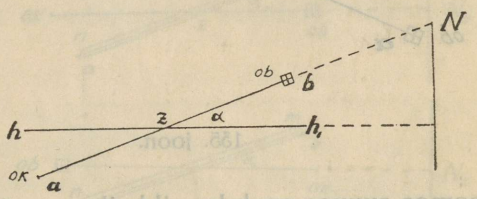


133. joon.

5) Pikksilma käänamise horisontaalvõll peab olema teodoliidi limbile paralleelne. Ei ole ta seda mitte, siis ei sünnita pikksilma kollimatsioonipind, pikksilma ringi käänates, mitte vertikaal-, vaid kaldpinna. See viga selgub, kui pikksilmaga viseerida maja seinale mõne kõrge asja pihta ja siis pikksilmatoru alla käänates selle kõrge punkti M alust tähistada punkt N-ga. Kui selle vaatluse juures horisontaalvõlli parempoolne tots oli kõrgemal kui pahempoolne, siis satub seejuures, nagu näha 133. joon., ka punkt N vertikaaljoonest paremale poole. Pikksilma üle seniidi käänates ja alidaadi 180°

võrra pöörates, satub horisontaaltelje kõrgem ots B pahemale poole. Nüüd uuesti punkt M-u viseerides ja pikksilma sellelt punktilt allapoole juhtides leiame, et niitide rist end mitte ei projekti punkt N-u, vaid kuhugi mujale — punkt N_1-sse. Joon N_1N-u pooleks jagades saame punkt N_2, mis punkt M-ga asub ühel vertikaaljoonel. Tugipostide paranduskruvide abil horisontaalvõlli B otsa madalamale lastes saame pikksilma seisukoha, kusjuures kollimatsioonipind asub MN_2 suunas.

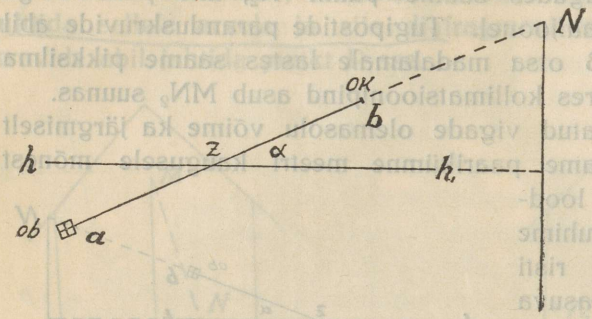
Ülemalnimetatud vigade olemasolu võime ka järgmiselt tõendada. Riputame paarikümne meetri kaugusele mõnest kõrgemast kohast loodnööri alla ja juhime pikksilma niitide risti selle loodjoones asuva nööri keskkõrgusel ühte. Nüüd, pikksilma üles- ja allapoole pöörates, võib esineda kolm juhtumit: a) Niitide rist pikksilma üles- ja allakäänamisel langeb kogu ulatuses loodnööriga ühte; see on tunnuseks, et pikksilma optiline telg on perpendikulaarne horisontaalteljele ja viimane paralleelne limbi pinnale. b) Pikksilma niitide rist lõikab loodnööri sirgjooneliselt, s. o. ülespoolekäänamisel liigub niitide rist ühele poole nööri, allakäänamisel aga teisele poole. See asjaolu on tunnuseks, et horisontaaltelg ei ole limbi pinnale paralleelne, s. o. horisontaaltelg ei ole perpendikulaarne vertikaalvõllile. c) Pikksilma niitide rist lõikab loodnööri lookjooneliselt — üles- ja allapoolekäänamisel jääb niitide rist alati ühele poole nööri. Säärane viga sünnib, kui pikksilma optiline telg ei ole perpendikulaarne teodoliidi horisontaalvõllile.



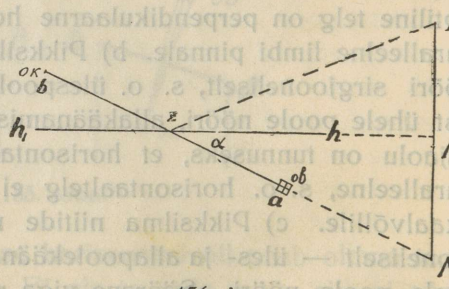
134. joon.

6) Vertikaalratta või vertikaallimbi suhtes on nõudmine, et vertikaal-limbide nullide diameeter langeks ühte vernjeeri nullidega juhtumil, kui pikksilma optiline telg on horisontaalses seisus ja seejuures horisontaallimb tõstekruvide abil horisontaalsesse seisu seatud. Juhtumil, kui vertikaalratas liigub, kuid selle vernjeer liikumatute tugipostidega ühendatud, peab vertikaalratta vernjeerinullide diameeter horisontaallimbi pin-

nale paralleelne olema ja ühtlasi ka vertikaalratta nullide diameeter paralleelne pikksilma optilisele teljele. Peatingimuseks jääb aga: — vertikaalratta limbi ja vernjeeri nullpügalate ühtelangemisel peab pikksilma optiline telg asuma horisontaalseisus. Selle tingimuse mittetäitmisest olenev viga selgub järgmiselt: Kujutame, et limbi horisontaalpinnaks on meil hh_1; vertikaalratta vernjeer asub suund ab-s; oletame, et sessamas suunas asub ka pikksilma optiline telg. Horisontaalpind, mis läbi vertikaalratta sentri juhitud, on märgitud joon hh_1-ga (134. joon.). Kui pikksilma kaudu vaatlust teha latile, siis saame sealt arv N-u. Nüüd kääname pikksilma ühes vertikaalrattaga täpselt 180° võrra vertikaalpinnas ümber. Okulaar ja objektiiv satuvad seisu, nagu näha 135. joonisest, kusjuures nurk jääb muutumatuks. Nüüd kääname alidaadi ühes pikksilmaga horisontaalpinnas 180° võrra,— pikksilma optiline telg võtab siis suuna latil olevale punktile N_1 (136. joon.). Joon NN_1 pooleks jagades saame punkt N_2, mis vertikaalratta sentriga sünnitab horisontaalse joone zN_2.



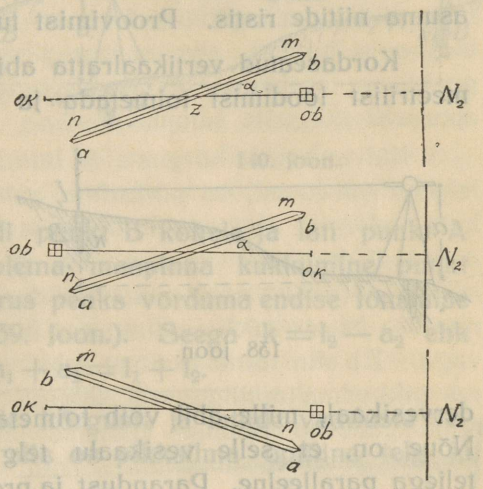
135. joon.



136. joon.

Vea paranduseks tuleks meil mikromeeterkruvi abil optiline telg punkt N_2-le juhtida ja siis paranduskruvide abil vernjeeri seisu nõnda muuta, et vernjeeri nullid langeksid vertikaalratta nullidega ühte. Tihti puuduvad vernjeeri alidaadil

paranduskruvid; säärasel korral tuleb parandust teha optilise telje ümberasetamisega diafragma paranduskruvide abil, optilist telge nende kruvidega punkt N_1-st punkt N_2-e juhtides. Järgmisel proovimisel näeme siis (137. joon.): vernjeeri ab ja limbi mn nullide diameeter on ühes ab suunas, optiline telg zN_2 suunas. Pikksilma vertikaalpinnas täpselt 180° võrra käänates oleks aparaadi seis nagu teisel joonisel. Siis edasi alidaadi 180° võrra horisontaalpinnas käänates juhime optilise telje endist viisi punkt N_2-e.



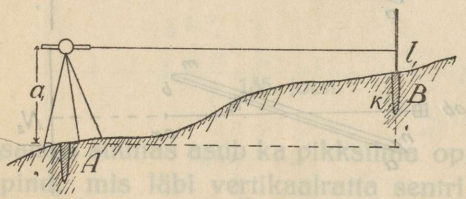
137. joon.

Tuleb alaliselt meeles pidada, et vertikaalnurkade mõõtmisel horisontaallimb tegelikult asuks täpselt horisontaalselt. Ainult juhtumil, kui vertikaalratta alidaadi küljes asub silindervesikaal ja alidaad iseseisva mikromeeterpöördekruviga varustatud, ei ole tarvilik panna erilist rõhku limbi horisontaalseisule. Seejuures on nõuded, et vertikaalratta alidaadi nullide diameeter oleks paralleelne sama alidaadiga ühenduses oleva silindervesikaalu teljele.

Proovimine: Vertikaalratta ja vernjeeri nullide ühtelangemisel peab optiline telg olema horisontaalne, vertikaalalidaadi mikromeeterkruviga seame silindervesikaalu vulli keskkohta, juhime alidaadi ja vertikaalratta nullid ühte ja teeme vaatluse latile, kääname pikksilma vertikaalpinnas täpselt 180° võrra, siis aparaati horisontaalpinnas 180° võrra ja teeme uue vaatluse latile. Kui saame endisega ühesuguse vaatluse, siis on vertikaalratta alidaad ja silindervesikaalude teljed parralleelsed. Läheb aga uus vaatlus endisest lahku, siis tuleb võtta keskmine aritmeetiline kahest vaatlusest, sellele juhtida pikksilma

optiline telg vertikaalratta mikromeeterkruvi abil, mille tagajärjel alidaadi indeks vertikaalratta nullist kõrvale kaldub. Juhime vertikaalratta alidaadi mikromeeterkruviga nullid uuesti ühte. Nüüd läheb aga alidaadi küljes oleva silindervesikaalu vull kohalt ära. Lõpuks parandame vesikaalu seisu vastavate paranduskruvide abil nõnda, et ta uuesti keskkohal asuks, seejuures peavad vertikaalratta nullid ühte langema ja pikksilma kaudu latilt saadud vaatluste keskmine aritmeetiline asuma niitide ristis. Proovimist tuleb paar korda korrata.

Kordaseatud vertikaalratta abil võime teodoliidiga tahhimeetrilist loodimist toimetada ja ühtlasi ka kaugusi mõõta, kui kaugel oleva lati pikkus on teada. Muidugi oleneb siinjuures töö täpsus vertikaalratta jaotuse täpsusest.



138. joon.

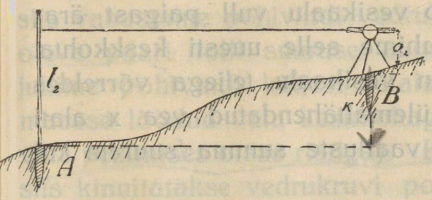
Tihti on pikksilma küljes liikumata kinnitatud kaunis tundlik silindervesikaal, mille abil võib toimetada geomeetrilist loodimist. Nõue on, et selle vesikaalu telg oleks pikksilma optilise teljega paralleelne. Parandust ja proovimist võib siin ette võtta ainult peale eelpoolkirjeldatud vertikaalratta ja selle alidaadi seisukoha õiendamist.

Seame v. r. alidaadi nulli vertikaalratta nulliga ühte. Kui seejuures pikksilma küljes oleva vesikaalu vull asub keskpaigas, on nõue täidetud. Harilikult on ta aga kõrvale kaldunud pikksilmaga ühenduses oleva vesikaalu erilise tundlikkuse tõttu. Vesikaalu ja pikksilma optilise telje paralleelsust on kõige õigem nõnda proovida, nagu me seda kinniste nivelliiride juures teeme. Taome punkt A- ja B-sse, mis asuvad teineteisest 50—80 sammu kaugusel, kaks pulka maapinnaga tasa (138. joon.). Punkt A kohale kõrva seame teodoliidi punkt B kohta lati. Seame pikksilma küljes oleva vesikaalu horisontaalseisu ja teeme vaatluse optilise telje või niitide risti kaudu; saame latilt vaatluse l_1. Aparaadi optilise telje

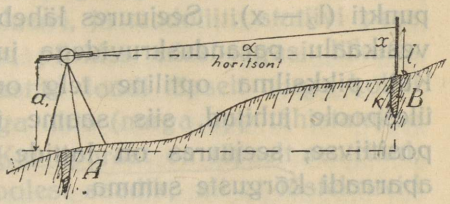
kõrgus punkt A kohal (okulaari-august kuni maasse taotud pulgani) latiga mõõtes on a_1.

Juhtumil, kui pikksilma optiline telg ja vesikaalu telg oleksid paralleelsed, oleks maapinna tõus punkt A-st punkt B-sse

$$k = a_1 - l.$$



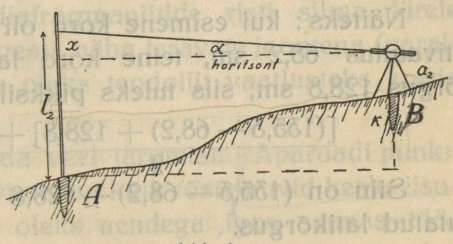
139. joon.



140. joon.

Nüüd seame teodoliidi punkt B kohale ja lati punkt A kohale. Punkt B peab olema maapinna kukkumine punkt A-sse, mille absoluutne suurus peaks võrduma endise tõusmise absoluutse suurusega k (139. joon.). Seega $k = l_2 - a_2$ ehk $k = a_1 - l_1 = l_2 - a_2$, ehk $a_1 + a_2 = l_1 + l_2$.

Kui saadud aparaatide kõrguste ja lattide vaatluste vahel on säärane vahekord, siis on pikksilma optiline telg ja vesikaalu telg omavahel paralleelsed. Kui nad ei oleks paralleelsed, vaid sünnitaksid omavahel nurga α, mis lativaatluses sünnitab vea, siis oleks aparaadi seisukohas punkt A-s: $k = a_1 + x - l_1$ (140. joon.) aparaadi seisukohas punkt B (141. joon.) $k = l_2 - x - a_2$, sest nurk α ja ühes seega ka viga x on endiseks jäänud.



141. joon.

Kahest eelmisest valemist saame

$$a_1 + 2x - l_1 - l_2 + a_2 = 0,$$

$$\text{kust } x = \frac{(l_1 + l_2) - (a_1 + a_2)}{2}.$$

Pikksilma horisontaalseisule vastab kõrgus $l_2 - x = l_2 - \frac{(l_1 + l_2) - (a_1 + a_2)}{2} = \frac{l_2 + [(a_1 - l_1) + a_2]}{2}$, s. o. keskmine aritmeetiline saadud latikõrguse ja eelmise vaatluse järele arvutatud latikõrguse vahel.

Kui viga x on teada, siis juhime pikksilma optilise telje punkti $(l_2 - x)$. Seejuures läheb vesikaalu vull paigast ära; vesikaalu paranduskruvidega juhime selle uuesti keskkohta. Kui pikksilma optiline telg on vesikaalu teljega võrreldes ülespoole juhitud, siis saame ülemaltähendatud vea x alati positiivse, seejuures on lattide vaatluste summa suurem kui aparaadi kõrguste summa.

Kui aparaadi kõrguste ja lattide vaatluste summad teineteisega võrduvad, on pikksilma optiline telg paralleelne vesikaalu teljega. Kui aga lattide vaatluste summa on vähem kui aparaadi kõrguste summa, siis on pikksilma telg vesikaalu teljega võrreldes allapoole juhitud, viga x on negatiivne. Paranduse juures tuleb vea suurus liita lativaatlusel saadud arvuga. Et siin mitte eksitust teha, on soovitav paranduse juures pikksilma optiline telg juhtida viimasel vaatlusel saadud latikõrguse ja eelmise vaatluse järele arvutatud latikõrguse keskmisele aritmeetilisele.

Näiteks: kui esimene kord oli teodoliidi kõrgus 135,3 sm, lativaatlus 68,2 sm, teine kord latilt 204,5 sm ja aparaadi kõrgus 128,8 sm, siis tuleks pikksilma telg juhtida

$$\frac{[(135{,}3 - 68{,}2) + 128{,}8] + 204{,}5}{2} = 200{,}2 \text{ sm-le.}$$

Siin on $(135{,}3 - 68{,}2) + 128{,}8$ eelmise vaatluse järele arvutatud latikõrgus.

Töötamine teodoliidiga.

Üks põhimõte geodeesia alal on täpsus, mis iga üksiku töö juures olgu iga selle töö osa kohta enam-vähem ühesugune. Ei oleks mingisugust mõtet, kui me joonte pikkusi ligikaudselt mõõdaksime ja nurki õige suure täpsusega. Seepärast tuleb ka teodoliidiga nurkade mõõtmisel joonte pikkusi teraslindiga

mõõta (mitte ketiga), mille juures iga joon peab kaks korda mõõdetama, ja kui mõõtmiste vahe lubatav $\left(\frac{1}{2000}\right)$, siis tuleb kahest mõõdust võtta keskmine aritmeetiline.

Nurkade eneste mõõtmine sünnib järgmiselt: asume teodoliidiga punkt A-sse. Sentrime esialgu ligikaudselt statiivi abil, siis vabastame põhivindi vedrukruvi, ja teodoliiti statiivi peas oleva paari tolli suuruse augu piirides edasi-tagasi lükates juhime põhivindi küljest allalastud loodi täpselt nurga kohal maasse löödud vaia keskkohaga ühte (nurga tipp tähistatakse vaia pealmises otsas ristiga). Kui aparaat on täpselt sentritud, siis kinnitatakse vedrukruvi poolest saadik, nii et tõstekruvid horisontaalseisu seadmiseks veel küllalt vabalt liikuda annaksid. Nüüd seame teodoliidi alidaadi nõnda, et üks vesikaal oleks paralleelne kahe tõstekruvi ühendavale joonele ja teine vesikaal asuks perpendikulaarselt sellele joonele kolmanda tõstekruvi suunas. Esimese kahe tõstekruvi abil, nendega korraga töötades, juhime esimese vesikaalu vulli keskkohta, ja pärast kolmanda tõstekruvi abil juhime teise vesikaalu horisontaalseisu; seega on meil aparaadi limb horisontaalseks muutunud. Nüüd kinnitame põhivindi vedrukruvi lõplikult. Selle järele seame pikksilma otsa vastu taevast juhtides ja okulaari viimast osa edasi-tagasi lükates diafragmaniitide risti silma järele nõnda, et niidid oleksid selgesti näha teravate joontena (paralaksi kõrvaldamine). Seega oleks teodoliit vaatlusteks korda seatud.

Siin tuleb meeles pidada veel järgmist. 1) Aparaadi punkti kohale ülesseadmisel on tarvis enne kõik tõstekruvid keskseisukohale kruvida, et võimalus oleks nendega igas suunas töötada; 2) aparaadi statiivi pea keskkohale juhtida, et võimalus oleks aparaati igas suunas sentrimisel edasi nihutada.

Statiivi ülesseadmisel lastakse üks statiivi haru nõrgalt maasse; üht vabadest harudest pahemas, teist paremas käes hoides, laseb maamõõtja need harud ettevaatlikult sedamööda maha, et aparaat jääks silma järele enam-vähem horisontaalseks ja et seejuures ühtlasi ka lood nurga tipuga ühte langeks. Siis vajutatakse järgemööda kõik statiivi jalad ühetaoliselt

sügavamale maasse; järskusid lööke teha jalaga statiivi nurkade külge ei ole lubatav. Alidaadi ja limbi kinnituskruvid peab alguses kinni kruvitama.

Vaatluste juures vabastatakse alidaadi kinnituskruvi ja juhitakse teodoliidi pikksilm pealtpoolt toru suunas vaadates paremat kätt olevale asjale (endisse punkti — sinna, kust me tulime); siis läbi pikksilma vaadates, kremaljeerkruvist okulaartoru edasi-tagasi lükates seatakse rist nii, et pilt oleks selge ja parallaks kõrvaldatud. Siin kinnitatakse alidaadi kinnituskruvi, ja alidaadi mikromeeterkruvi abil juhitakse vaadeldav asi täpselt niitide risti keskkohale. Kui vaadeldav asi on vai või nurgakepp, siis tuleb niitide rist võimalust mööda vaia või kepi maapinnale lähema otsaga ühte juhtida (et kõrvaldada viga, mis võiks tekkida kepi mittevertikaalsusest). Kui nurgakepi pealmine ots on 3 cm võrra vertikaalsuunast kõrvale sattunud, siis 100 m pikkuse maa tagant teodoliidiga kepi pealmist otsa vaadeldes saame $1^1/_2$ minuti suuruse vea. — Umbes nõndasama suur viga tekib, kui meil 100 m pikkuse maa kohta aparaat on 3 sm võrra nurga tipust kõrvale üles seatud. Vähemate polügooni külgede juures on viga märksa suurem, kuna üle km pikkuste joonte juures nii kepi kui ka aparaadi sentrimine juba vähem vea suurusesse mõjub.

Paremat kätt oleva asja vaatlusel tähendatakse mõlema vernjeeri andmed, vernjeer I järele kraadid ja minutid, vernjeer II järele ainult minutid.

Ka on soovitav, et paremat kätt oleva asja vaatlemisel eelmise joone tagantrumb või asimuut üles tähendataks. Peale selle vabastatakse alidaadi kinnituskruvi ja alidaadi kellanäitaja suunas käänates juhitakse pikksilm (jällegi enne torult vaadates) pahemat kätt oleva punkti peale, s. o. järgmise punkti ehk selle punkti poole, kuhu tuleb minna, silmas pidades, et polügooni mõõtmisel alati säärases suunas tuleb liikuda, et polügoon asuks ikka paremat kätt. Tehakse jälle mõlemate vernjeeride järele vaatlused, meeles pidades, et kraadid tulevad tähistada tingimata sellesama vernjeeri järele kui eelmiselgi korral. Ühtlasi tähendatakse bussooli järele ka alloleva joone rumb või asimuut. Nüüd tehakse veel vaatlused polügooni

keskel asuvaile toetuspunktidele ja siis lõpuks veel uuesti paremat kätt olevale punktile, et näha, kas ehk limb on paigast liikunud. Sellega oleks esimese vaatluse tsükkel lõpetatud.

Paremat kätt oleva punkti vaatlusest saadud arvust lahutades pahemat kätt asuva punkti vaatlusel saadud arvu, juhtumil, kui limbi jaotus läheb pahemalt poolt paremale poole, saame otsitava sisenurga suuruse. Kui paremat kätt oleva punkti vaatluse arv on pahemat kätt oleva punkti vaatluse arvust vähem, tuleb enne lahutamist 360° liita esimese vaatluse arvuga.

Saadud nurga suurus võib iga kollimatsioonivea tõttu mitte küllalt täpne olla iseäranis mägisel maal. Sellepärast korratakse vaatlust, pikksilma vertikaalpinnas 180° võrra (üle seniidi) käänates. Ühtlasi vabastatakse seejuures ka limb ja käänatakse teda umbes 90° võrra, lootes, et kui mõni limbiosa ei ole mitte küllalt täpne, siis uus vaatlus toimetatakse limbi teise osa järele. Ka on limbi ümberkäänamisel see mõte, et uued vaatlused sisaldavad teisi arvusid, muidu võib kergesti juhtuda, et vaataja, kord ühes arvus eksides, uue vaatluse juures teeb täpselt sellesama endise vea, jättes näiteks 30 minutit arvesse võtmata.

Kui esimese rea vaatluste juures vertikaalratas asus paremat kätt, siis asub ta nüüd pahemat kätt. Uus rida vaatlusi sünnib samas järjekorras nagu esimeselgi real.

Vaatlused kantakse päevikusse.

Päeviku vorm on näha järgmisel leheküljel.

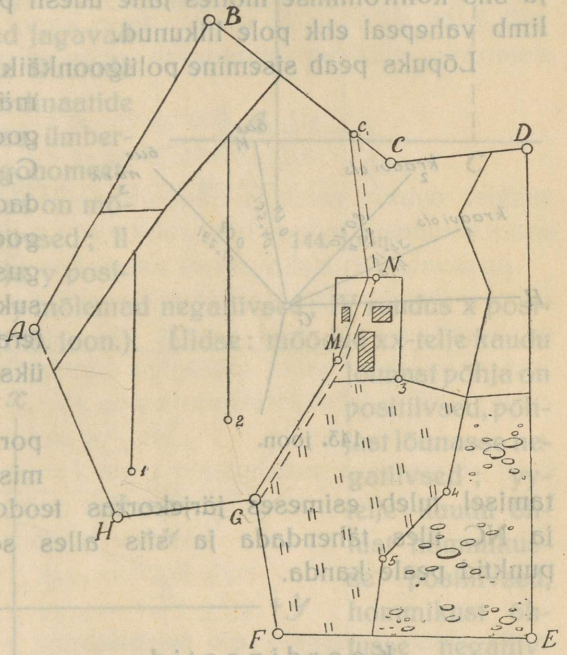
Tööde ajal võib rumbide järele arvutatud sisenurki võrrelda teodoliidi limbilt saadud sisenurkadega, kuid säärane võrdlus siin, iseäranis kordavate teodoliitide juures, on vähema tähtsusega, kui see oli astrolaabitöö juures.

Viga nurkades lageda lahtise maastiku juures ei pea suurem olema kui 1,5 . t. $\sqrt{n}$, kusjuures t on aparaadi täpsus minutites ja n on nurkade arv.

Teodoliidi abil võib ka sisemist situatsiooni üles võtta. Selleks võib vaatlusviisi lihtsustada: üle seniidi pöörata ei ole tarvis, niisama võib vaatlus sündida ainult ühe vernjeeri järele. Iseäranis kohane on siin säärane kordav teodoliit, mille oku-

NURGAD							JOONED						
Aparaadi seisukoha Nr. Nr.	Vaadeldavate punktide Nr. Nr. või nimetused	Vaatlused A/B			Sisenurk, kraadid ja min.	Keskmine sisenurk vaatluste A ja B järele	Joonte nimetus (mis punktist mis punktini)	Joonte rumbid või asimuudid	Joonte pikkus		Joonte kalle	Märkused	Abriss
		Vernjeer I kr. ja min.	Vern. II, min.	Keskmine, min.					I mõõtmine	II mõõtmine			
		Vert.r.	pr.	k.									
	7	81° 29′	29′	29′	263°47′		8⟶7	SO: 77°45′				50. m-il on kraav.	
8	9	177°42′	42′	42′									
	p. lipp	215°24′	24″	24′									
	7	81°29′				263°47′15″							
		V. r. p.	k.				8⟶9	SW: 18°15′	158,65	158,70	0.—	88. m-il lõpeb põld, algab heinamaa	
	7	261°43′	42′	42′30″	263°47′30″								
8	9	357°55′	55′	55′									
	p. lipp	225°37′	36′	36′30″									
	7	261°43′											

laari diafragmas kaugusemõõtja niidid üles seatud. Näiteks oli meil polügoon A—H piir üles võetud (142. joon.) täpselt kahe rea vaatlustega. Asume punkt G-sse, sentrime siin aparaadi, juhime limbi nulli ja vernjeeri nullid ühte, kinnitades alidaadi kinnituskruvi ja limbi kinnituskruvi vabastades juhime pikksilma punkt H-le, enne ligikaudselt, siis täpselt limbi mikromeeterkruvi abil. Nüüd kinnitame limbi ja vabastame alidaadi ning teeme vaatlusi kõigile ümberkaudu olevaile punktidele, limbilt vernjeer I abil, oisekohe nurga suurust võetud punkti ja joon HG vahel lugedes ja ühtlasi kaugusemõõtja niitide abil vaadeldavate asjade kaugust punkt G-st määrates. Selleks peab näiteks tööline latiga asuma esiti kraavi otsa punkt 1, siis 2, siis keset õue olevasse punkti M (kuhu tuleb teha järgmine teodoliidi seisak), siis 3, 4 jne., ja lõpuks punkt G-le kontrollimise mõttes. Kaugusemõõtja niitide abil määratav kaugus ei peaks küll üle 120 m ulatuma.



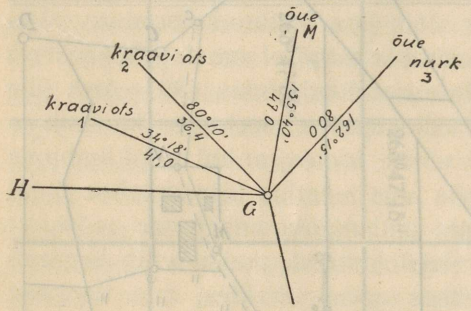
142. joon.

Saadud andmed võib iga teodoliidi seisukoha kohta eraldi üles tähendada, nagu 143. joon. näha. Peale selle tuleks ka pidada üldine terve polügoonisituatsiooni kohta käiv abriss (143. joon.).

Kui punkt G juures on kõik läheduses olevad asjad ära mõõdetud, mõõdetakse lindiga joon GM-u pikkus; asutakse

punkt M-u, sentritakse siin aparaat, juhitakse limbi null vernjeeri nulliga ühte, alidaadi kruvi kinnitades ja limbi kinnituskruvid vabastades, juhitakse kollimatsioonipind punkt G-sse (vernjeer I näitab seejuures 0). Nüüd algab peale limbi kinnitamist ja alidaadi vabastamist uus vaatluste rida: õues olevate hoonete nurgad, lähemal oleva aia nurgad, kraavi käänakud j. n. e. ja siis kontrollimise mõttes jälle uuesti punkt G, et näha, kas limb vahepeal ehk pole liikunud.

Lõpuks peab sisemine polügoonkäik lõppema kuskil enne määratud välise polügooni punktis, näit. punkt C_1-es. Tuleb meeles pidada, et sisemised polügooni küljed, s. o. kaugused iga teodoliidi seisukoha vahel, tulevad teraslindiga (võib ainult üks kord) mõõta.



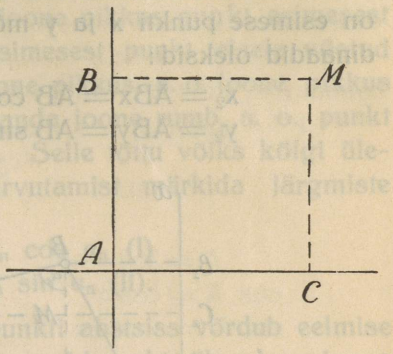
143. joon.

Pärast kodus transportiiri ja sirkli abil sisemiste kontuuride joonistamisel tuleb esimeses järjekorras teodoliidi käik GM—MN ja NC üles tähendada ja siis alles sellega seotud teised punktid peale kanda.

Koordinaatide arvutamine.

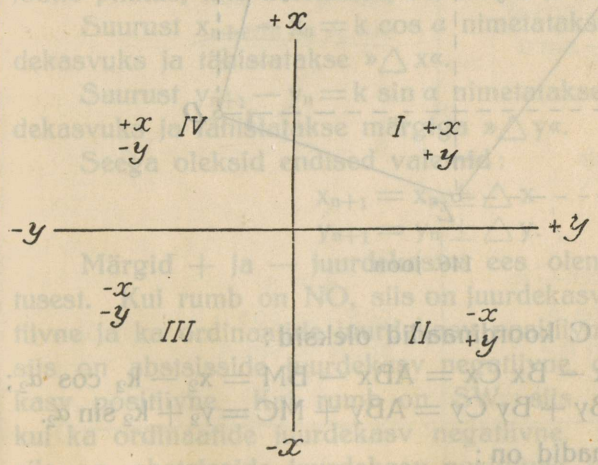
Punkti seisukoht tasapinnal määratakse kindlaks kahe perpendikulaari abil, mis koordinaatide nime kannavad. Näiteks punkt M seisukoht alguspunkt A-st oleks kindlaks tehtud (144. joon.), kui mõõta perpendikulaarid MB ja MC või neile vastava pikkusega jooned AB ja AC. Magistraaljoont, mida mööda mõõdetakse perpendikulaare või õigem — nende projektsioone, nimetatakse koordinaatide teljeks. Koordinaat-teljed on teineteisele perpendikulaarsed ja valitakse nii, et üks neist läheb põhjast lõunasse, teine õhtust hommikusse. Telge, mis läheb põhjast lõunasse, nimetatakse geodeesias xx-teljeks ehk abstsissteljeks. Telge,

mis läheb õhtust hommikusse, — yy-teljeks, ehk ordinaat-teljeks. Abstsissid ehk xx põhja pool yy-telge arvatakse positiivseteks, lõuna pool negatiivseteks. Ordinaadid ehk yy arvatakse hommiku pool xx-telge positiivseteks ja õhtu pool negatiivseteks.



144. joon.

Koordinaat-teljed jagavad tasapinna nelja ruutu. Ruutude järjekord, samuti koordinaatide nimetus on geodeesias ümberpööratud võrreldes trigonomeetria omadega. I ruudus on mõlemad: x ja y positiivsed; II ruudus x negatiivne ja y positiivne; III ruudus x ja y mõlemad negatiivsed; IV ruudus x positiivne, y negatiivne (145. joon.). Üldse: mõõdud xx-telje kaudu lõunast põhja on positiivsed, põhjast lõunasse negatiivsed; yy-telje kaudu õhtust hommikusse positiivsed, hommikust õhtusse negatiivsed. Keskpunkt Z-i nimetatakse koordinaatide alguspunktiks.

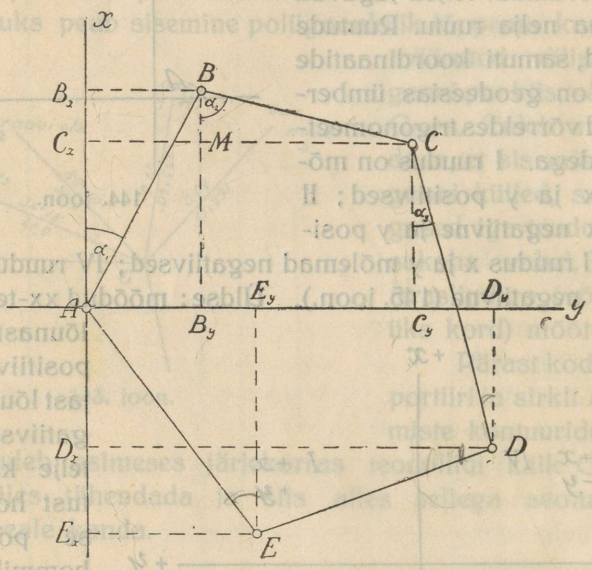


145. joon.

On meil polügoon ABCDE ja teada kõikide külgede pikkused $k_1k_2k_3k_4k_5$, niisama ka külgede rumbid $\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5$ (146. joon.), siis võib arvutada polügooni nurkade koordinaate. Ehitame esimesest punktist A läbi koordinaat-teljed xx_1 ja yy_1. Olgu tähendatud, et kui asimuudid ja rumbid on magnet-

asimuutideks arvatud, siis tuleb xx-telg võtta magnetmeridiaanina. On aga rumbid matemaatilised ehk tõelikud võetud, siis tuleb võtta ka matemaatiline meridiaan. Säärase telgede valimisega on esimese punkti x ja y mõlemad 0. Teise punkti B koordinaadid oleksid:

$$x_2 = ABx = AB \cos Bx\alpha\, AB = k_1 \cos \alpha_1;$$
$$y_2 = ABy = AB \sin ABBy = k_1 \sin \alpha_1.$$



146. joon.

Kolmanda punkti C koordinaadid oleksid:

$$x_3 = ACx = ABx - Bx\,Cx = ABx - BM = x_2 - k_2 \cos \alpha_2;$$
$$y_3 = ACy = ABy + By\,Cy = ABy + MC = y_2 + k_2 \sin \alpha_2.$$

Punkt D koordinaadid on:

$$x_4 = -ADx = Cx\,Dx - ACx = x_3 - k_3 \cos \alpha_3;$$
$$y_4 = ADy = ACy + Cy\,Dy = y_3 + k_3 \sin \alpha_3.$$

Viienda punkti E koordinaadid on:

$$x_5 = -AEx = x_4 - k_4 \cos \alpha_4;$$
$$y_5 = AEy = y_4 - k_4 \sin \alpha_4.$$

Kontrollimise mõttes:

$$x_1 = x_5 + k_5 \cos \alpha_5$$
$$y_1 = y_5 - k_5 \cos \alpha_5.$$

Tuletame meelde, et k_1 on joone pikkus punkt esimesest punkt teiseni, ja α_1 on punkt esimesest punkt teisele võetud suuna rumb. K_4 on neljanda joone pikkus, s. o. joone pikkus punkt IV ja V vahel; α_4 on neljanda joone rumb, s. o. punkt IV ja V vahel oleva joone rumb. Selle tõttu võiks kõigi ülemal ettetoodud koordinaatide arvutamist märkida järgmiste valemitena:

$$x_{n+1} = x_n \pm k_n \cos \alpha_n \text{ (I)}$$
$$y_{n+1} = y_n \pm k_n \sin \alpha_n \text{ (II)}.$$

I. Iga järgmise polügoonipunkti abstsiss võrdub eelmise punkti abstsissiga pluss või miinus neid punkte ühendava joone pikkus, mis korrutatud sellesama joone rumbi koosinusega.

II. Iga järgmise polügoonipunkti ordinaat võrdub eelmise punkti ordinaadiga pluss või miinus neid punkte ühendava joone pikkus, mis korrutatud sellesama joone rumbi siinusega.

Suurust $x_{n+1} - x_n = k \cos \alpha$ nimetatakse abstsisside juurdekasvuks ja tähistatakse »$\triangle x$«.

Suurust $y_{n+1} - y_n = k \sin \alpha$ nimetatakse ordinaatide juurdekasvuks ja tähistatakse märgiga »$\triangle y$«.

Seega oleksid endised valemid:

$$x_{n+1} = x_n \pm \triangle x$$
$$y_{n+1} = y_n \pm \triangle y.$$

Märgid + ja — juurdekasvu ees olenevad rumbi nimetusest. Kui rumb on NO, siis on juurdekasv abstsissidel positiivne ja ka ordinaatide juurdekasv positiivne. On rumb SO, siis on abstsisside juurdekasv negatiivne, ordinaatide juurdekasv positiivne. Kui rumb on SW, siis on nii abstsisside kui ka ordinaatide juurdekasv negatiivne. Kui rumb on NW, siis on abstsisside juurdekasv positiivne, ordinaatide juurdekasv negatiivne.

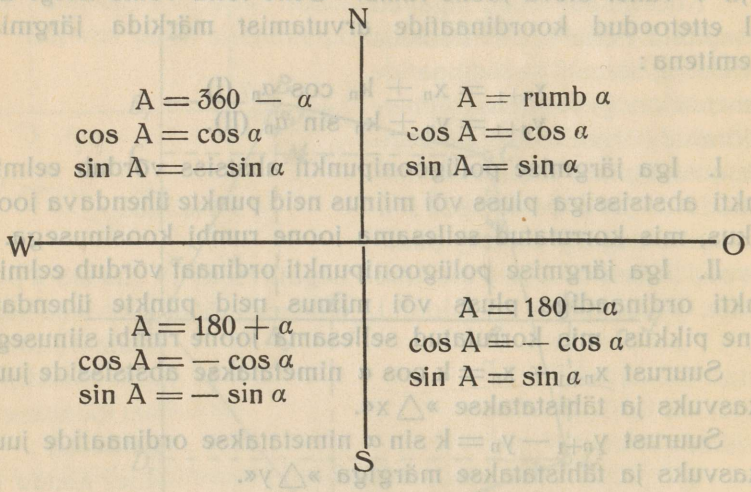
Kui juurdekasvu peale vaadata kui joone peale, siis on selle joone suurus positiivne, kui joon on juhitud lõunast põhja või õhtust hommikusse; joone suurus on negatiivne, kui joon on juhitud põhjast lõuna või hommikust õhtusse.

Kui rumbis on täht N siis $+\Delta x$
" " S " $-\Delta x$
" " O " $+\Delta y$
" " W " $-\Delta y$

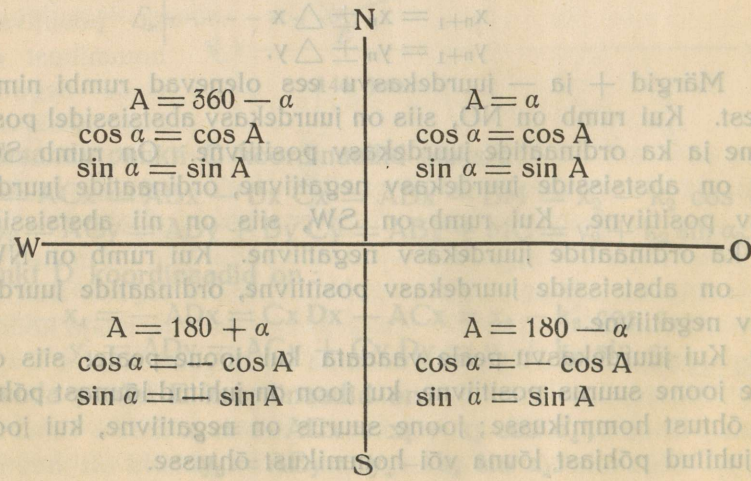
Kui koordinaatide juurdekasvu sihtide jaotust tähendada ka nelja ruuduna (kvadrandina) (147. joon.), siis näeme, et koordinaatide juurdekasvu märgid + ja — on ühesugused vastavates ruutudes olevate koordinaatide märkidega (147. joon.).

Rumbide asemele valemitesse I ja II võib panna joonte asimuudid, arvesse võttes asimuutide ja rumbide vahekorda.

A — asimuut, α — rumb



ehk ümberpööratult

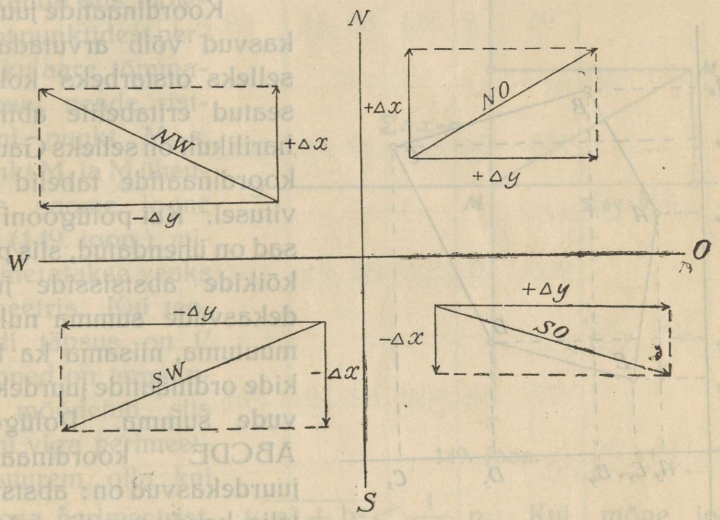


Pannes saadud andmed valemitesse I ja II, esimeses kvadrandis ehk juurdekasvu NO-suunas leiame:

$$x_{n+1} = x_n + \triangle x = x_n + k \cos \alpha = x_n + k \cos A.$$
$$y_{n+1} = y_n + \triangle y = y_n + k \sin \alpha = y_n + k \sin A.$$

Teises kvadrandis ehk juurdekasvu SO-suunas leiame:

$$x_{n+1} = x_n - \triangle x = x_n - k \cos \alpha = x_n - k(-\cos A) = x_n + k \cos A.$$
$$y_{n+1} = y_n + \triangle y = y_n + k \sin \alpha = y_n + k \sin A.$$



147. joon.

Kolmandas kvadrandis ehk juurdekasvu SW-suunas leiame:

$$x_{n+1} = x_n - \triangle x = x_n - k \cos \alpha = x_n - k(-\cos A) = x_n + k \cos A.$$
$$y_{n+1} = y_n - \triangle y = y_n - k \sin \alpha = y_n - k(-\sin A) = y_n + k \sin A.$$

Neljandas kvadrandis ehk juurdekasvu NW-suunas leiame:

$$x_{n+1} = x_n + \triangle x = x_n + k \cos \alpha = x_n + k \cos A.$$
$$y_{n+1} = y_n - \triangle y = y_n - k \sin \alpha = y_n - k(-\sin A) = y_n + k \sin A.$$

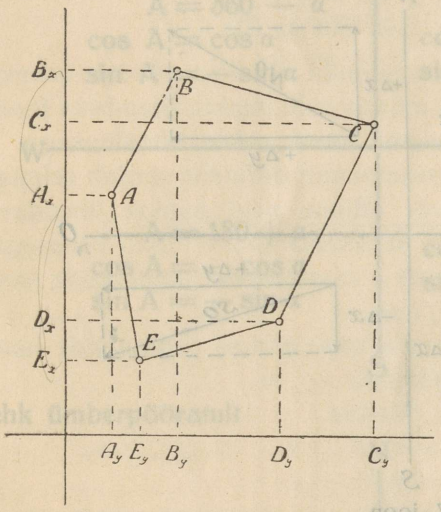
Eelmisest on näha, et asimuutide tarvitamisel muutuvad valemid I ja II lihtsamaks selles mõttes, et märk miinus kaob valemist.

Valemid: $x_{n+1} = x_n + k \cos A.$

$y_{n+1} = y_n + k \sin A$ on üldised igasuguste joonte suundade kohta.

Koordinaatide juurdekasvud $\pm \triangle x$ ja $\pm \triangle y$ arvutatakse logaritmimise teel.

$\lg \triangle x = \lg k + \lg \cos A$, ehk $\lg \triangle y = \lg k + \lg \sin A$.



148. joon.

Koordinaatide juurdekasvud võib arvutada ka selleks otstarbeks kokkuseatud eritabelite abil, — harilikult on selleks Gauss'i koordinaatide tabelid tarvitusel. Kui polügooni otsad on ühendatud, siis peab kõikide abstsisside juurdekasvude summa nulliks muutuma, niisama ka kõikide ordinaatide juurdekasvude summa. Polügoon ABCDE koordinaatide juurdekasvud on: abstsisstelje kaudu positiivsed kui lõunast põhja mõõdetud A_xB_x ja E_xA_x ja on negatiivsed kui põhjast lõunasse mõõdetud B_xC_x, C_xD_x ja D_xE_x (148. joon.). Joonisest on näha, et joonte pikkuste absoluutsete suuruste vahekord on:

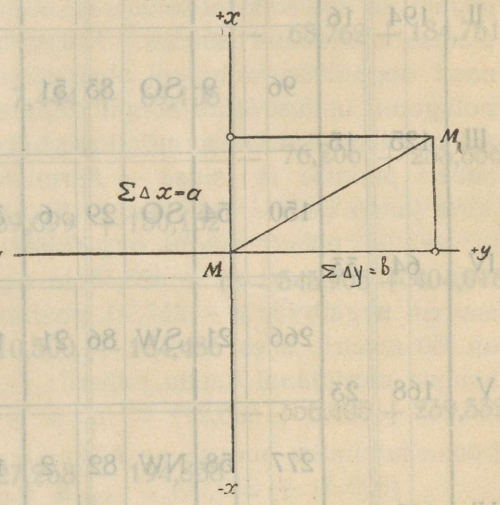
$$A_xB_x + E_xA_x = B_xC_x + C_xD_x + D_xE_x$$

Silmas pidades, et pahempoolne valemi külg on positiivne, parempoolne aga negatiivne, tuleb välja, et mõlemad osad liidetult annavad nulli. Sedasama tõendust võib tarvitada ka ordinaatide juurdekasvu kohta.

Seega on $\Sigma \triangle x = 0$

$\Sigma \triangle y = 0$

Märk Σ (sigma) tähendab «summat». Teoreetiliselt peab see summa küll 0 olema, kuid arvutamisel saame me alati $\Sigma x = \pm a$; $\Sigma y = \pm b$, mis sellest tuleb, et nii nurgad kui ka jooned ei ole absoluutselt õigesti mõõdetud. Neid saadud kõrvalekaldumisi teoreetilisest koordinaatide juurdekasvu summast nimetatakse veaks koordinaatides. See viga on ainult teatud piirides lubatav. Kui vigu abstsissides $\pm$ a tähistada xx-telje kaudu ja viga ordinaatides $\pm$ b — yy-telje kaudu, siis, mõlematest punktidest perpendikulaare tõmmates kuni nende ristlõikeni punkt M_1-s, ja punkt M_1 ja M ühendades saame joone MM_1 (149. joon.), mida nimetatakse veaks perimeetris. Kui teodoliidi täpsus on 1′ ja jooned on teraslindiga mõõdetud, siis ei tohi viga perimeetris suurem olla kui $\frac{1}{1000}$ osa perimeetrist. $\sqrt{a^2 + b^2} < \frac{1}{1000} p$. Kui mõne joone mõõtmisel on sündinud lubamatu viga, siis on joon MM_1 valesti mõõdetud joonele enam-vähem paralleelne.



149. joon.

Meil maksvate määruste järele (R. T. 102/1927) on lubatav viga kõval lagedal maal $d \leqslant 0{,}01 \sqrt{4p + 0{,}005\, p^2}$, mägisel, metsa- ja soomaal $d \leqslant 0{,}01 \sqrt{8p + 0{,}01\, p^2}$.

Kui viga on lubatav, siis jagatakse see koordinaatide juurdekasvude vahel proportsinaalselt vastava polügooni külgede pikkusega ja antakse igale juurdekasvule vastav parandus, nõnda et parandatud juurdekasvude kogusumma annaks nulli. On viga a positiivne, siis peavad $\triangle x$ parandused negatiivsed olema ja ümberpööratult. Seesama märkus on mak-

Punktide №№	Sisenurgad °	Sisenurgad '	Asimuudid °	Asimuudid '	Rumbid Nimi	Rumbid °	Rumbid '	Küljede pikkus	lg cos R lg d lg sin R	lg d + lg cos R lg d + lg sin R
I	107	26							$\bar{1}$,54263	1,83730
			110	25	SO	69	35	197,09	2,29467	
II	194	16							$\bar{1}$,97182	2,26649
			96	9	SO	83	51	69,49	$\bar{1}$,02992	0,87184
III	125	15							1,84192 $\bar{1}$,99749	1,83941
			150	54	SO	29	6	308,63	$\bar{1}$,94140	2,43084
IV	64	33							2,48944 $\bar{1}$,68694	2,17638
			266	21	SW	86	21	164,85	$\bar{2}$,80388	1,02097
V	168	23							2,21709 $\bar{1}$,99912	2,21621
			277	58	NW	82	2	196,78	$\bar{1}$,14175	1,43573
VI	115	39							2,29398 $\bar{1}$,99579	2,28977
			342	19	NW	17	41	287,86	$\bar{1}$,97898	2,43816
VII	124	28							2,45918 $\bar{1}$,48252	1,94170
			37	51	NO	37	51	69,54	$\bar{1}$,89742	1,73965
									1,84223 $\bar{1}$,78788	1,63011
	900	—						1294,24		

Täpsus: $\frac{n}{\Sigma d} = \frac{\sqrt{(0{,}08)^2 + (0{,}27)^2}}{1294{,}24} = \frac{0{,}28}{1294{,}24} = \frac{1}{4622}$. Parandus

Koordinaatide juurdekasvud								Koordinaadid			
Arvutatud				Parandatud							
±	Δ x	±	Δ y	±	Δ x	±	Δ y	±	x	±	y
									0,0		0,0
—	68,75 — 012	+	184,71 +041	—	68,762	+	184,751				
								—	68,762	+	184,751
—	7,44 — 004	+	69,09 + 015	—	7,444	+	69,105				
								—	76,206	+	253,856
—	269,68 — 019	+	150,10 + 062	—	269,699	+	150,162				
								—	345.905	+	404,018
—	10,49 — 010	—	164,52 + 034	—	10,500	—	164,486				
								—	356.405	+	239,532
+	27,27 — 012	—	194,88 + 042	+	27,258	—	194,838				
								—	329,147	+	44,694
+	274,26 — 018	—	87,44 + 060	+	274,242	—	87,380				
								—	54,905	—	42,686
+	54,91 — 005	+	42,67 + 016	+	54,905	+	42,686				
Σ +	356,44	+	446,57		0,0		0,0				
Σ —	356,36	—	446,84								
+	0,08		0,27								

100 meetri kohta: $\frac{\Sigma \Delta x}{\Sigma d : 100} = 0{,}006$; $\frac{\Sigma \Delta y}{\Sigma d : 100} = 0{,}02$.

sev ka △y kohta. Parandatud koordinaatide juurdekasvude järele arvutatakse siis alles koordinaadid. Koordinaatide arvutamist võib eelmisele leheküljele paigutatud tabeli järele üles tähendada.

Kui koordinaadid on arvutatud, siis võib alata polügooni joonistamist. Enne aga vaatame, kui suure paberi selleks peame võtma. Kõige suurema positiivse ja kõige suurema negatiivse abstsissi absoluutset suurust liites, saame polügooni ulatuse meridiaani suunas. Kõige suuremat positiivset ordinaati negatiivse ordinaadi absoluutse suurusega liites, saame polügooni ulatuse õhtu-hommiku paralleeli suunas. Neid arvusid mõõtkava (arvulise mõõtkava) arvudega korrutades, saame paberi pikkuse ja laiuse — äärmiste punktide vahel. Paberi äärte jaoks lisame veel umbes 10 sm iga ääre kohta juurde — ja tarvilik paberi suurus ongi käes. Näiteks, kui kõige suurem positiivne x on + 428,35 ja negatiivne — 385,21; kõige suurem negatiivne y — 237,90, positiivne + 528,31. Mõõtkava on 50 meetrit ühes sm ehk $^1/_{5\,000}$. Siis on äärmiste punktide kaugus meridiaani kaudu paberil:

(428,35 + 385,21) . $^1/_{50}$, s. o. ligikaudu 16,5 sm.

Lõuna-hommiku suunas on äärmiste punktide vahe:

(528,31 + 237,90) . $^1/_{50}$, s. o. ligikaudu 15,5 sm.

Igasse äärde à 10 sm serva arvates, saame paberi suuruse 36,5 sm . 35,5 sm.

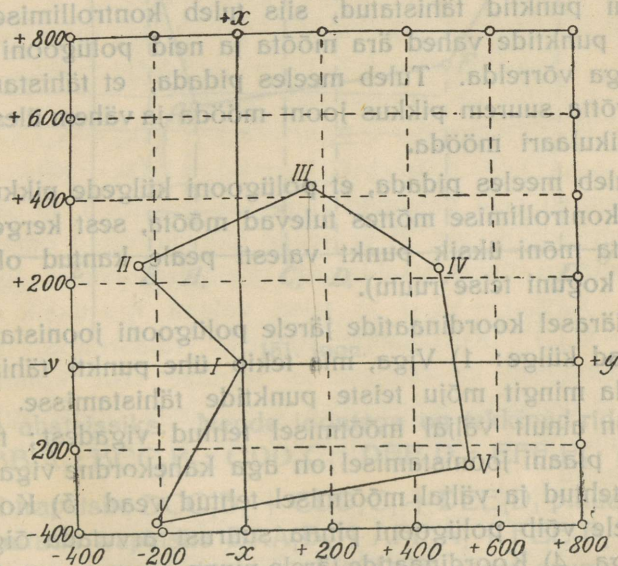
Nüüd kleebitakse tarvilik paber joonestamislauale ja jagatakse ruutudeks, millede küljed oleksid täpselt 4 sm suured. Selleks tuleb tõmmata kaks diagonaali, kanda keskkohalt igale poole neli ühesuurust joont stangensirkli abil, saadud punktid ühendada, mis täpselt kujutab täisnurkset nelinurka. Selle nelinurga külgedele alles kanda koordinaatide ruudu küljed ja vastavad punktid.

Siis valitakse ruutude nurkadest koordinaatide algus-punkt nõnda, et kõige suuremad positiivsed ja negatiivsed pikkused sellest punktist võttes mahuksid paberile vastavates suundades. Näiteks on meil polügoon, mille joonis ja koordinaadid juurdelisatud 150. joonisel näha. Siin peame va-

lima altpoolt teise horisontaaljoone ja pahemalt poolt teise vertikaaljoone ristlõike. Nüüd hakkame sirkli, kolmnurga ja joonlaua

Punkti nr.	KOORDINAADID			
	±	X	±	Y
I		0,0	—	0,0
II	+	240,12	—	237,20
III	+	428,35	+	176,42
IV	+	220,50	+	468,73
V	—	247,26	+	528,31
VI	—	385,21	—	208,20

abil nurkade seisukohti tähistama. Punkt nr. I asub koordinaatide alguspunktis. Punkt nr. II, mille $x = +240{,}12$ ja $y = -237{,}90$, peab



150. joon.

asuma ruudus, mis seisab teises põhjapoolses horisontaalreas ja teises õhtupoolses vertikaalreas. Selle ruudu nurgast sirkliga mõõtkava järele 40,12 m võttes ja seda ruudu kagupool-

sest nurgast vertikaaljoont mööda tähistades, tõmbame kolmnurga ja joonlaua abil õhtuhommiku-ruuduküljele paralleeljoone, ning sellel paralleeljoonel tähistame sirkliga 37,20 m kaugusel punkti, mis on otsitav polügoonipunkt nr. II.

Kolmanda polügoonipunkti koordinaadid on $x = +428{,}35$ ja $y = +176{,}42$; tema peab seega asuma esimeses hommikupoolses vertikaalreas ja kolmandas põhjapoolses horisontaalreas.

Sirkliga mõõtkava järele 176,42 m võttes, tähistame selle koordinaatide nullpunktist $+y$ suunas, saadud punktist tõmbame vertikaaljoontele paralleeli $+x$ suunas ja tähistame tõmmatud vertikaaljoone lõikepunktist teise horisontaaljoonega pikkuse 28,35 m; saame polügooni punkti nr. III. Tõepoolest on tema koordinaadid $x_3 = 200 . 2 + 28{,}35 = +428{,}35$; $y = +176{,}42$.

Kui punktid tähistatud, siis tuleb kontrollimise mõttes sirkliga punktide vahed ära mõõta ja neid polügooni külgede pikkusega võrrelda. Tuleb meeles pidada, et tähistamisel on tarvis võtta suurem pikkus joont mööda ja vähem ülesehitatud perpendikulaari mööda.

Tuleb meeles pidada, et polügooni külgede pikkused tingimata kontrollimise mõttes tulevad mõõta, sest kergesti võib kogemata mõni üksik punkt valesti peale kantud olla (näit. sattuda koguni teise ruutu).

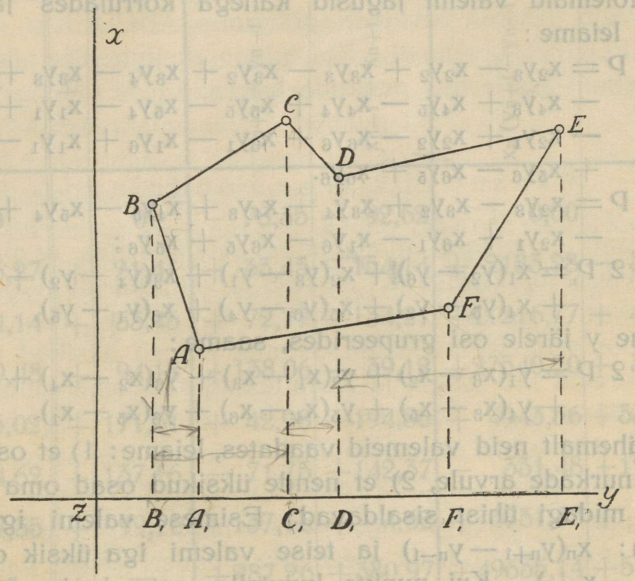
Säärasel koordinaatide järele polügooni joonistamisel on mitu head külge: 1) Viga, mis tekib ühe punkti tähistamisel, ei avalda mingit mõju teiste punktide tähistamisse. 2) Viga tuleb siin ainult väljal mõõtmisel tehtud vigadest; transportiiri abil plaani joonistamisel on aga kahekordne viga: transportiiri tehtud ja väljal mõõtmisel tehtud vead. 3) Koordinaatide järele võib polügooni pinna suurust arvutada õige suure täpsusega. 4) Koordinaatide järele pinna suuruse arvutamiseks ei ole tarvis plaani valmistada.

Koordinaatide abil pinna arvutamine selgub järgmisest kujutisest (151. joon.):

ABCDEF on kuuenurkne kontuur. Punktide koordinaadid on:

$A = x_1$ ja y_1
$B = x_2$ ja y_2
$C = x_3$ ja y_3
$D = x_4$ ja y_4
$E = x_5$ ja y_5
$F = x_6$ ja y_6.

Neist punktidest yy-teljele tõmmates perpendikulaare saame AA_1 BB_1 CC_1 DD_1 EE_1 ja FF_1, millede pikkus on nende



151. joon.

punktide abstsissiks. Nende joontega on tekkinud rida trapetseid: ABB_1A_1; BCC_1B_1; CDD_1C_1; DEE_1D_1; EFF_1E_1; FAA_1F_1.

Kui trapetsite $BCC_1B_1 + CDD_1C_1 + DEE_1D_1$ pindade summast lahutada trapetsite $BAA_1B_1 + AFF_1A_1 + FEE_1F_1$ pindade summa, siis saame polügooni ABCDEF pinna suuruse.

Seda otsitavat pinna suurust täht P-ga tähistades ja iga trapetsi asemele pannes selle suuruse $\frac{a+b}{2}h$ (pool aluste summast korrutatud kõrgusega), leiame:

$$P = \frac{BB_1 + CC_1}{2}(C_1Z - B_1Z) + \frac{CC_1 + DD_1}{2}(D_1Z - C_1Z) +$$
$$+ \frac{DD_1 + EE_1}{2}(E_1Z - D_1Z) - \frac{BB_1 + AA_1}{2}(A_1Z - B_1Z) -$$
$$- \frac{AA_1 + FF_1}{2}(F_1Z - A_1Z) - \frac{FF_1 + EE_1}{2}(E_1Z - F_1Z);$$

$$P = \frac{x_2 + x_3}{2}(y_3 - y_2) + \frac{x_3 + x_4}{2}(y_4 - y_3) + \frac{x_1 + x_5}{2}(y_5 - y_4) -$$
$$- \frac{x_1 + x_2}{2}(y_1 - y_2) - \frac{x_6 + x_1}{2}(y_6 - y_1) - \frac{x_5 + x_6}{2}(y_5 - y_6).$$

Mõlemaid valemi jagusid kahega korrutades ja sulud avades leiame:

$$2P = x_2y_3 - x_2y_2 + x_3y_3 - x_3y_2 + x_3y_4 - x_3y_3 + x_4y_4 -$$
$$- x_4y_3 + x_4y_5 - x_4y_4 + x_5y_5 - x_5y_4 - x_1y_1 + x_1y_2 -$$
$$- x_2y_1 + x_2y_2 - x_6y_6 + x_6y_1 - x_1y_6 + x_1y_1 - x_5y_5 +$$
$$+ x_5y_6 - x_6y_5 + x_6y_6.$$

$$2P = x_2y_3 - x_3y_2 + x_3y_4 - x_4y_3 + x_4y_5 - x_5y_4 + x_1y_2 -$$
$$- x_2y_1 + x_6y_1 - x_1y_6 - x_6y_5 + x_5y_6;$$

$$2P = x_1(y_2 - y_6) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) +$$
$$+ x_4(y_5 - y_3) + x_5(y_6 - y_4) + x_6(y_1 - y_5),$$

ehk tähe y järele osi grupeerides, saame:

$$2P = y_1(x_6 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) +$$
$$+ y_4(x_3 - x_5) + y_5(x_4 - x_6) + y_6(x_5 - x_1).$$

Lähemalt neid valemeid vaadates, leiame: 1) et osade arv vastab nurkade arvule, 2) et nende üksikud osad oma kokkuseades midagi ühist sisaldavad. Esimese valemi iga üksik osa on: $x_n(y_{n+1} - y_{n-1})$ ja teise valemi iga üksik osa on: $y_n(x_{n-1} - x_{n+1})$. Kui punkte kujutella ratasringis, siis on need tähendused ka esimese ja viimase osa kohta õiged, arvates, et osa n-le järgneb osa $n + 1$, mis ratasringis moodustab jälle nr. 1. Kui polügoonil on n nurka, siis oleksid need valemid:

$$2P = x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) +$$
$$+ \ldots\ldots + x_{n-1}(y_n - y_{n-2}) + x_n(y_1 - y_{n-1}).$$

$$2P = y_1(x_n - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) +$$
$$+ \ldots\ldots + y_{n-1}(x_{n-2} - x_n) + y_n(x_{n-1} - x_1).$$

Lühidalt kirjutades oleksid need valemid (silmas pidades, et üksikud osad koostatud ühteviisi):

$$2P = \Sigma x_n (y_{n+1} - y_{n-1})$$
$$2P = \Sigma y_n (x_{n-1} - x_{n+1})$$

Kontrolli otstarbeks arvutatakse polügooni pind mõlema valemi järele, korrutised peavad täpselt ühesuurused olema.

Koordinaatide järele pinna arvutamine sünnib ülestähendamise teel, nagu järgneva tabelil näha.

Koordinaadid				Polügooni pinna arvutamine koordinaatide järele			
±	X	±	Y	$y_{n+1} - y_{n-1}$	$x_{n-1} - x_{n+1}$	$x_n (y_{n+1} - y_{n-1})$	$y_n (x_{n-1} - x_{n+1})$
	0		0	— 78,35	— 92,62	0,00	0,00
+	65,27	+	21,41	+ 33,45	—154,14	+ 2183,28	— 3300,14
+	154,14	+	33,45	+ 72,77	—134,21	+11216,77	+ 4489,32
+	199,48	+	94,18	+ 138,06	+ 39,12	+27540,20	+ 3684,32
+	115,02	+	171,51	+ 42,98	+194,86	+ 4943,56	+33420,44
+	4,62	+	137,16	— 71,75	+142,37	— 331,48	+19527,47
—	27,35	+	99,76	—137,16	+ 4,62	+ 3751,33	+ 460,89
	—		—	+287,26	+380,97	+49635,14	+57093,12
				—287,26	—380,97	— 331,48	+ 7789,46
				$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	2P=49303,66	49303,66
						P = 24651,83	24651,83

P = 24 651,83 □ m = 2 ha 46 a 51,83 □ m.

Arvude korrutamisel võetakse tihti arvutamismasin abiks. Täpsel arvutamisel tuleb loobuda harilikkude viiekohaliste logaritmide tarvitamisest, sest nende tarvitamisel jääksid korrutiste murdarvud tähistamata. Näiteks, kui meil viiekohaline arv 327,35 tuleb korrutada viiekohalise arvuga 120,23, siis

Tartu Ülikooli Juures

peaks korrutis olema üheksakohaline arv, kuid logaritmimise teel saame me kõigest kuuekohalise arvu, kusjuures ka viimane arv ei ole mitte küllalt õige. Seitsmekohaliste logaritmide abil võib arvude korrutamist siin siiski lubada. Korrutamisel tekivad tihti vead, mis alles töö lõpul ilmnevad, kus 2 P ei vasta teise valemi järele arvutatud 2 P-le. Vea otsimine on õige tülikas, kui punktide arv suur, sellepärast on soovitav jagada polügoon mitmeks osaks ja P arvutada iga osa kohta üksikult. Näiteks polügoon ABCDEFGHJKL asemel võib üksikult arvutada polügoon ABCDEF-u ja polügoon AFGHJKL-u pinnad. Kui juhtub eksitus, siis tuleb seda otsida ainult poole osa punktide juures.

Mensul ehk maamõõdulaud.

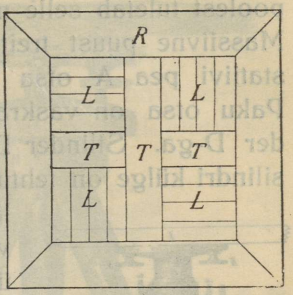
Graafiline plaani valmistamine seisab selles, et plaan otsekohe väljal joonistatakse. Selleks tarvis minevat mõõduriista nimetatakse mensuliks ehk maamõõdu-lauaks. Mensuli abil plaani joonistamisel mõõdetakse ainult mõned üksikud jooned, kuna suurema jao joonte ja kõikide nurkade ülekandmine sünnib graafilisel teel. Seejuures projekteeritakse väljal natuuras olevate joonte sihid mensulilauale ja joonistatakse selle tõttu natuuras olevatele kujudele vastavad sarnased kujud.

Mensul koosneb kolmest osast: lauast ehk plaadist, alusest ja statiivist. Lauale kleebitakse paber — see paberileht kannab planšeti nime. Tihti nimetatakse ka mensuliplaati planšetiks.

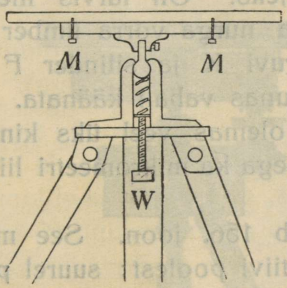
Alus on plaati ja statiivi ühendav osa. Tema peab võimalust andma mensuliplaati horisontaalpinnas ümber käänata ja teda horisontaalseisu seada. Statiiv peab mensulilauale kindlaks tugipostiks olema, et joonistamise ajal mensulilaud seisaks liikumata paigal.

Mensuleid on oma ehituse poolest õige mitut seltsi, iseäranis mitmekujuline on nende aluste konstruktsioon. Siin kirjeldatakse järgmised tüübid: lihtmensul, plokkmensul, Müncheni mensul ja uuetüübiline mensul.

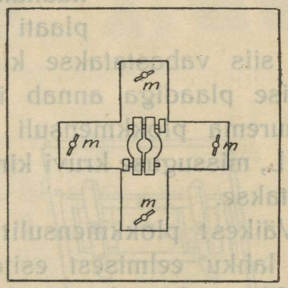
I. Lihtmensulilaud on ruut, külgedega 35×35 sm või 55×55 sm. Võivad olla ka teises suuruses ruudud. Mensulilaud peab kerge olema, et hõlpus oleks teda kohast teise kanda. Laud peab olema sile. Niiskus ei tohi mõjuda laua pinnasse, laud ei tohi niiskuse tõttu kaardu tõmbuda. Harilikult valmistatakse laud pärnapuust järgmiselt: 7 sm laiustest laudadest tehakse neljanurkne raam (152. joon.). Raami keskele seatakse ühendustoed TT_1; tugipuude vahele seatakse lauakesed LL niiviisi, et nende puutoimed oleksid mitmes suunas, mille tõttu kõrvaldub kaardutõmbumine. Sedaviisi täidetud raam lüüakse nii pealt kui ka alt õhukeste laudadega. Kogu plaadi paksus on umbes 2—3 sm või vähem. Säärase plaadi keskkohta kinnitatakse kruvide m abil vaskrist v, mille iga üksik haru on 10—15 sm pikk. Vaskristi keskkohta on kinnitatud toru t, mis statiivi aluse zapfa (silindri) otsas horisontaalpinnas annab ringi



152. joon.



153. joon.

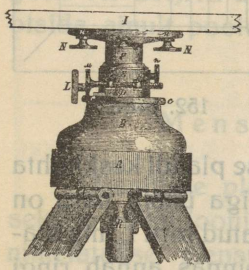


154 joon.

käänata (153. joon.). Risti ja tema külge kinnitatud laua ümberkäänamist võib takistada, kui toru külge tehtud kinnituskruvi kk_1 kinni keerata. Mensuli horisontaalseisu seadmine sünnib kas statiivi jalgade ümberseadmisel, või munašarniiri ühenduskruvi W vabastamisel ja plaadile ühes zapfaga võimaldades liikumise ümber muna sentri. On laua pind horisontaalseisus, kinnitatakse šarniiri kinnituskruvi W uuesti.

Ülemalkirjeldatud lihtmensuli puuduseks oleks see, et mensuli ümberkäänamisel horisontaalpinnas ei ole võimalik anda mensulile väikest liikumist — puuduvad mikromeeterkruvid.

II. Plokkmensul. Sõna «plokk» tähendab pakuots. Tõepoolest tuletab selle mensuli alus pakuotsa meelde (155. joon.). Massiivne puust treitud tömp koonus B seatakse Müncheni statiivi pea A otsa ja kinnitatakse seal põhikruvi R abil. Paku otsa on vaskratas C kõvasti kinni kruvitud ühes silinder D-ga. Silinder D peale on seatud silinder E. Kummagi silindri külge on tehtud kõrvad, milledest mikromeeterkruvi M läbi käib. Kruvi M sisse või välja kruvides liigub silinder E horisontaalpinnas ümber silinder D telje. Kui kinnituskruvi k on kinni kruvitud, siis liigub kruvi M käänamisel ühes silinder E-ga ka silinder F, ratas H ja laud J. Laud J, ratas H ja silinder F on üksteisega ühendatud ühenduskruvide N abil. Silinder F ulatub läbi mõlema silindri D ja E ja on mensuli käänamise teljeks. On tarvis mensuliplaati suurema nurga võrra ümber käänata, siis vabastatakse kinnituskruvi K ja silinder F ühes pealmise plaadiga annab igas suunas vabalt käänata. Tihti on suurema plokkmensuli juures olemas veel üks kinnituskruvi L, missuguse kruvi kinnitamisega ka mikromeetri liigutus lõpetatakse.

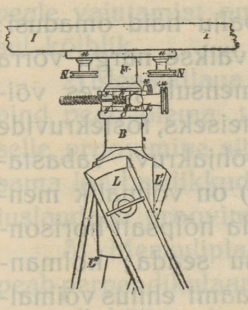


155. joon.

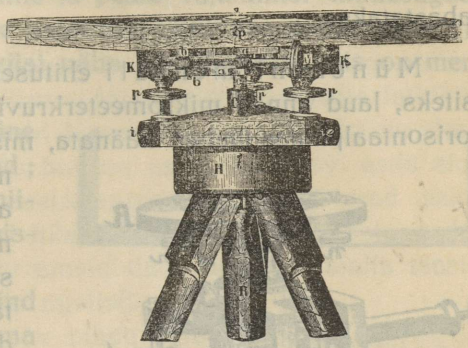
Väikest plokkmensulit kujutab 156. joon. See mensul läheb lahku eelmisest esiteks statiivi poolest: suurel plokkmensulil on Müncheni statiiv, väiksel vanaaegne lihtstatiiv, puudub massiivpuukoonus B. Mikromeeterkruvide ehitusel on aga palju sarnasust. Plokkmensulite puuduseks tuleb nimetada seda, et neid mensuleid raske on horisontaalseisu seada.

III. Müncheni mensul on näha 157. joonisel. Müncheni mensul oli Venemaal enne maailmasõda üks lugupeetavamaid mõõdulaudu. Tema ehitust täiendati Venemaa kindralstaabi topograafia-osakonnas mitmel korral. Statiiviks on siin Müncheni statiiv. Selle pea peale pannakse alus, mis koosneb

kolmenurksest lauast i. Laud i keskelt läheb läbi ümmargune tühi toru C (157. a ja b joon.). Keset toru on munašarniiri ühendus C, mis põhivint R abil annab kinni käänata. Kolmenurkse laua

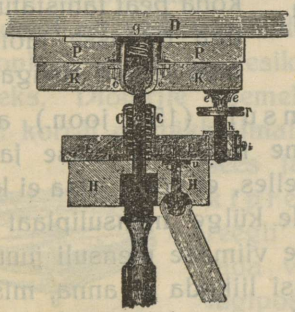


156. joon.

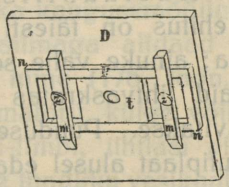


157. joon.

nurkadest läbi käivad tõstekruvid P, mis toetuvad vastu ümmargust lauda K. Pealmine osa koosneb neljakandilisest raamist P ja ümmargusest lauast K, mis teineteise ümber käänata annavad



157. a joon.

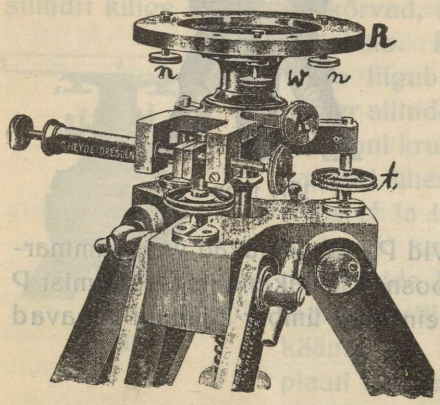


157. b joon.

mikromeeterkruvi M abil. Neid kahte osa ühendav võll on õõnes toru, mille põhjale toetub munašarniiri vaskkuul. Kui põhikruvi on vabastatud, siis annavad ka pealmised osad — raam P ühes lauaga D — horisontaalpinnas vabalt ringi käänata. Ühtlasi võib siis tõstekruvide abil laud K-d ja ühtlasi mensuliplaat D-d horisontaalseisu seada. Põhikruvi kinnitades,

lõpetame plaadi vaba liikumise horisontaalpinnas, kaob ühtlasi ka võimalus käänata tõstekruvisid t. Raam P ehitus võimaldab mensuliplaat D-d mööda raami edasi-tagasi lükata, milleks raami ja laudu ühendavate kinnituspulkade m kruvid z vabastatakse.

Müncheni mensuli ehitusel on palju häid omadusi; esiteks, laud annab mikromeeterkruvi abil väikse nurga võrra horisontaalpinnas ümber käänata, mis lihtmensuli juures võimatu; teiseks, tõstekruvide abil (põhjakruvi vabastamisega) on võimalik mensulilauda hõlpsalt horisontaalseisu seada; kolmandaks, raami ehitus võimaldab, mensulit täpselt tarvilikus punktis üles seades, sentrimist, nii et mensulipaberil joonistatud punkt on ühes vertikaaljoones koha peal tähistatud punktiga (maasse taotud vaia otsa tehtud ristiga).



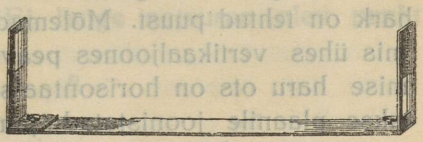
158. joon.

IV. Uuetüübilise mensuli (158. joon.) aluse ja statiivi ehitus on täiesti sarnane teodoliidi aluse ja statiivi ehitusega; ainuke vahe seisab selles, et võll v otsa ei kinnitata limb, vaid lihtvaskratas R, mille külge mensuliplaat kruvide abil kruvitakse. Puuduseks selle viimase mensuli juures on, et mensuliplaat alusel edasi-tagasi liikuda ei anna, mis, nagu edaspidi näeme, vähemas mõõtkavas valmistatud plaani joonistamisel on tarvilik aparaadi sentrimisel. See viga kõrvaldatakse, kui ring R-u mitte otsekohe mensulilaua, vaid Müncheni mensuliga sarnaneva seatava raami külge kinnitame. Heaks küljeks on võrdlemisi hea konstruktsiooniga kinnituskruvi K, mikromeeterkruvi M ja tõstekruvid t.

Kordaseatud mensul peab vastama järgmistele nõuetele: 1) Mensul peab kindlasti seisma ehk, nagu öeldakse, — ta

peab vetruma. Kui näpuga ühte nurka vajutada, siis võib mensul küll järele anda, kuid kätt ära võttes peab laud oma endisse seisu tagasi tulema, mis selgub, kui läbi mensulilaual oleva alidaadi dioptrite enne ja peale vajutamist mõnesuguse kaugel oleva punkti poole vaadata. Kui see punkt enne ja peale vajutamist on ühteviisi näha läbi dioptrite, siis on mensul kõlblik.

2) Mensulilaua pealmine pind peab olema tasapind; selle proovimine sünnib niisama kui harilikkude joonistuslaudade proovimine.

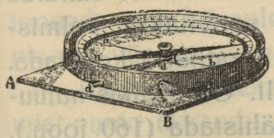


159. joon.

3) Mensuliplaadi pind peab perpendikulaarne olema mensuli käänamise teljele. Proovimine toimub vesikaalu abil. Kui horisontaalseisus olevat mensulilauda 180° võrra ümber käänata ja seejuures mensulilauale seatud vesikaalu vull keskkohale jääb nagu enne, siis vastab mensul nõudele.

Mensuli tarvitamisel vajatakse abiriistadena alidaadi, orientiirbussooli ja loodharki.

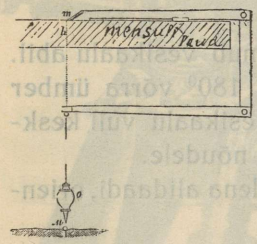
Alidaad on vaskjoonlaud, mille otsa külge dioptrid seatud. Joonlaua küljes on vesikaal mensulilaua horisontaalseisu seadmiseks. Dioptrite asemel võib alidaadil olla pikksilm. Säärasel korral on pikksilmal alati ka kaugusemõõtjad niidid sees ja pikksilmaga alidaad kannab kipreegli nime (175. joon.). Kipreegli pikksilmatoru külge võib kinnitada vertikaal-limbi, ühtlasi pikksilma tugiposti külge tundliku vesikaalu. Säärase kipreegliga on võimalik ette võtta tahhimeetrilist loodimist. Orientiirbussool (159. a joon.) on kompass, mille karbi diameeter umbes 10 sm ümber, üks karbi serv on sirgjoon, mis saadakse plaanil joonistatud meridiaani kaudu. See võimaldab, mensulit horisontaalpinnas ringi käänates, lauale säärase seisu andmist, et kompassi (orient.-bussool) vabastatud magnetnäitaja ots bussoolikarbi põhjale tähistatud meridiaani kaudu



159. a joon.

jääks vastavalt seisma. Arusaadav, et karbi põhjale tähistatud NS-joon peab sirgjoonelise karbi servale paralleelne olema, ja mensulilaual joonega tähistatud meridiaanjoon (NS-joon) langeb seega magnetmeridiaaniga ühte.

Mensuli loodhark (159. b joon.) koosneb kahest paralleelharust, mis teineteisega vertikaalpostikesega ühendatud. Tihti sünnitab aga loodhargi alumine haru ülemisega 45-^{0} nurga. Loodhark on tehtud puust. Mõlemad harud lõpevad terava otsaga, mis ühes vertikaaljoones peavad olema juhtumil, kui pealmise haru ots on horisontaalseisus. Pealmise haru ots seatakse plaanile joonistatud punkti kohta, kuna alumise haru otsast allalastud lood peab olema väljal tähistatud punkti kohal. Sellega oleks natuuras väljal tähistatud punkt vastava plaanil oleva punktiga ühes vertikaaljoones. Olgu siin öeldud, et mensuli mitte küllalt täpse sentrimise tagajärjed ei ole nõnda tuntavad kui vead teodoliidi ja astrolaabide sentrimisel. Ka tarvitatakse mensulit suuremalt osalt ainult sisemiste kontuuride joonistamisel, s. o. vähese tähtsusega tööde juures, kus vea mõju end vähe tunda annab.

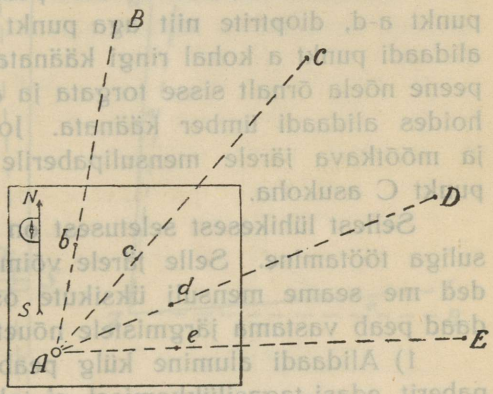


159. b joon.

Harilikkude tööde juures, kus plaan joonistatakse 100 m või 50 m ühes sentimeetris, võib mensuli sentrimine sündida silma järele ilma loodhargita. Kui aga soovitakse valmistada plaan mõõdus $^1/_{1\,000}$ ehk $^1/_{2\,000}$, tuleb loodharki kasutada.

Töötamine mensuliga toimub järgmiselt. On olemas natuuras punktid ABCDE, mida plaanil tarvis tähistada (160. joon.). Neist punktidest on ühel või teisel teel plaanile juba tähistatud punktid A, D ja E, jäävad veel järele punktid B ja C. Asume mensuliga punkt A-sse ja seame ta selle punkti kohale üles nii, et plaanile joonistatud punkt A oleks ühes vertikaaljoones natuuras oleva punktiga A. Seda tööd nimetatakse mensuli sentrimiseks. On mensul sentritud, peab ta horisontaalseisu seatama. On mensulilaua seis horisontaalne, siis, orientiirbussooli serva plaanile joonistatud meridiaani mööda seades, kää-

natakse mensuliplaati niikaua, kui magnetnäitaja jääb seisma plaanile joonistatud meridiaani suunaga paralleelselt, s. o., kui näitaja põhjaots jääb seisma N pügala juurde. Seega on mensul ligikaudselt meridiaani järele orienteeritud, mille järele plaadi kinnituskruvid kinni käänatakse. Nüüd algab täpne orienteerimine, milleks alidaad läbi juhitakse joonlaua serva mööda plaanil tähistatud punktidest a ja d. Läbi dioptrite vaadates peame nägema punkt D-d. Ei lange natuuras olev punkt D asjadioptri jõhviga ühte, siis tuleb mikromeeterkruvi abil mensulilauda veel käänata nõndakaua, kuni dioptriniit punkt D katab. On see sündinud, siis on ühtlasi mensul täiesti orienteeritud. Seejuures peavad kõik natuuras olevad jooned, mis aparaadi seisukoha punktist välja lähevad, plaanil olevate vastavate joontega ühte langema, s. o. need vastavad jooned plaanil ja natuuras peavad üksteisega seisma ühes vertikaalpinnas. Kõik teised jooned, mis käesolevat punkti ei lõika, peavad natuuras ja plaanil võetult olema üksteisele vastavalt paralleelsed.



160. joon.

Kontrollimiseks seatakse, peale mensuli täpset orienteerimist punkt D kaudu, alidaad servapidi üles läbi plaanil tähistatud punktide a ja c; nüüd peab dioptrite niit juba punkt E kohe katma. Kui mensul sentritud, horisontaalseisu seatud ja orienteeritud, algab järgmiste punktide tähistamine.

Alidaadi serva punkt a kaudu juhtides, kääname alidaadi nii, et läbi dioptrite oleks näha punkt B; siis tuleb veelkord järele vaadata, kas alidaadi-joonlaua serv lõikab punkt a-d,, ja kui see on nii, siis tõmbame terava pliiatsiotsaga joonlaua serva mööda sirgjoone ab. Kui mensulilaud on horisontaalne

ja dioptrite kollimatsioonipind vertikaalne, siis on joon ab_1 ühes vertikaalpinnas natuuras oleva joonega AB, ühtlasi on plaanile joon ab-ga sündinud nurk bad, mis natuuras oleva nurgaga BAD võrdne ehk õigem — selle nurga projektsiooniga tasapinnale. Punkt B tähistamine paberil võib sündida, kui on teada pikkus AB, siis mõõtkava järele punkt a-st mõõta vastavat pikkust; joon ab üle kandes leiame punkt b. Selle järele viseerime dioptri kaudu punkt C-le, ilma et mensuli seisukohta muudaksime; alidaadi serv peab seejuures jällegi lõikama punkt a-d, dioptrite niit aga punkt C-d. Et aga kergem on alidaadi punkt a kohal ringi käänata, võib punkt a-sse terava peene nõela õrnalt sisse torgata ja alidaadi serva vastu nõela hoides alidaadi ümber käänata. Joon AC-d lindiga mõõtes ja mõõtkava järele mensulipaberile kandes saame määrata punkt C asukoha.

Sellest lühikesest seletusest on näha, milles seisab mensuliga töötamine. Selle järele võime ka otsustada, mis nõuded me seame mensuli üksikute osade kohta. Mensuli alidaad peab vastama järgmistele nõuetele.

1) Alidaadi alumine külg peab olema tasapind, mööda paberit edasi-tagasilükkamisel ei tohi ta paberit määrida ega paberit kriipsutada.

2) Alidaad-joonlaua serv peab olema sirgjoon.

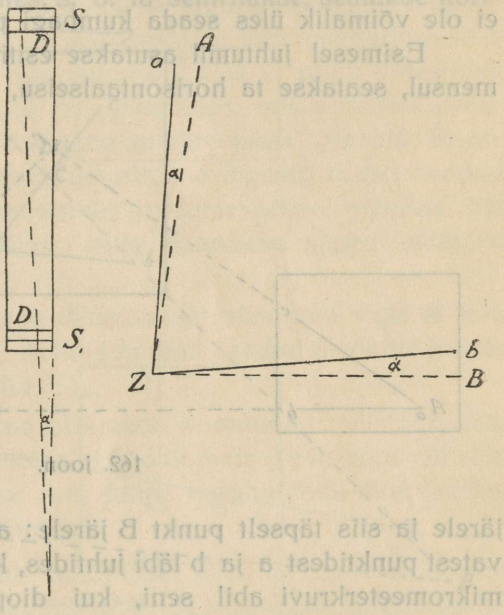
3) Dioptrite kollimatsioonipind peab olema perpendikulaarne alidaadi alusküljele.

Kõik eelmised tingimused proovitakse nagu teistegi mõõduriistade juures.

4) Alidaadi serv peab asuma dioptrite kollimatsioonipinnas või olema vähemalt paralleelne sellele kollimatsioonipinnale. Vastasel korral ei ole paberil aparaadi seisukohast alidaadi servalt tõmmatud jooned natuuras olevate vastavate joontega ühes vertikaalpinnas. Järeleproovimisel viseeritakse alidaadi dioptrite kaudu kuhugi kaugel olevale punktile. Siis seatakse alidaadi otste läheduses alidaadi serva äärde kaks nõela võimalikult vertikaalseisu. Nõelte vertikaalsuse proovimine võib toimuda kolmnurga abil. On nõelad tõesti vertikaalseisus, kõrvaldatakse alidaad ja viseeritakse üle nõelte

selle asja peale, mis enne oli näha läbi dioptrite. Seisab asi nõeltega ühes suunas, siis on arvata, et dioptrite kollimatsioonipind alidaadi servaga kui mitte ei ole ühes vertikaalpinnas, siis vähemalt on temale paralleelne. Juhtumil, kui kollimatsioonipind ja alidaadi serv mitte ei peaks olema paralleelsed, võib ju peaveast kõrvale hoidumiseks tarvitada alati üht ja sedasama silmadioptrit ja üht ning sedasama joonlaua serva.

Näiteks, sünnitab dioptrite kollimatsioonipinna projektsioon alidaadi pinnal joon DD_1 alidaadi servaga SS_1 nurk α (161. joon.). Kui säärase alidaadiga joonistada nurk AZB, siis dioptri kaudu A ja B peale vaadates, tõmbame alidaadi serva mööda jooned za ja zb, mis joontega AZ ja BZ küll mitte ei liitu, kuid nurk aZb on niisama suur kui nurk AZB.



161. joon.

Juhtumil, kui me tarvitame ühti ja neidsamu dioptrit ja serva, jääb vea nurk α mõlemal korral paremat kätt võetavat suunda.

$$\sphericalangle AZa = \sphericalangle BZb$$

ja $\sphericalangle aZb = \sphericalangle AZB - AZa + BZb$, kust:

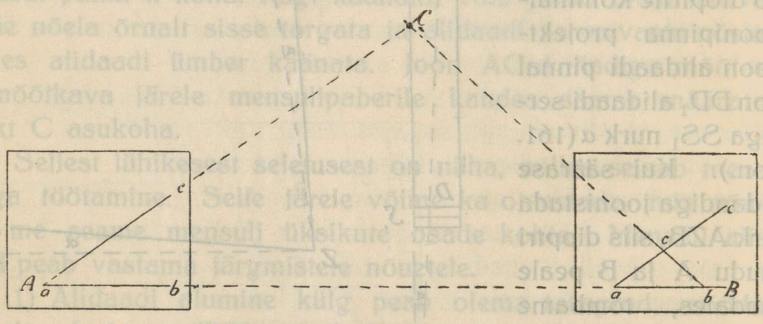
$$\sphericalangle aZb = \sphericalangle AZB.$$

Kui kõik jooned plaanil kalduvad ühevõrra paremale (või pahemale) poole, siis on paberil olevad kujud natuuras olevate kujudega siiski sarnased. Ainult orientiirbussooli tarvitamisel peab selle vea nurk α arvesse võetama.

Mensuliga töötamisviisi põhijooned on juba eelpool tähendatud. Veel oleks tutvuda järgmise ülesandega:

Mensulil tähistatud kahe punkti a ja b järele plaanil märkida kolmas natuuras olev punkt C, ilma et joon a-d mööda taks. Siin võib esineda kolm juhtumit: 1) mensulit on võimalik üles seada mõlema punkti A ja B kohale; 2) mensulit on võimalik üles seada ainult ühte antud punkti; 3) mensulit ei ole võimalik üles seada kumbagi punkti.

Esimesel juhtumil asutakse esiti punkt A-sse, sentritakse mensul, seatakse ta horisontaalseisu, orienteeritakse kompassi

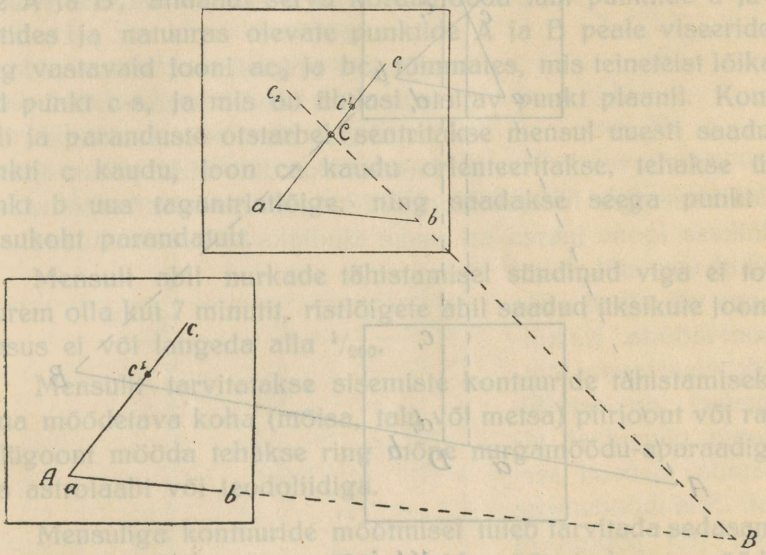


162. joon.

järele ja siis täpselt punkt B järele: alidaadi serva plaanil olevatest punktidest a ja b läbi juhtides, käänatakse mensuli plaati mikromeeterkruvi abil seni, kui dioptrite kollimatsioonipind katab punkt B-d. Nüüd kinnitatakse kõik kinnituskruvid. Siis juhitakse alidaadi kollimatsioonipind natuuras oleva punkti C peale aga nii, et alidaad-joonlaua serv ühtlasi läbi läheks aparaadi seisukoha punktist, s. o. punkt a-st (162. joon). On see sündinud, tõmmatakse terava pliiatsiga joonlaua serva mööda sirgjoon ac_1. Nurk c_1ab vastab natuuras olevale nurgale CAB. Nüüd võetakse mensul ja kantakse see üle punkt B-sse. Siin sentritakse ta jälle, seatakse horisontaalseisu, orienteeritakse umbkaudu orientiirbussooli kaudu ja siis täpselt dioptrite ja punkt A kaudu. On see sündinud, siis viseeritakse punkt C peale, nii et alidaadi serv plaanil läheks läbi mensuli seisukoha, s. o. läbi punkt b. Tõmmatakse alidaadi serva mööda

joon bc_2. Punkt c, kus jooned ac_1 ja bc_2 lõikuvad, on otsitav punkt c. Tõepoolest on kolmnurk abc sarnane natuuras oleva △ ABC-ga, sest selle △ nurgad mõlemal pool külg AB-d on võrdsed plaanil olevate nurkadega cab ja cba. Säärast ülesande täitmist nimetatakse ristlõikeks ettepoole.

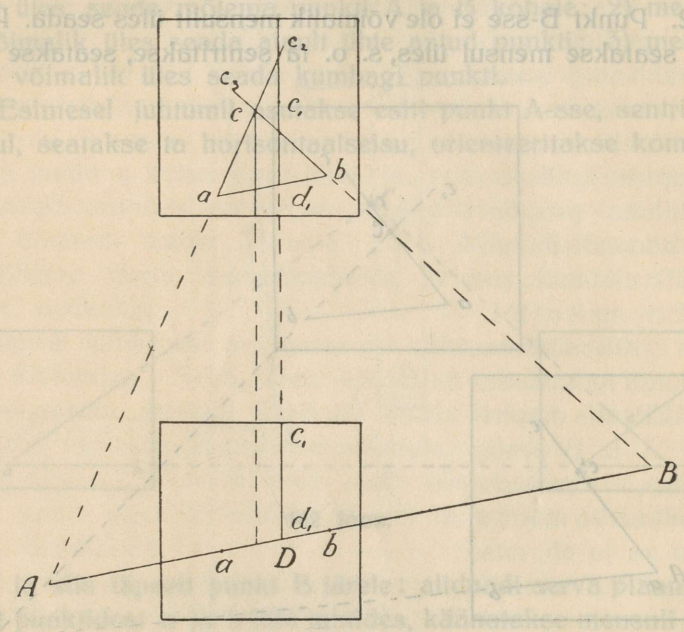
2. Punkt B-sse ei ole võimalik mensulit üles seada. Punkt A-sse seatakse mensul üles, s. o. ta sentritakse, seatakse hori-



163. joon.

sontaalseisu ja orienteeritakse punkt B kaudu (163. joon.). Selle järele tõmmatakse punkt a-st läbi alidaadi serva mööda punkt C suunas joon ac, võetakse mensul ja asutakse punkt C-sse. Plaanil on see punkt alles tähistamata. Võetakse esialgu umbkaudne punkt c_1 joon ac-d mööda. Selle punkti c_1 järele sentritakse, seatakse horisontaalseisu ja orienteeritakse mensul, alidaadi serva juhtides joon c_1a-d mööda ja punkt A peale viseerides. Nüüd kinnitatakse kõik kinnituskruvid, kui mõni neist ehk on alles kinnitamata, ja viseeritakse punkt B-le, kusjuures alidaadi serva mitte ei juhita läbi punkt c_1, vaid punkt b-st.

Siis tõmmatakse plaanil terava pliiatsiga punkt b-st sirgjoon bc_2, mis joone ac_1 risti lõikab. Ristilõike koht on otsitav punkt c (163. joon.). Säärase punkti määramine — ristlõige tahapoole — on küllalt õige mõõtkavade juures 100 ja 50 m ühes sentimeetris, kuna mõõtkava juures 10 ja 20 m ühes sm tuleks teha paran-



164. joon.

dus. Kontrollimiseks ja väikeste paranduste mõttes sentritakse mensul saadud punkti C järele uuesti (oli ju endine sentrimine umbkaudne). Nüüd orienteeritakse punkt A kaudu. Alidaadi serva läbi juhtides punkt b-st, tehakse uus ristlõige, mis harilikult eelmise ristlõikega siiski ühte langeb.

3. Plaanil on jällegi antud punktid a ja b, kuid ei ole võimalik mensulit üles seada vastavaisse punktidesse, ei A-sse ega ka B-sse (164. joon.). Siis valitakse joon AB kaudu mõni neljas punkt D, kus võib mensulit üles seada. Punkt D võib ka olla joon AB pikendusel. Punkt D-s sentritakse mensul umbkaudu punkt d_1 järele ja orienteeritakse joon AB kaudu.

Siis punkt C peale viseerides, juhitakse alidaadi serv punkt d_1-st läbi ja tõmmatakse joon d_1c_1. Võetakse mensul ja seatakse nüüd punkt C-sse üles. Jällegi võetakse joon d_1c_1 mööda umbkaudne punkt c_1, sentritakse selle järele ja orienteeritakse mööda joont d_1c_1. Et nurk c_1d_1b on niisama suur kui natuuras olev nurk CDB, siis on mensulit c_1d_1 järele orienteerides joon ab plaanil natuuras olevale joonele AB-le paralleelne. Nüüd tehakse ristlõige tahapoole (ehk tagantristlõige) üle punktide A ja B; alidaadi serva kordamööda läbi punktide a ja b juhtides ja natuuras olevate punktide A ja B peale viseerides ning vastavaid jooni ac_2 ja bc_3 tõmmates, mis teineteist lõikavad punkt c-s, ja mis on ühtlasi otsitav punkt plaanil. Kontrolli ja paranduste otstarbel sentritakse mensul uuesti saadud punkti c kaudu, joon ca kaudu orienteeritakse, tehakse üle punkt b uus tagantristlõige, ning saadakse seega punkt c seisukoht parandatult.

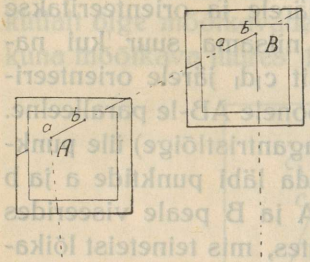
Mensuli abil nurkade tähistamisel sündinud viga ei tohi suurem olla kui 7 minutit, ristlõigete abil saadud üksikute joonte täpsus ei või langeda alla $^1/_{200}$.

Mensulit tarvitatakse sisemiste kontuuride tähistamiseks, kuna mõõdetava koha (mõisa, talu või metsa) piirjoont või raja polügooni mööda tehakse ring mõne nurgamõõdu-aparaadiga, kas astrolaabi või teodoliidiga.

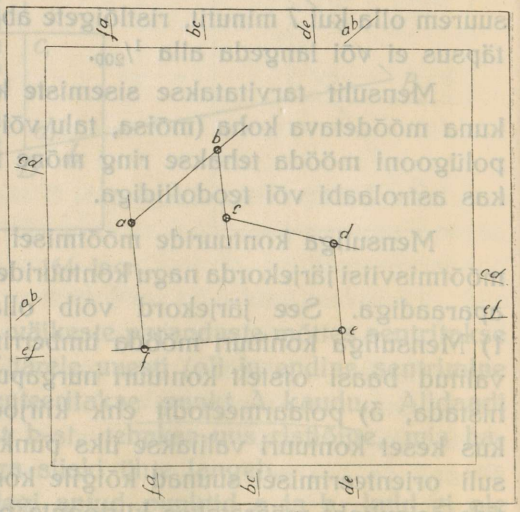
Mensuliga kontuuride mõõtmisel tuleb tarvitada sedasama mõõtmisviisi järjekorda nagu kontuuride mõõtmisel nurgamõõduaparaadiga. See järjekord võib olla nimelt kolmesugune: 1) Mensuliga kontuuri mööda ümberringi käia, 2) mensuli abil valitud baasi otstelt kontuuri nurgapunktid ristlõigete abil tähistada, 3) polaarmeetodit ehk kiirjoonte meetodit tarvitades, kus keset kontuuri valitakse üks punkt ja sealt võetakse mensuli orienteerimisel suunad kõigile kontuuri nurkadele. Punktide seisukoht määratakse kiirjoonte pikkuse mõõtmisel.

Esimene meetod — mensuliga kontuuri mööda ümberkäimine — tarvitab kõige rohkem aega ja on kõige tülikam. Seda meetodit tarvitatakse neis kohtades, kus vaateväli on piiratud, näiteks metsades, võsastikkudes, linna tänavail jne., —

seal, kus ristlõigetega punktide määramine on võimatu. Näiteks, kui on tarvis üles võtta kontuur ABCDEF, siis sentritakse mensul esialgu punkt A kohal ja orienteeritakse orientiirbussooli abil. Viseeritakse üle umbkaudu valitud punktide punkt B-le ja tõmmatakse alidaadi serva mööda joon ab (165. joon.). Seejuures tähistatakse tõmmatud joonte pikendused planšeti servadel, s. o. joon ab pikendused õhtu- ja põhjaserval, silmas pidades, et punkt B kohale tuleb mensuli orienteerimisel üles seada alidaadi serv joon ab kaudu; mida pikem aga alidaadi servaga liidetav joon, seda õigem on orienteerimine, sest lühikese joone juures on raske kindlaks teha, kas alidaadi serv lõikab mensulil olevat joont või läheb seda joont mööda. Ka kõikide teiste joonte tõmbamisel on tarvilik joonte pikendusi tähistada mensuli serval. Siis mõõdetakse joon AB pikkus ja kantakse see pikkus mõõtkava järele plaanile. Saame punkt b. Nüüd seame punkt B kohale mensuli üles, plaanil oleva punkti b järele sentrides ja joon AB kaudu orienteerides. Kinnitame kinnituskruvid ja üle punkt b punkt C-le viseerides, tõmbame joonlaua serva mööda punkt b-st läbi joone bc. Siis võtame mensuli ja joon BC-d mõõ-

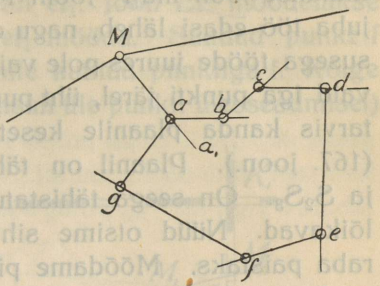


165 joon.

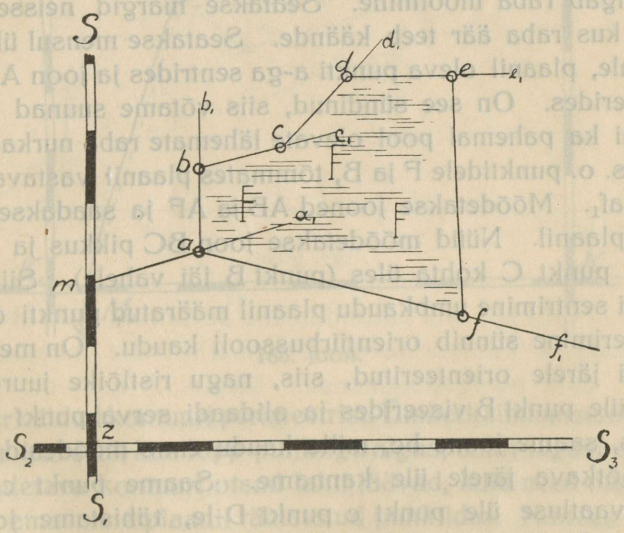


165-a joon.

tes, läheme üle punkt C-sse. Siin talitame nagu eelmistes punktides (165. a joon.). Kui me viimasest punktist F-st punkt A peale viseerime ja joone pikkuse AF plaanile kanname, peaksime tagasi sattuma täpselt punkt a-sse. Kuid harilikult esineb kõrvalekaldumine, mis ei tohi olla suurem kui $^1/_{100}$ ümberkäidud kontuuri perimeetrist. See kõrvalekaldumine parandatakse paralleeljoonte abil. Saadud kontuuri on soovitav ühendada mõne abi- või ühendusjoonega piirjoone polügooniga või mõne toetuspunktiga. Harilikult on enne sisemiste kontuuride mõõtmist men-



166. joon.

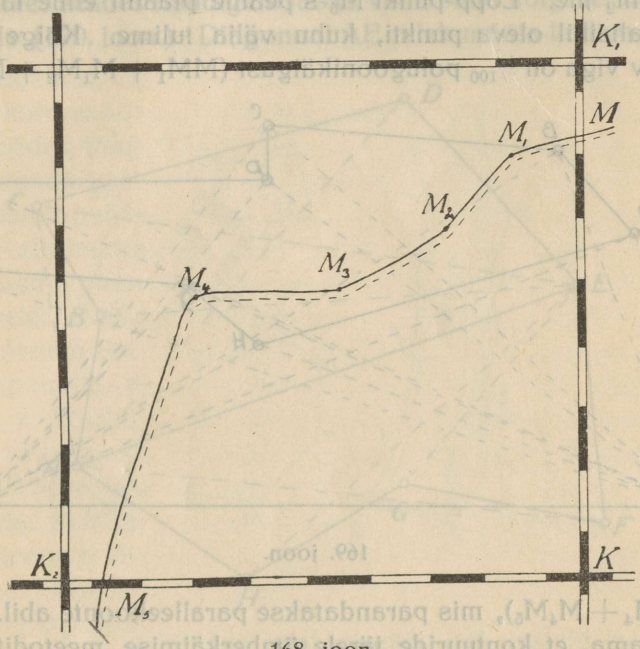


167. joon.

sulil tähistatud polügooni piirpunktid ja toetuspunktid. Näit. on olemas plaanil punkt m (166. joon.), mis vastab natuuras olevale piirpunktile M-le. On tarvis võsaga kaetud karjamaatükki ABCDEFG märkida plaanile. Punkt M kohal sent-

ritakse mensul, teiste polügooni punktide või toetuspunktide kaudu orienteeritakse ja siis, punkt A peale viseerides, tõmmatakse joon ma_1. Joont M-st möötes, saame punkt a, kust juba töö edasi läheb, nagu eelpool kirjeldatud. Vähema täpsusega tööde juures pole vaja mensulit üles seada igas punktis, vaid iga punkti järel, üht punkti vahele jättes. Näiteks on meil tarvis kanda plaanile keset metsa olev rabatükk ABCDEF (167. joon.). Plaanil on tähistatud metsakvartaali sihid SS_1 ja S_2S_3. On seega tähistatud punkt z, kus sihid risti üksteist lõikavad. Nüüd otsime sihte kaudu säärase punkti M, kust raba paistaks. Mõõdame pikkuse ZM ära ja tähistame plaanil punkt m. Nüüd mensulit punkt M-s sentrides ja sihi SS_1 kaudu orienteerides, võtame suuna raba serval tähistatud punkt A-sse, tõmbame joone ma_1. Nüüd, mensuliga punkt A-sse üle minnes, ühtlasi joon MA pikkust möötes, saame plaanil punkt a. Nüüd alles algab raba mõõtmine. Seatakse märgid neisse punktidesse, kus raba äär teeb käände. Seatakse mensul üles punkt A kohale, plaanil oleva punkti a-ga sentrides ja joon AM kaudu orienteerides. On see sündinud, siis võtame suunad nii paremal kui ka pahemal pool olevate lähemate raba nurkade punktidele, s. o. punktidele F ja B, tõmmates plaanil vastavaid jooni ab_1 ja af_1. Mõõdetakse jooned AB ja AF ja saadakse punktid b ja f plaanil. Nüüd mõõdetakse joon BC pikkus ja seatakse mensul punkt C kohta üles (punkt B jäi vahele). Siis sünnib mensuli sentrimine umbkaudu plaanil määratud punkti c_1 kaudu, orienteerimine sünnib orientiirbussooli kaudu. On mensul meridiaani järele orienteeritud, siis, nagu ristlõike juures tahapoole, üle punkt B viseerides ja alidaadi serva punkt b-st läbi juhtides, saame joone bc, mille kaudu enne mõõdetud pikkuse BC mõõtkava järele üle kanname. Saame punkt c. Nüüd teeme vaatluse üle punkt c punkt D-le, tähistame joone cd_1 plaanil. Siis võtame mensuli ja viime ta üle punkt E-sse, jooni CD ja DE üleminekul möötes, kuid mensulit punkt D juures üles seadmata. Punkt E-s sentritakse mensul jälle umbkaudu ja orienteeritakse orientiirbussooli abil meridiaani järele. Siis alidaadi serva läbi punkt d juhtides ja sellele punktile viseerides, ristlõikega tagasi tõmmatakse joon de. Mõõ-

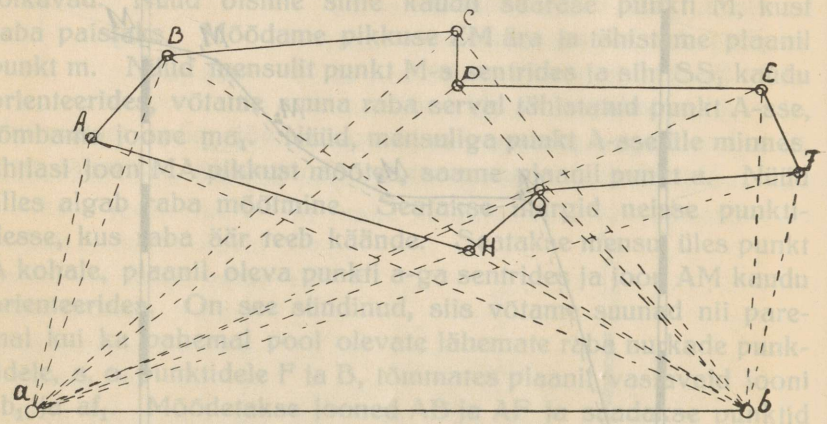
detud pikkust DE mõõtkava järele punkt d-st joon de_1 kaudu üle kandes, saame punkt e. Nüüd viseeritakse üle punkt e punkt F peale ja tähistatakse joon ef_1. Joon EF mõõdetakse ja saadud arv märgitakse joon ef_1 mööda. Saadud punkt f peab liituma punkt A juures plaanile kantud punktiga f. Kõige suurem lubatav vahe on siin (mensuli üle punkti ülesseadmisel)



168. joon.

$^1/_{50}$ ümberkäidud kontuuri perimeetrist. Ümberkäimismeetodit võib tarvitada ka seal, kus lõpp-punktiga alguspunkti tagasi ei tulda, kus mõõdetava kontuuri otsad lahti jäävad, kuid need otsad peavad lõppema enne plaanil tähistatud punktides. Näiteks on tarvis plaanile kanda maantee $MM_1M_2M_3M_4$ (168. joon), mis metsast läbi viib. Töö alguseks valime punkt M, mille seisukoha kvartaalisihtide ristkohast K_1 kindlaks teeme. Kvartaalisihid on juba kantud plaanile. Punkt M kohal saab mensulit sentrida mõõdu MK_1 järele plaanil tähistatud punkti m järele. Siis orienteeritakse mensul suuna KK_1 järele, ja ümberkäimine teed

kaudu algab. Punkt M-s võetakse maantee suund kuni esimese käänuni, siis mõõdetakse joone pikkus ja selle järele saadakse plaanil vastav punkt m_1. Siin, käänul, sentritakse mensul, orienteeritakse selja taha jäänud joont M_1M mööda ja märgitakse eespoolooleva maantee suund kuni järgmise käänuni, punkt M_2-ni. Mõõdetakse joon MM_2, saadakse plaanil punkt m_2 jne. Lõpp-punkt M_5-s peame plaanil enne tähistama kvartaalisihil oleva punkti, kuhu välja tulime. Kõige suurem lubatav viga on $^1/_{100}$ polügoonikäigust ($MM_1 + M_1M_2 + M_2M_3 +$

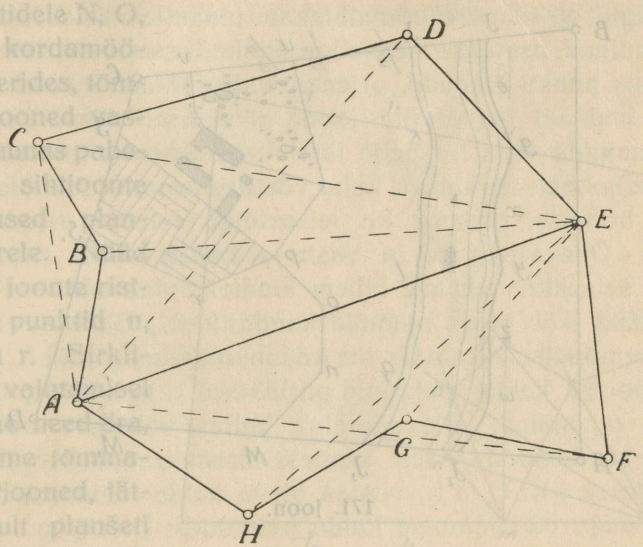


169. joon.

$+ M_3M_4 + M_4M_5$), mis parandatakse paralleeljoonte abil. Peab tähendama, et kontuuride järele ümberkäimise meetodit nimetatakse tihti polügonaalmensuli käiguks, mis on iseäranis kohane nimetus kõige viimati ettetoodud juhtumitel.

II. Ristlõigete meetodi juures valitakse baas, mille pikkus mõõdetakse lindiga. Baasi mõlemasse punkti seatakse üles mensul ja määratakse ristlõigetega kindlaks kõikide lähedalolevate punktide seisukoht plaanil. Ristlõigete juures ei tohiks jooned, mis üksteist lõigates määravad punktide seisukohti, võimalikult mitte sünnitada teravnurki alla 30°-ega ka nürinurki üle 150°. Seda silmas pidades valitakse pikerguste kontuuride, näiteks kontuuri ABCDEFGH juures baas väljaspool kontuuri (169. joon.), sest baas ab valimisel kontuuri sees

oleksid mõned ristlõiked sündinud liiga nürinurgi. On kontuur umbes ühesuuruste läbimõõtudega pikkuses ja laiuses või on kontuur enam-vähem ümmargune, siis on parem, kui on võimalik valida baasi keset kontuuri, võttes siis mõned kontuuri punktidest baasi otsapunktides. Näiteks, kontuuri ABCDEFGH juures võib baasiks valida diagonaali AE, ja punktides A ja E mensulit korda mööda üles seades ristlõigete jaoks võtta sihid kõigi teiste punktidepeale (170. joon.). Diagonaal AE tuleb mõõta lindiga. Rist-

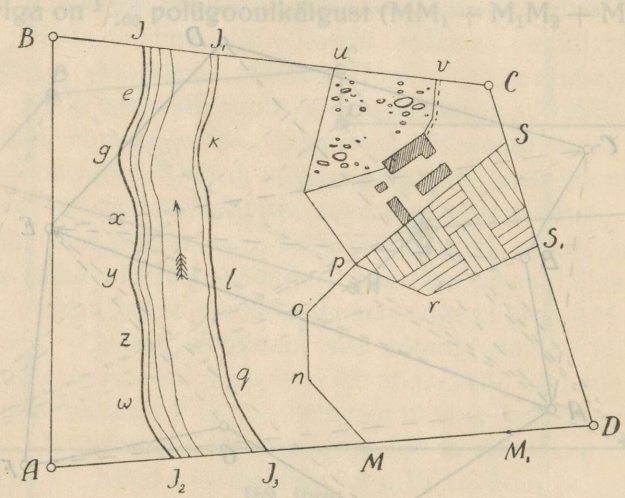


170. joon.

lõigete juures, kui tõmmata kõik jooned üle terve mensulilaua, jääks plaan tumedaks, tekiks mitu rida ristlõikeid, mis segadust tooks. Teisest küljest on tarvilik, et jooned oleksid võimalikult pikemad, et nende järele saaks tarvilikul korral orienteerida mensulit. Sellepärast valitakse mensulil võetavad suunad ainult määratava punkti kaugusele vastavalt pikkuselt, kuid ka siin tähistatakse ühes joone nimetusega (ab, ac, ad jne.) planšeti serval joone pikendus. Niipea kui mõni punkt ristjoontega saadud, torgatakse ta sirkliotsaga õrnalt täpina, mis väikse pliiatsiga tehtud ringiga ümbritsetakse, kuna seda punkti

määravad jooned kustutatakse. Ainult planšeti äärele kantud joone pikendus jäetakse alale. Plaanile võetav kontuur peab mõõdetava koha raja polügooni punktidega või toetuspunktidega seotud olema. Kontrollimise mõttes võetakse kaks baasi ja otsitavad punktid määratakse kui kolme joone ristlõike koht.

Tarvis on kanda plaanile koht ABCD sisemised kontuurid. Piirpunktid A, B, C ja D on plaanile joonistatud teodoliidiga mõõtmisel saadud andmete järele (171. joon.). Rajade mõõt-

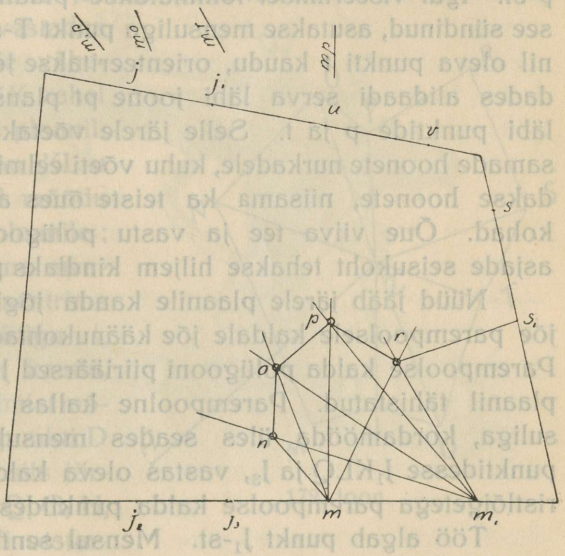


171. joon.

misel on ühtlasi ära märgitud ka punktid J, J_1, J_2, J_3 kui jõe seisukohta määravad punktid: punkt u, kus heinamaa lõpeb ja viljapuu-aed algab; punkt v, kus tee piirist läbi läheb; punkt S, kus õu lõpeb ja juurvilja-aed algab; punkt S_1, kus juurvilja-aed lõpeb ja põld algab; punkt M, kus põld lõpeb ja heinamaa algab. Need punktid on mensuliplanšetil olemas.

Sisemiste kontuuride mõõtmiseks valime esiti polügooni küljel AD punktid M ja M_1, millede kaugus teineteisest võetakse baasiks, et tähistada punkte N, O, P ja R. Neis punktides seatakse üles nurgakepid. Punkt M_1 on valitud nõnda, et sisemine kontuur oleks siit hästi näha. Nüüd seame mensuli punkt M kohale, sentrime teda plaanil oleva punkti m

järele, seame horisontaalseisu ja orienteerime mööda joont $M M_1$. Siis kinnitame kõik kinnituskruvid ja, alidaadi serva üle punkt m juhtides (171. a joon.), viseerime kordamöda punktidele N, O, P ja R, tõmmates iga kord vastavat joont mööda alidaadi serva ja tähistades planšeti äärel joone pikendust. On see sündinud, kantakse mensul punkt M_1 üle, sentritakse plaanil tähendatud punkt m_1 järele, seatakse horisontaalseisu ja orienteeritakse joon M_1M järele. Siis alidaadi serva läbi punkt m_1 juhtides ja punktidele N, O, P ja R kordamööda viseerides, tõmbame jooned vastavas suunas paberile ja sihtjoonte pikendused planšeti äärele. Nüüd on käes joonte ristlõigete punktid n, o, p ja r. Sirkliotsaga vajutamisel märgime need ära, kustutame tõmmatud sihtjooned, jättes ainult planšeti äärele pikendused, ja ühendame saadud punktid joontega, ühtlasi ühendades punkte r ja s. Murtud joon m n o p r s on otsitav põllu piir, mis lahutab põldu heinamaast ja aiamaast. Nüüd valime järgmiseks baasiks heinamaad ja õuemaad piirava joone PT. Mõõdame selle joone. Asume mensuliga punkt P-sse, sentrime siin mensuli plaanil oleva punkti p järele, seame mensuli horisontaalseisu ja orienteerime joon PM kaudu; selleks seatakse alidaadi serv läbi plaanil olevatest punktides m, p ning planšeti äärel oleva joone mp pikendusest ja käänatakse mensulit niikaua horisontaalpinnas, kuni punkt M katab dioptrite niiti. On men-



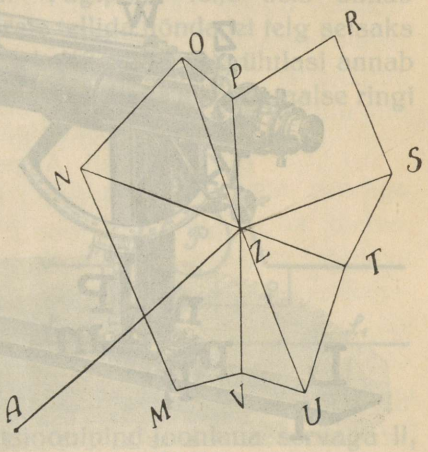
171. a joon.

sul orienteeritud, siis kinnitatakse kruvid ja viseeritakse punkt T peale, alidaadjoonlaua serva punkt p-st läbi juhtides ja tõmmates vastavat joont pt ühes pikendusega planšeti äärele. Üle kandes plaanile mõõtkava järele joon PT pikkust punkt p-st, saame plaanil punkt t. Nüüd, mensulit paigast liigutamata, viseeritakse kõigi õues asuvate hoonete nurkade peale, niisama ka kõigi läheduses olevate asjade peale, mida oleks tarvis märkida plaanile ja mis on näha punkt p-st. Igal viseerimisel tõmmatakse plaanile vastav joon. On see sündinud, asutakse mensuliga punkt T-sse, sentritakse plaanil oleva punkti t kaudu, orienteeritakse joon TP kaudu, pikendades alidaadi serva läbi joone pt planšeti äärel ja juhtides läbi punktide p ja t. Selle järele võetakse sihtjooned nendesamade hoonete nurkadele, kuhu võeti eelmisestki punktist. Saadakse hoonete, niisama ka teiste õues asuvate asjade seisukohad. Õue viiva tee ja vastu polügooni piiri BC olevate asjade seisukoht tehakse hiljem kindlaks piirpunktidest V ja C.

Nüüd jääb järele plaanile kanda jõgi. Selleks valitakse jõe parempoolsele kaldale jõe käänukohtade punktid K, L ja Q. Parempoolse kalda polügooni piiriäärsed J_1 ja J_3 olid juba enne plaanil tähistatud. Parempoolne kallas võetakse üles mensuliga, kordamööda üles seades mensulit polügoonikäiguga punktidesse J_1KLQ ja J_3, vastas oleva kalda käänupunktid aga ristlõigetega parempoolse kalda punktidest J_1KLQJ_3.

Töö algab punkt J_1-st. Mensul sentritakse plaanil oleva j_1 järele ja orienteeritakse joon J_1C-d kaudu; siis viseeritakse parempoolsel kaldal oleva järgmise punkti K peale ja teisel pool kaldal oleva punkti E peale, tõmmates alidaadjoonlaua serva mööda jooni jk ja je ühes vastavate pikendustega planšeti äärel. Nüüd mõõdetakse joon J_1K ja tähistatakse saadud mõõtu plaanile kandes punkt k. Seatakse punkt K-sse üles mensul, sentritakse teda plaanil oleva punkti k järele, orienteeritakse joon KJ_1 kaudu, läbi seades alidaadi serva plaanil olevatest punktidest k ja j_1, peamiselt aga juhtides tähelepanu sellele, et alidaadi serv ühtlasi läbi läheks ka joon j_1k pikendusest planšeti raamil. Et punkt J_1 seisab kaunis lähedal punkt K-le, siis ei ole saadud orienteerimine küllalt usaldusväärne, —

tuleb parandada mensuli orienteerimist kaugel olevate punktide — kas A või D kaudu, kui viseerimine nende peale on võimalik. On mensul täpselt orienteeritud, siis viseeritakse järgmise punkti L peale ja teisel pool kaldal olevate punktide E_1G ja X peale, tähistades planšetil vastavaid jooni ühes pikendustega. Et punkt E seisukoht juba ristiga märgitud, tähistame selle punkti ringiga ja kustutame abisihtjooned, ühendame punkt e ja j silma järele, vähemaid kõverikke nende kahe punkti vahel kohe juurde joonistades, ühtlasi ühendame ka jooned j_1 ja k, arvestades natuuras olevaid jõe vähemaid käändusid J ja K vahel ning tähistades neid plaanil. Nüüd mõõdame joon KL-u ja kanname saadud mõõdu mõõtkava järele plaanile; saame punkt l. Asume mensuliga punkt L-u, sentrime plaanil oleva punktiga l, orinteerime joon lk kaudu, parandame orienteerimist mõne kaugemal oleva punkti D kaudu ja viseerime siis järgemööda punktidele Q, G, H, X, Y ja Z. Kontrolli otstarbeks viseeritakse punkt E peale. Nüüd on vastas oleval kaldal punktid G, H ja X ristiga tähistatud, mida väikeste ringjoontega märgime, sihtjooned kustutame ja jõekalda natuuras oleva joone plaanile üle kanname. Nõnda läheb töö edasi kuni talu piirini. Parempoolse kalda vähemate käändude seisukohta võib tähistada joonte mõõtmise ajal ekkeri abil.



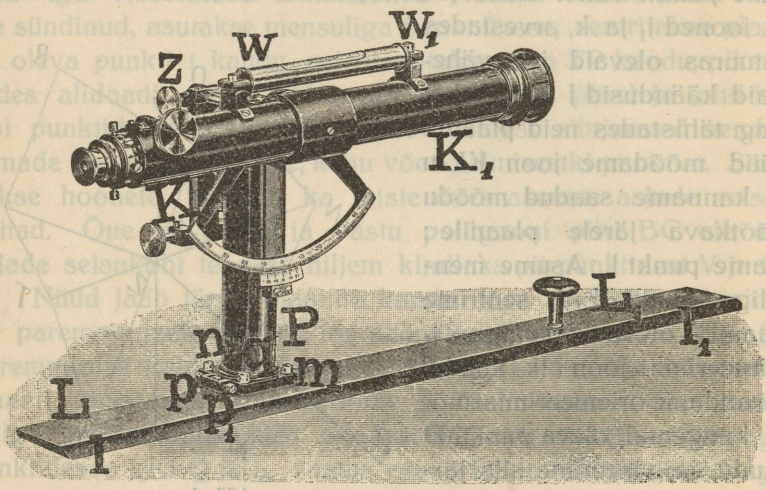
172. joon.

III. Polaarmeetod ehk kiirjoonte meetod seisab selles, et me asume mensuliga keset kontuuri punkt Z-u (172. joon.), seome selle punkti kuidagi viisi plaanil juba tähistatud punktide ja joontega (joon AZ suunda ja pikkust tähistades), mensulit tarvilikult joon AZ kaudu orienteerides, võtame suunad kõikide kontuuri nurkade M, N, O, P, R, S, T, U ja V peale, tõm-

mates mensulil vastavaid jooni zm_1, zn_1, zo_1, zp_1, zs_1, zr_1, zt_1, zu_1 ja zv_1, mõõdame jooned ZM, ZN, ZO jne. lindiga ja saame otsitavad punktid m, n, o, p, r, s, t jne. plaanil. Suurt raskust teeks siin lindiga mõõtmine. Selle ärahoidmiseks tarvitatakse käesoleva meetodi puhul harilikult kipreeglit kaugusemõõtjaga.

Kipreegel.

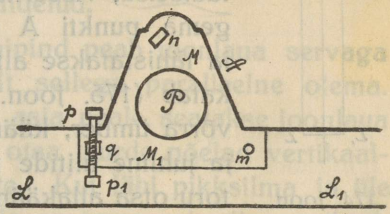
Kipreegel on vaskjoonlaud LL_1 (173. joon.), mille üks serv on sirgjoon, teises servas aga väljapoole ulatuv nurk.



173. joon.

Sellel kohal on joonlaud LL_1-le üles seatud vaskplaat MM_1 ühenduskruvide m n q abil. Plaadiga ühest tükist või liikumata ühenduses on tugipost P, mille ülemises otsas pikksilm KK_1 nõnda on üles seatud, et ta annab käänata vertikaalpinnas. Kinnituskruvi Z võib seda liikumist takistada. Okulaaritorus on diafragma niitidevõrguga, milles on üks vertikaalne ja kolm horisontaalset niiti. Pikksilma kollimatsionipind, mis läheb läbi vertikaalse niidi ja objektiivi sentri, peab pikksilma käänamisel alati vertikaalseks jääma ja ühtlasi joonlaua sirgjooneliselt servalt ll_1 läbi minema või joonlaua LL_1 pinda lõikama joonega, mis oleks paralleelne joonlaua servaga ll_1. Nende tingimuste täitmiseks peab pikksilma optiline telg perpendiku-

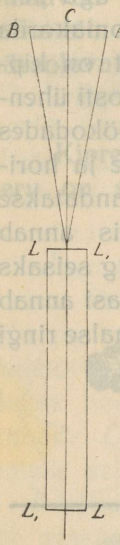
laarne olema pikksilma horisontaalse käänamise teljega; horisontaalse käänamise telg aga peab paralleelne olema joonlaua pinnale. Selleks võib horisontaalse käänamise telg aga perpendikulaarne olla tugipost P teljele ja see viimane omakorda perpendikulaarne joonlaua pinnale. Suuremalt jaolt on kipreeglite juures pikksilma horisontaalse võlli ja tugiposti ühendus muutumata ja seatakse vastavalt korda juba töökodades valmistamisel. Väike viga — pikksilma optilise telje ja horisontaalse võlli mitteperpendikulaarne seis — parandatakse diafragma ümberpaigutamisega. Tugiposti telje seis annab aga ühenduskruvide m, n ja q järele tellida nõnda, et telg seisaks täiesti joonlauale perpendikulaarselt (173. a joon.); ühtlasi annab telg ühes tema külge liidetud pikksilma teljega horisontaalse ringi suunas käänata paranduskruvide pp_1 abil, kusjuures plaat ühes kõige tema peal oleva kipreegli osaga annab käänata ümber kruvi m kui telje, milleks teiste kruvide n ja q kohale on jäetud plaat MM_1-le suuremad pikergused augud, millede kaudu paranduskruvide pp_1 abil seatakse kollimatsioonipind joonlaua servaga ll_1 ühte pinda või sellele paralleelseks. Paranduskruvidega töötamisel peab ühenduskruvid m, n ja q lahti kruvitama. Kollimatsioonipinna vertikaalsuse parandus sünnib peamiselt ühenduskruvi n kaudu; seda kruvi välja või sisse kruvides saame pikksilma horisontaalse käänamise telge vastavalt tõsta või alla lasta.



173. a joon.

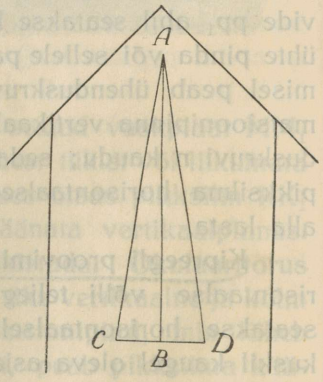
Kipreegli proovimine: I. Kipreegli optiline telg peab horisontaalse võlli teljega perpendikulaarne olema. Kipreegel seatakse horisontaalselt seisvale mensulilauale, viseeritakse kuskil kaugel oleva asja A peale ja tõmmatakse joonlaud LL_1 serva mööda sirgjoon (174. joon.). Nüüd tõstetakse kipreegel ümber, nõnda et ta seisaks servapidi jälle seda joont mööda, kuid teisel pool küljes; ühtlasi kääname ka pikksilmatoru üle seniidi. Läbi pikksilma peab viseeritav asi jälle näha olema

keset niitide risti. Ei näe me läbi niitide risti mitte punkt A-d, vaid mõnd muud punkti B, siis on pikksilmatorul nõndanimetatud kollimatsiooniviga: keerlemisvõlli telg ei ole optilise teljega perpendikulaarne. Väike viga parandatakse, kui okulaari diafragma ühes niitidega parandusкruvi abil ümber paigutame, nõnda et läbi risti oleks näha punktide A ja B vahel poolel kaugusel asuv punkt C.



174. joon.

II. Pikksilmatoru käänamise horisontaaltelg peab joonlaua pinnale paralleelne olema. Vastasel korral sünnib pikksilma käänamisel, mensuli olles horisontaalseisus, mitte vertikaalne kollimatsioonipind, vaid kaldpind. Mensul seatakse horisontaalseisu, viseeritakse kuskil maja seinal oleva kõrgema punkti A peale, käänatakse toru allapoole ja tähistatakse all seinal punkt D, mida niitide rist katab (175. joon.). Nüüd tõstame kipreegli 180° võrra ümber, kääname ta pikksilmatoru üle seniidi ja juhime niitide risti jälle punkt A-le. Pikksilmatoru otsa allakäänamisel peab niitide rist jälle katma punkt D-d. Katab ta aga punkt C-d, siis on see tunnuseks, et kollimatsioonipind ei ole vertikaalne, ühtlasi ei ole kumbki seinal tähistatud joontest, ei AD ega AC, vertikaalne, vaid vertikaalne on joon AB, mis joon CD pooleks jagab. Viga parandatakse, kipreegli joonlauda ja tugiposti alust plaat M-u ühenduskruvi n sisse või välja kruvides, nõnda et okulaari diafragmaniit kataks punkt B.



175. joon.

Märkus: Pikksilma kollimatsiooniviga peab olema enne viimast proovimist juba parandatud.

On juhtumeid, et pikksilmatoru ei anna üle seniidi käänata. Säärastel kordadel tehakse I ja II tingimuse proovimine järgmiselt:

Lastakse kuskilt seina küljest loodnöör alla, viseeritakse nööri kõrgema punkti peale ja pikksilmatoru alla lastes vaadatakse, kas okulaari diafragmaniidi rist jääb kogu aja loodnööriga ühte joonde või mitte. Kui pikksilmatoru allalaskmisel diafragmarist liigub loodnöörist kõrvale ja kui see liikumine sünnib sirgjoone suunas, siis on üksnes kollimatsioonipind kallak ja jääb ainult kruvi n sisse või välja kruvida. Liigub aga niitide rist kõverjoont mööda, loodnöörist enne eemale hoides ja pärast jälle lähenedes, siis tuleb arvata, et pikksilmatoru telg ei ole horisontaalse keerlemise võlli teljega perpendikulaarne ja tuleb diafragma seisukohta parandades uuesti proovida, kas peale kollimatsioonivea ei ole ka horisontaalne telg õiges seisus. Kui diafragma ristots loodnööri mööda alla liigub, on mõlemad tingimused täidetud.

III. Pikksilma kollimatsioonipind peab joonlaua servaga ühte langema või kõige vähemalt sellega paralleelne olema. Viseeritakse kuhugi kaugel oleva asja peale, seatakse joonlaua serva mööda joonlaua kummagi otsa juurde nõelad vertikaalseisu ja viseeritakse ka üle nõelte. Kui läbi pikksilma ja üle nõelte viseerimisel on näha üks ja seesama asi, siis on tingimus täidetud. Vastasel korral tulevad kruvid n ja q vähe vallandada ja siis tuleb paranduskruvide p ja p_1 abil tugiposti ühes pikksilmaga ümber vertikaaltelje käänata nõndakaua, kuni läbi pikksilma ja üle nõelte näeme üht ja sedasama punkti.

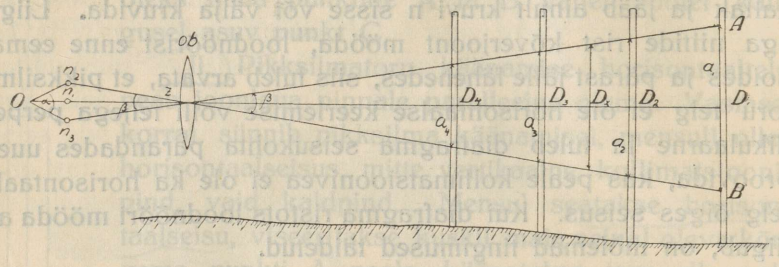
Et kipreegliga oleks võimalus teha hädakorral loodimistöid, on kipreegli pikksilmatoru külge kinnitatud silindervesikaal ww_1, kuid see võib ka puududa. Aga vertikaalnurkade mõõtmiseks on pea kõikide kipreeglite juures vertikaalratas ehk sektor olemas. Sektori, niisama ka vesikaalu abil on võimalus mensulitöö juures horisontaalse plaani joonistamisel täiendada seda plaani punktide vahekõrgustega.

Kaugusemõõtjad.

Kipreegli kaugusemõõtja kujutab enesest okulaari diafragma külge kinnitatud kaht horisontaalniiti n_2 ja n_3, mis hariliku keskmise diafragma horisontaalniidiga n_1 on paralleelsed

ja täpselt ühekaugusel (176. a joon.). Et niitide seis on muutumata, siis sünnitavad silm O-st niitide n_2 ja n_3 suunas väljuvad kiired alalist nurka $\alpha = n_2On_3$ (176. joon.).

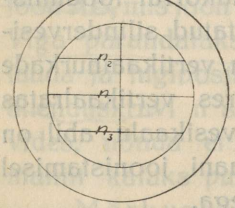
Silmas pidades, et diafragma kaugus objektiivist vaadeldavate asjade kauguse juures 40—150 meetrini võrdlemisi õige



176. joon.

vähe muutub, võib ka nurk $\beta = n_2Zn_3 = AZB$ peaaegu muutumatuks arvata. Säärasel korral loodimislatti üles seades mitmesugustesse kaugustesse aparaadist ja niitide n_2 ja n_3 suunas latile vaadates saame seda rohkem pügalaid latilt, mida kaugemal asub latt aparaadist. Kui nurk β oleks tõesti muutumatu, peaks pügalate arv olema proportsionaalne kaugusele. Tähistades täht a-ga pügalate arvu latil, mis on näha läbi pikksilma, niitide n_2 ja n_3 vahel, ja D-ga lati kaugust objektiivist, saame:

$$\frac{D_1}{a_1} = \frac{D_2}{a_2} = \frac{D_3}{a_3} \ldots\ldots = k.$$



176. a joon.

Kui see vahekord on määratud, s. o. suurus k teada saadud, siis võib iga otsitava punkti x kaugust sellest kohast arvutada vastava pügalate arvu a_x järele.

$$\frac{D_x}{a_x} = k, \text{ kust } D_x = a_x k \quad (I).$$

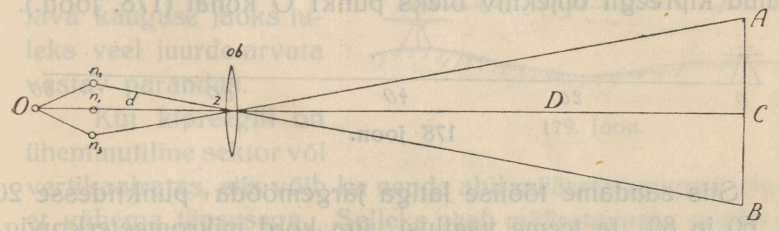
Kuid üsna täpne see asjaarutamine ei ole, sest lõpuks muutub nurk β suurus kauguse D muutumisel; mida kaugemal asi aparaadist, seda lähemale tuleb diafragma objektiivile — seda suurem on nurk β, kuna nurk α suurus oleneb ainult

vaataja silmadest (kas kaugnägija või lühinägija), — seega kujutab iga üksiku vaataja jaoks muutumatut suurust.

Täpse vahekorra kauguste ja lativaatluste vahel saame valemi abil:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}.$$

Tähistame kauguse kahe äärmise diafragmaniidi vahel, mis on muutumatud suurused, täht b-ga ja lativaatluse nende niitide suunas täht a-ga; $n_2n_3 = b$; $AB = a$ (177. joon.). Saame $\frac{b}{d} = \frac{a}{D}$, missugune vahekord on õige igasuguste kauguste jaoks.



177. joon.

Määrates viimasest valemist d ja viies eelmisse valemisse, saame:

$$d = \frac{bD}{a};\ \frac{1}{D} + \frac{1a}{bD} = \frac{1}{f};\ \frac{b+a}{bD} = \frac{1}{f};\ D = \frac{(b+a)f}{b} = f + \frac{af}{b}.$$

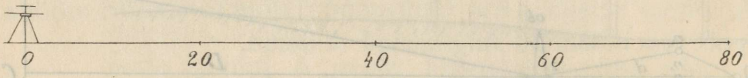
Suurused f ja b on iga antud kaugusemõõtja juures muutumatud suurused, seega võime tähendada $\frac{f}{b} = k_1$, mille järele

$$D = f + k_1 a \quad \text{(II)}.$$

See on, määratav kaugus võrdub pikksilma objektiivi fookusega pluss lativaatlus a, mis korrutatud kaugusemõõtja koeffitsiendi k_1-ga. Koeffitsient k_1 leidmisel tuleb enne teraslindiga mõõtmisel kindlaks määratud pikkuse juures (näit. $D = 60$ m) teha vaatlust niitide suunas latile ja määrata äärmiste niitide vahel asuva latiosa pügalate arv a; fookuse kauguse f võib kindlaks teha, kui juhtida pikksilma mõne lõpmata kaugel oleva asja poole (kuu, tähed) ja peale okulaari parallaksi kõrvaldamist mõõta diafragma ja objektiivi vahe. Siis oleks

$k_1 = \frac{D - f}{a}$. Saadud arvu tuleb mõnesuguse teise joone mõõtmisega kontrollida.

Kui see koeffitsient määratud, võib kaugusemõõtja jaoks arvutada abitabeli, kus üles antud igasugustele latipügala arvudele vastavad joonte pikkused. Vigade kõrvaldamiseks on soovitav, et koeffitsient kindlaks määrataks mitte ühe mõõtmise, vaid kahe, kolme mõõtmise järele. Kui mõõtmist teeme vähema täpsusega, siis võime valem I tarvitada järgmiselt: mõõdame kuskil täiesti tasasel pinnal sirgjoont mööda 20 m, siis 40, 60 ja 80 m, jättes igas punktis maasse vardaid. Nüüd seame punkt O-sse mensuli üles nõnda, et mensuli peale seatud kipreegli objektiiv oleks punkt O kohal (178. joon.).



178 joon.

Siis saadame töölise latiga järgemööda punktidesse 20, 40, 60 ja 80, ja teeme vaatlusi, iga kord mikromeeterkruviga pealmist niiti kindla täisarvu (terve pügala) peale juhtides ja alumisele niidile vastavast vaatluse arvust lahutades pealmise niidi kaudu tehtud vaaatluse arvu.

Saime näiteks:

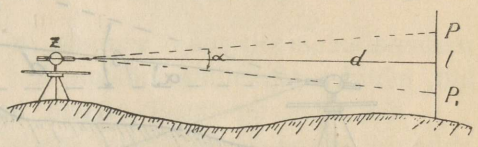
	Meetrid	Pügalad
	20	35
	40	71
	60	106
	80	141
Kokku	200 m	353 p.

Seega vastab ühele pügalale 0,566 m ehk:

Pügalad	Meetrid
10	5,7
20	11,3
30	17,0
40	22,6
50	28,2
60	33,9
70	39,5
80	45,1
90	50,8
100	56,6

Tabel tuleb valmistada enne töö algust iga kipreegli jaoks. Kui vaatlus oleks olnud 76 pügalat, siis vastab sellele tabeli järele 39,5 + 3,39 = 42,89 m ehk ümmarguselt võetult 43 m. Üldse kipreegli abil pikkuste määramisel võib saada ainult kuni $^1/_2$-m täpsuse, mis küllalt vastab mõõtkavale 50 m ühes sm, osalt ka mõõtkavale 25 m ühes sm.

Sedasama viisi tuleb tarvitada ka teodoliidi okulaaris olevat kaugusemõõtjat (Ertel'i kaugusemõõtja). Kuid teodoliidi juures võib kauguse määramine sündida täpsemalt II valemi järele, kus peale selle veel tuleks arvestada, et D on kaugus objektiivist. Aparaadi sentrist määratava kauguse jaoks tuleks veel juurde arvata vastav parandus.



179. joon.

Kui kipreeglil on üheminutiline sektor või vertikaalratas, siis võib ka nende abil määrata kaugust, olgu küll et vähema täpsusega. Selleks peab määratavasse punkti latt l üles seatama, millel kaks kindlat silmapaistvat punkti p ja p_1, nende punktide vahe aga enne mõõdetama (179. joon.). Näiteks, p (lati ülemine ots) ja p_1 vahe on täpselt 4 meetrit; punkt p_1 peab aga maapinnast asuma miinimum 1 m kõrgusel, et maapinna lähedal olevad asjad tema peale viseerimist ei takistaks. Juhime kipreeglitoru esiti punkt p-le, teeme vaatluse vertikaalratta nooniuse järele, siis juhime pikksilma punkt p_1 ja teeme uue vaatluse; vaatluste vahed annavad meile nurga suuruse $pzp_1 = \alpha$, juhtumil, kui mõlematel kordadel vernjeeri indeks asus ühel pool vertikaalratta nulli. Kui aga esimese vaatluse aegu vernjeer asus allpool limbi nulli ja teise vaatluse aegu seesama vernjeer pealpool nulli, siis tuleb vaatluste andmed liita; seega tasaste maade juures $\frac{l}{2} = d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$. Määratav kaugus $d = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$.

Juhtumil, kui maapind on künkline, nii et teatud kalle on olemas, tuleb järgmiselt talitada: Aparaat korda seada nii, et vernjeeri indeks vertikaalratta nulliga ühtiks pikksilma

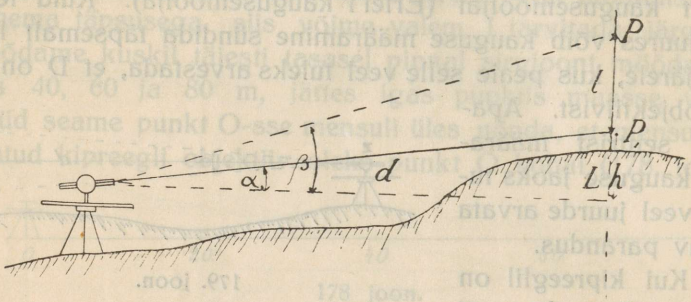
optilise telje horisontaalseisu juures (talitatakse nagu teodoliidi vertikaallimbiga).

Nüüd teeme jälle vaatlused p ja p_1 peale (180. joon.),

$$h = d\,tg\,\alpha\ (I);\quad h + l = d\,tg\beta\ (II).$$

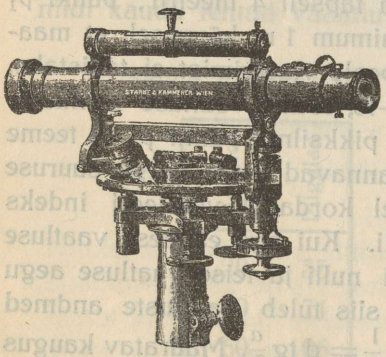
teisest valemist esimest lahutades saame:

$$d\,(tg\beta - tg\alpha) = l\ (III)\ \text{ja}\ d = \frac{l}{tg\,\beta - tg\alpha} = \frac{l\cos\beta\cos\alpha}{\sin(\beta-\alpha)}.$$



180. joon.

Et saada suuremat täpsust mõõtmisel, on harva mõne kipreegli juures (teodoliitide ja nivelliiride juures õige sagedasti) pikksilma vertikaalpinnas väikest liikumist võimaldava peenevindilise mikromeeterkruvi pea küljes trummel (silinder), mille serv jaotatud 100 pügalaks; tugipostiga ühenduses oleva indeksi järele võib lugeda mikromeeterkruvi pöörde sajandik-osi, niisama siin ülesseatud joonlaua järele mikromeeterkruvi täielikke pöörde arvusid. Mikromeeterkruvi pöörde arvud, võetud täpsusega kuni 0,01 pööret, võimaldavad õige täpselt nurga suuruse määramist või otseteed kauguse mõõtmist. Säärane kaugusemõõtja kannab Stampfer'i kaugusemõõtja nime (181. joon.). Stampfer'i kaugusemõõtja teooria oleks järgmine (182.joon.):



181. joon.
Starke' nivelliir Stampfer'i kaugusemõõtjaga.

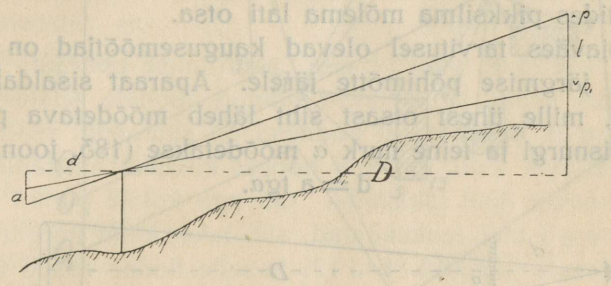
D = horisontaalkaugus aparaadist kuni latini;

d = mõõdutrumli serva ja temaga ühenduses oleva vertikaalse joonlaua kaugus esimese tugiposti juures asuvast šarniirist;

l = lati pikkus tähistatud punktide p ja p_1 vahel;

a = kaugus vertikaalsuunas vaatluste p ja p_1 vastavalt diafragmaniitide risti seisukohtade vahel määratakse mikromeeterkruvi trumli vaatluse järele, mikromeeterkruvi käigu vahet (n) arvesse võttes, stangen-sirkliga 10 kruvikäigu kõrgust täpselt mõõtes ja 10-ga jagades ($n = \frac{m}{10}$).

$a = n(w_1 - w_2)$, kus w_1 on vaatlus punkt p-le ja w_2 on vaatlus punkt p_1-le; $\frac{l}{a} = \frac{D}{d}$.



182. joon.

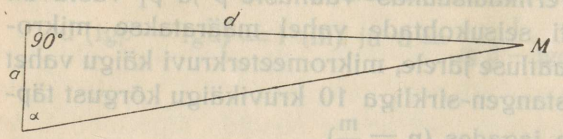
Siit järgneb: $D = \frac{ld}{a} = \frac{ld}{n(w_1 - w_2)}$, kus n, l ja d on muutumatud suurused. Kaugus D muutumisega muutuvad ainult trumlivaatlused $(w_1 - w_2)$. Seega oleks: $D = \frac{k}{w_1 - w_2}$, kus $k = \frac{ld}{n}$.

Selle asemel, et neid muutumatuid suurusi üksikult määrata, võime tasasel maapinnal mõõta aparaadi juurest 100 m ja sellele vastava vaatluse $(w_1 - w_2) = r$ määrata, selle järele mõõta 200-meetrilisele kaugusele vastava $w_1 - w_2 = r_2$ ja siis veel 300 m vastava r_3. Kui töö korralik, on $r_1 : r_2 : r_3 = {}^1/_{100} : {}^1/_{200} : {}^1/_{300}$. Üldse teades, et D ja r on omavahel pöördvõrdelised, võib arvutada igasugusele r-le vastava D.

$$D^x : D_{100} = (w_1 - w_2)_{100} : (w_1 - w_2)_x = r_{100} : r_x;$$
$$D^x : 100 = r_{100} : r_x;$$
$$D_x = \frac{100\, r_{100}}{r_x} = \frac{100\, r_{100}}{(w_1 - w_2)_x}.$$

Stampfer'i kaugusemõõtjaga on võimalik määrata ka suuremaid kaugusi, kuni paari km, kuna Ertel'i kaugusemõõtjaga saab mõõta maksimum 200 m kaugusi.

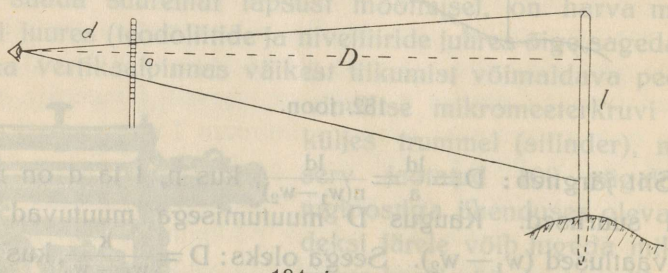
Kaugusemõõtmist võib toimetada ka säärase teodoliidiga, millel vertikaalratas puudub. Sel korral tuleb mõõdetavas punktis S latt, mille pikkus teada, hoida horisontaalselt, kuid perpendikulaarselt antud suunale, ja vaatlusi teha teodoliidi limbilt, juhtides pikksilma mõlema lati otsa.



183. joon.

Sõjaväes tarvitusel olevad kaugusemõõtjad on tihtilugu ehitatud järgmise põhimõtte järele. Aparaat sisaldab eneses baasi a, mille ühest otsast siht läheb mõõdetava punkti M peale täisnurgi ja teine nurk α mõõdetakse (183. joon.)

$$d = a \operatorname{tg} \alpha.$$

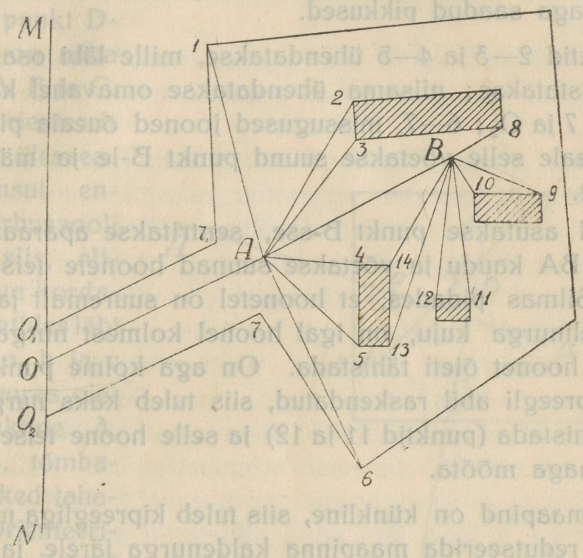


184. joon.

Juhtumil, kui baas ei ole antud aparaadi sees, vaid järgemööda tuleb üles seada kahte punkti A ja B, et määrata kaugust punkt M-st, siis saame juba triangulatsioonilise kaugusemõõtmise. Nagu näeme, on kõik kaugusemõõtjad — Ertel'i, Stampfer'i ja ka teised — rajatud kolmnurkade arvutamisele.

Ligikaudselt võime kaugust määrata ka järgmiselt ilma aparaadita lati või teiba ja lihtmõõtepulga abil. Koorime hariliku peenema lati 4 m pikkuselt, jättes allapoole otsa veel 1 m võrra koorimata.

Väljasirutatud käes mõõtepulka võimalikult vertikaalselt hoides, nõnda et pöidlaots oleks nullpunkti kohal, teeme vaatluse üle pöidlaotsa (üle tollipulga nullpunkti) lati allaotsa, ja pead võimalikult endises seisus hoides teeme teise vaatluse lati ülemisse otsa, saades tollipulgalt vaatluse a (184. joon.). $\frac{D}{d} = \frac{l}{a}$; $D = \frac{dl}{a}$, kus l on muutumatu suurus, niisama ka



185. joon.

d peale vähest harjutust; d-d mõõta ei ole tarvis, see määratakse 50 m peale latti üles seades vastava D, l ja a järele.

Töötamine kipreegliga.

On tarvis kipreegliga üles võtta talu õu (185. joon.). Plaanil on olemas polügooni külg MN ja sellel küljel olev punkt O, mis asub keset tänavat. Asume aparaadiga punkt O-sse, sentrime, orienteerime joon OM-u kaudu ja võtame suuna A peale (punkt A peab asuma õue säärases kohas, kust võimalikult hästi oleksid näha maja nurgad. Siht tähistatakse mensulil, kipreegel annab aga ühtlasi ka kauguse OA. Asume

nüüd punkt A-sse, sentrime, orienteerime mensulilaua joon AO kaudu ja juhime kipreegli kordamööda punktidesse 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ja 7_1; seejuures peab kipreegli joonlaua serv plaanil märgitud punktist a läbi minema. Punktides 1, 2, 3 j. t. seatakse vaatluste puhul üles pügalatega latt ja määratakse kipreegli abil kaugus; kipreegli joonlaua serva mööda tõmmatud vaadeldavate punktide suundadele kantakse mõõtkava järele kaugusemõõtjaga saadud pikkused.

Punktid 2—3 ja 4—5 ühendatakse, mille läbi osa hoonete seinu tähistatakse; niisama ühendatakse omavahel ka 1—7_1; 7_1 ja O_1; 7 ja O_2; 6—7, missugused jooned õueaia piiri kujutavad. Peale selle võetakse suund punkt B-le ja määratakse B asukoht.

Nüüd asutakse punkt B-sse, sentritakse aparaat, orienteeritakse BA kaudu ja võetakse suunad hoonete teistele nurkadele. Silmas pidades, et hoonetel on suuremalt jaolt täisnurkse nelinurga kuju, on igal hoonel kolmest nurgapunktist küllalt, et hoonet õieti tähistada. On aga kolme punkti tähistamine kipreegli abil raskendatud, siis tuleb kaks nurgapunkti hoonel tähistada (punktid 11 ja 12) ja selle hoone teised küljed mõõterihmaga mõõta.

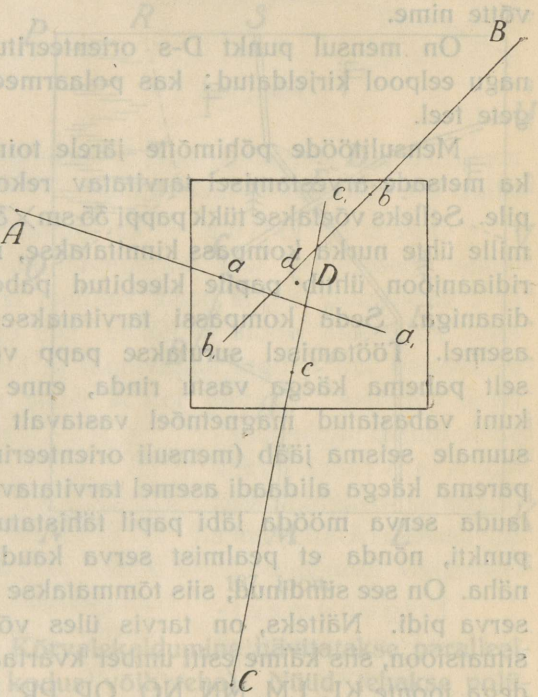
Kui maapind on künkline, siis tuleb kipreegliga mõõdetud kaugused redutseerida maapinna kaldenurga järele ja mõõdetava joone projektsioon arvutada. Seks tarvitatakse kipreegli sektorit nõnda, kui me pikkuste mõõtmisel eklimeetrit tarvitasime.

Mensuliga plaani valmistamisel on soovitav, et kõik päeval väljal pliiatsiga tehtud kontuuride joonised õhtul tušiga üle tõmmataks. Ka on soovitav, et plaani töötamise ajal mitte liiga ära ei määritaks; sellest hoidumiseks pannakse mensulilaual olevale polügoonilehele vahapaber või vahariie üle, mille läbi paberil olev kontuur küllalt oleks näha mensuli orienteerimise puhul; joonistatakse vahapaberile, kust kontuurid õhtul mensuliplanšetile üle kantakse ehk, mis veel õigem, tehakse töötamise ajal väljal vahapaberisse ümbruskonna kohta, kus öötatakse, vastav auk, mille tõttu suurem osa mensulilauda

vahapaberiga määrimise eest on kaitstud, kuna joonistamine toimub otsekohe originaalil.

Mensulitööde puhul tuleb tihtilugu mensul üles seada punkti, mida plaanil veel pole olemas. See sünnib nõndanimetatud P o t e n o t ' i ü l e s a n d e lahendamise teel.

Näiteks on meil natuuras olemas punktid A, B ja C, mis ka mensulil tähistatud (186. joon.). On soovitav üles seada mensulit punkt D-sse, kust on näha punktid A, B ja C. Selleks orienteeritakse siin ülesseatud mensul enne orientiirbussooli abil ja siis, alidaadi serva kordamööda juhtides läbi punktide a, b ja c ning natuuras olevate punktide A, B ja C, tõmbame ristlõiked tahapoole. Orienteerimine bussooliga ei ole küllalt täpne. Selle tagajärjeks on siis, et kolm ristlõike suunda tahapoole mitte ei ühine punkt d-s,



186. joon.

vaid sünnitavad väikse vigade kolmnurga. Kui aparaadi seisukoha punkt D asub keset punkte A, B ja C, siis peab ka otsitav punkt d asuma keset vigade kolmnurka, kusjuures otsitava punkti kaugus sihtidest Aa_1, Bb_1 ja Cc_1 on proportsionaalne punkt D kaugusele punktidest A, B ja C.

Selle põhimõtte järele määratakse otsitav punkt d mensuliplanšetil silma järele ja tehakse orienteerimine, kõige kau-

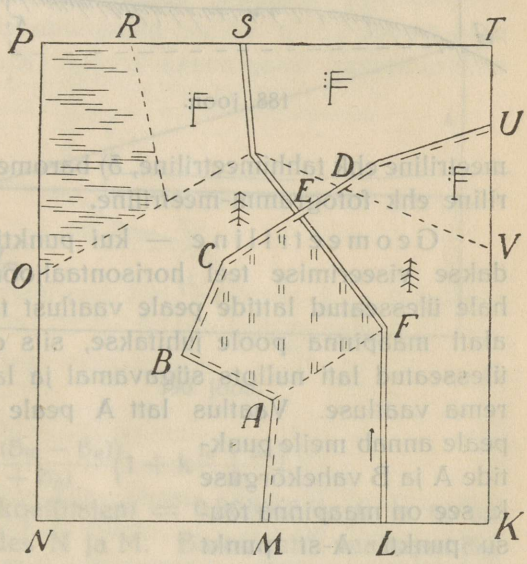
gemal oleva punkti C järele joon dc mööda. Nüüd proovitakse orienteerimist ristlõigetega punktidest A ja B. Tihti on juba esimese korra järele mensul õieti orienteeritud. Kui aga seejuures sünniks uus vigade kolmnurk, siis tuleb see esimesest palju vähem. Selle väikse kolmnurga sees määratakse uuesti punktid jne., kuni mensul orienteeritud.

Säärane Potenot'i ülesande lahendamine kannab Lehman'i võtte nime.

On mensul punkt D-s orienteeritud, toimub töötamine, nagu eelpool kirjeldatud: kas polaarmeetodi järele või ristlõigete teel.

Mensulitööde põhimõtte järele toimub sõjaväes, niisama ka metsade arvestamisel tarvitatav rekognostseerülesvõte papile. Selleks võetakse tükk pappi 35 sm×35 sm või 35 sm×40 sm, mille ühte nurka kompass kinnitatakse, nõnda et kompassi meridiaanjoon ühtib papile kleebitud paberile joonistatud meridiaaniga. Seda kompassi tarvitatakse siin orientiirbussooli asemel. Töötamisel surutakse papp võimalikult horisontaalselt pahema käega vastu rinda, enne pappi ringi käänates, kuni vabastatud magnetnõel vastavalt papil oleva meridiaani suunale seisma jääb (mensuli orienteerimine). Nüüd juhitakse parema käega alidaadi asemel tarvitatavat kolmekandilist joonlauda serva mööda läbi papil tähistatud seisukohale vastava punkti, nõnda et pealmist serva kaudu vaadeldav asi oleks näha. On see sündinud, siis tõmmatakse joon joonlaua alumist serva pidi. Näiteks, on tarvis üles võtta kvartaali sisemine situatsioon, siis käime esiti ümber kvartaali (187. joon.), sammudega joonte KL, LM, MN, NO, OP, PR, RS, ST, TU, UV ja VK pikkusi mõõtes, kusjuures nurkadel pappi orienteerime ja suundasid edasi tähistame. Alguses punkt K-st tõmmatud siht VK peab ühtima punkt V-st tõmmatud sihiga VK, niisama peab ka mõõdetud pikkuse VK ülekandmisel punkti lõpp-punkt ühtima alguspunktiga. Väike kõrvalekaldumine kuni 0,2 sm jäetakse tähele panemata, suuremad kaotatakse paralleeljoonte abil. Lubatav viga on $^1/_{30}$ polügoonikäigu pikkusest. Pikkuste ülekandmisel tarvitatakse sirkli asemel kolmekandilise joonlaua servale joonistatud mõõtu.

On kv. piirid tähistatud, algab sisemine mõõtmine. Selleks asume maantee alguspunkti M (paremasse serva), orienteerime papi kompassi järele ja tõmbame maantee parempoolse serva suunas joone. Sammudega pikkust mõõtes kuni lähema käänupunktini A, kanname saadud pikkuse punkt M-u tõmmatud sihti mööda. Punkt A-st orienteerime papi uuesti ja tõmbame jällegi joone maantee ääre suunas, kuid ühtlasi võtame suuna siin lageda heinamaa nurga F peale, mille pärast lõplikult võib kindlaks määrata ristlõikega punkt C-st. Maantee kaudu märgitakse peale käänupunktide kõik muutused ja asjad, mis ette tulevad: näiteks, punkt E kui kraavi ja heinamaa piiri määrav punkt, niisama ka punkt D kui kuusemetsa lõpp ja männimetsa algus. Viimase sihi DU tõmbamisel ja tema pikkuse ülekandmisel peame sattuma punkt U-sse. Kõrvalekaldumine hävitatakse paralleeljoontega (mida õhtul kodus võib teha). Nüüd tehakse polügoonkäigud männi- ja kuusemetsa vahepiirile, raba C äärt mööda ja ka kraav LS-u kaudu.

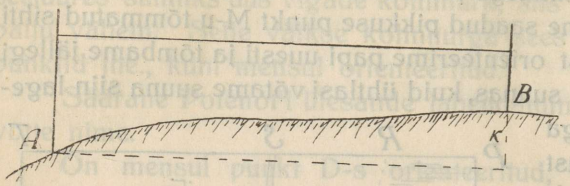


187. joon.

Palju tõhusamalt toimuks töö, kui meil oleks võimalus (metsatööde juures) pappi mitte käes hoida, vaid teda iga orienteerimise juures asetada $1^1/_2$ m pikkuse vaia külge naelutatud lauale. Säärasel korral on kindlustatud täpsus $^1/_{50}$ perimeetrist.

Loodimine ehk nivelleerimine.

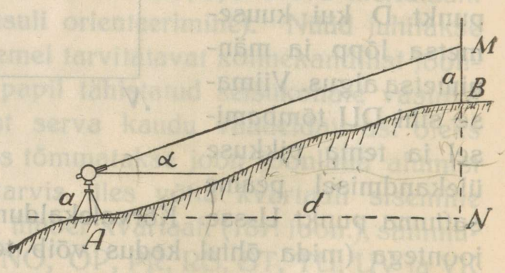
Loodimistööde ülesandeks on teada saada antud punktide vahekõrgusi või kogu maastiku punktide kõrgust merepinnast või relatiivsest merepinnale paralleelse olevast nullpinnast.



188. joon.

Loodimine võib olla: 1) geomeetriline, 2) trigonomeetriline ehk tahhimeetriline, 3) baromeetriline ja 4) stereomeetriline ehk fotogramm-meetriline.

Geomeetriline — kui punktide vahekõrgus — saadakse viseerimise teel horisontaaljoontpidi kahe punkti kohale ülesseatud lattide peale vaatlust tehes. Et lati nullpunkt alati maapinna poole juhitakse, siis on madalamasse kohta ülesseatud lati nullots sügavamal ja latilt saame sel teel suurema vaatluse. Vaatlus latt A peale miinus vaatlus latt B peale annab meile punktide A ja B vahekõrguse k, see on maapinna tõusu punkti A-st punkt B-ni (188. joon.).



189. joon.

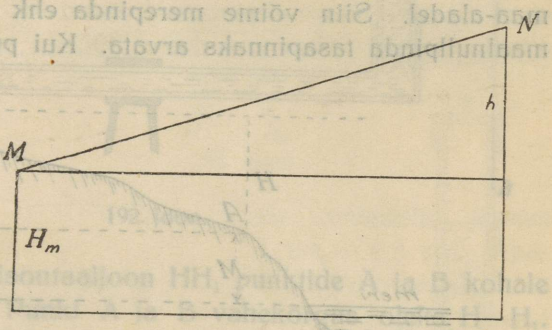
Trigonomeetriliselt me saaksime selle vahekõrguse k, kui me punkt A kohale teodoliidi üles seame ja tema optilise telje punkt B kohale ülesseatud latile aparaadi kõrgusele a vastava punkti M peale juhime; vertikaalrattal saadud nurk α võrdub maapinna kaldenurga BAN-ga; vahekõrgus $k = AB \sin\alpha$ ehk $AN \operatorname{tg}\alpha = d \operatorname{tg}\alpha$ (189. joon.).

Baromeetrilisel loodimisel seatakse punktide A ja B kohale baromeetrid üles. Oletades, et vaatlus ühel ja selsamal ajal sünnib ja üldine õhurõhumine ühesugustes kõrgustes

on ühesugune, võime baromeetri abil saadud tõeliku rõhumiste vahe järele punktides A ja B nende vahe kõrgust määrata:

Õhusamba kõrgus, korrutatud õhu erikaaluga, võrdub vastaval kohal võetud baromeetri elavhõbedasamba pikkusega, mis korrutatud elavhõbeda erikaaluga (190. joon.).

$H_o e = B_o q$, kust $(H_n - H_m)\, e = (B_m - B_n)\, q$ ehk $h = \frac{(B_m - B_n)\, q}{e}$, kus B_m on baromeetri vaatlus punkt M-s ja B_n baromeetri vaatlus punkt N-s; q = = elavhõbeda erikaal = 13,596 ja e = õhu erikaal = = 0,001293.



190. joon.

Õhu temperatuuri ja üldrõhumist vaatluste aegu arvestades saame:

$$h = \frac{q\ 0{,}76 \cdot 2\,(B_m - B_n)}{e\,(B_m + B_n)}\left(1 + k\,\frac{t_n + t_m}{2}\right),$$

kus k on õhupaisumise koeffitsient = 0,003665 ja t_n ja t_m on õhu temperatuur punktides N ja M. Baromeetri vaatlused B_m ja B_n peab tõeliku vaatluse järele 0-temperatuurile vastavalt ümber arvutatama. Ehk ligikaudselt

$$h = 16\,000\,\frac{B_m - B_n}{B_m + B_n}\left(1 + \frac{t_n + t_m}{500}\right).$$ (Babiné valem).

Jordan soovitab valemit

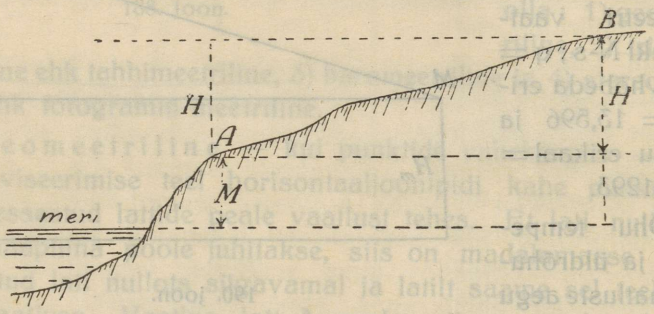
$$h = 18\,464\,(\log B_m - \log B_n)\,(1 + 0{,}003665\,t).$$

Fotogramm-meetriline loodimine toimub sellekohaste fotograafiaparaatidega maastiku ülesvõtmisel ühele või mitmele pildile ja saadud piltide najal vastavate mõõtmiste toimetamisel. Ülesvõetaval maastikul peavad enne mõned kindlad punktid ja jooned (baasid) olema mõõdetud ja nende kõrgus määratud. Fotogramm-meetrilistele mõõtmistele vastavalt tehakse tihti ülesvõtteid aeroplaanidelt.

Nii baromeetriline kui ka fotogramm-meetriline kõrguste ülesvõtmine on õige kohane mägistel maadel, kuna tasasel maal, kus kõrguste määramine peab toimuma õige suure täpsusega, on geomeetriline loodimine kõige kohasem.

Geomeetriline loodimine.

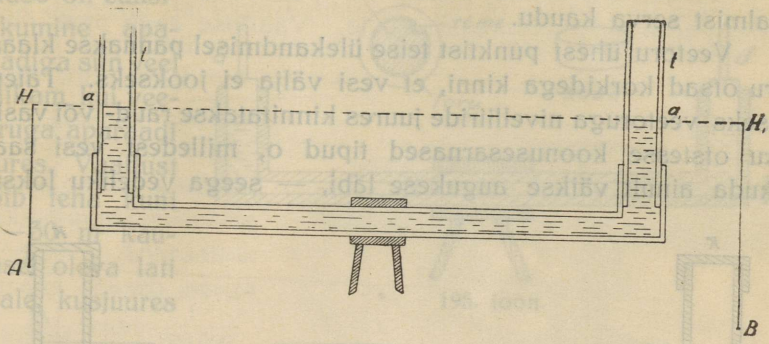
Esialgu vaatame, kuidas toimetada loodimist vähematel maa-aladel. Siin võime merepinda ehk nõndanimetatud normaalnullpinda tasapinnaks arvata. Kui punkt A kõrgus sellest



191. joon.

merepinnast M oleks teada, siis võib ka punkt B kõrguse merepinnast arvutada — punkt A kõrgusele punktide A ja B vahekõrgust juurde arvates (191. joon.). Vahekõrguste määramiseks geomeetrilisel teel on tarvitusel nivelliirid. Iga niveliiri kohta on peanõue, et vaatejoon oleks täpselt horisontaalne. Kõrvalisteks nõueteks on, et aparaati oleks kerge ühest kohast teise kanda, et vaatejoone horisontaalseks seadmine oleks hõlpus, et aparaat oleks võimalikult lihtne — nõnda et ta oleks vastupidav ka lihttöölise või metsavahi käes. — K õ i g e l i h t s a m a k s nivelliiriks on veetoruga nivelliir (192. joon). See koosneb 1—1,5 m pikkusest umbes 2,5 sm jämedusest torust, mille otsad ülespoole käänatud ja mis keskkohast aparaadi statiivi külge kinnitatakse. Üleskäänatud otstesse seatakse 12—15 sm pikkused klaastorud t, raua ja klaasi ühenduskohta taku ja kitiga veekindlaks tehes. Veetoru peab kogu oma ulatuses ühejämedune olema, et kõrvaldada kapillaarjõu-

dude mõju. Kui nüüd torusse kallata mustaksvärvitud vett, nõnda et veepind seisaks umbes 10 sm võrra klaastorude pealmistest otstest allpool, võib, mõlema toru veepinna aa_1 suunas vaatlust

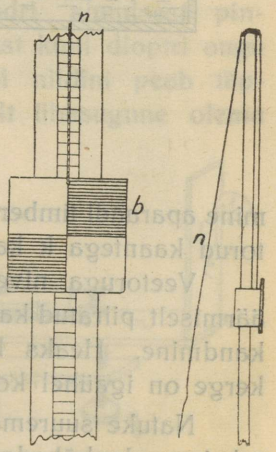


192. joon.

tehes, tähistada horisontaaljoon HH_1 punktide A ja B kohale ülesseatud lattidel. Punkt A ja B vahekõrgus oleks $H—H_1$. Punkt B absoluutne kõrgus merepinnast:

$$h_1 = h + (H—H_1).$$

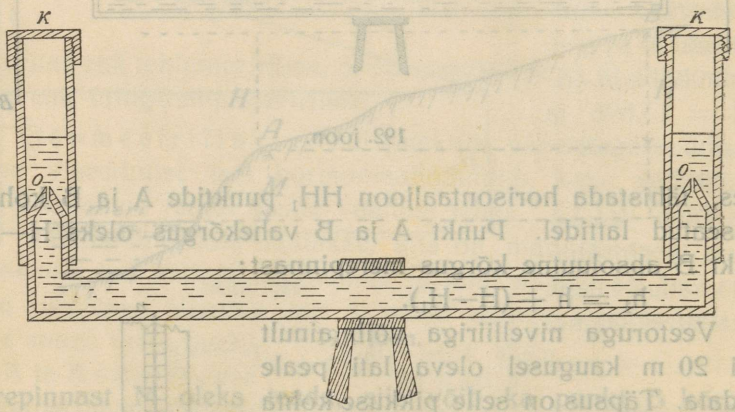
Veetoruga nivelliiriga võib ainult kuni 20 m kaugusel oleva lati peale vaadata. Täpsus on selle pikkuse kohta umbes 1 sm. Et parem oleks vaatlust teha, tarvitatakse lati juures märklauda, mis neljaks ruuduks jagatud, nii et keskkoht kui kahe musta ja valge ruudu tipp on õige silmapaistev (193. joon.). Märklaud annab nöör n-u abil üles ja alla lasta, kuni loodija aparaadi juurest käega märku annab, et märklaua keskkoht vaatesuunaga liitub. Nüüd võib toimuda vaatlus lati peale märklaua pealmist serva pidi ehk keset märklauda valges osas oleva vaateaugu läbi (selle avab juuresolev isik). Pealmist serva pidi vaatlust tehes, tuleb lativaatlust märklaua poole laiuse võrra vähendada, s. o. vaatlusest H lahutada suurus b.



193. joon.

Kui veetoruga nivelliiriga aparaadi ühest seisukohast vaatlusi mõlemale poole teha ja mõlemad märklauad on täpselt ühesuurused, siis võib teha vaatlust mõlemail lattidel märklaua pealmist serva kaudu.

Veetoru ühest punktist teise ülekandmisel pannakse klaastoru otsad korkidega kinni, et vesi välja ei jookseks. Täienduseks veetoruga nivelliiride juures kinnitatakse raud- või vasktoru otstesse koonusesarnased tipud o, milledest vesi saab liikuda ainult väikse augukese läbi, — seega vedeliku loksu-



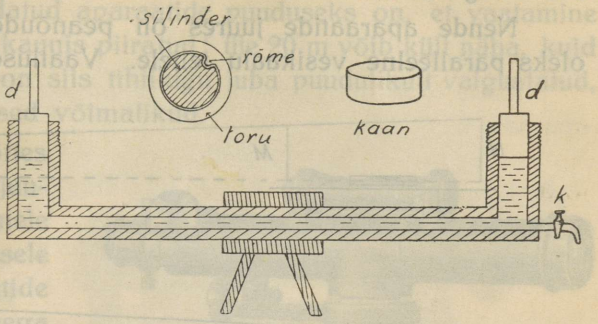
194. joon.

mine aparaadi ümberkandmisel kõrvaldub. Ühtlasi on ka klaastorud kaantega k kaetud (194. joon.).

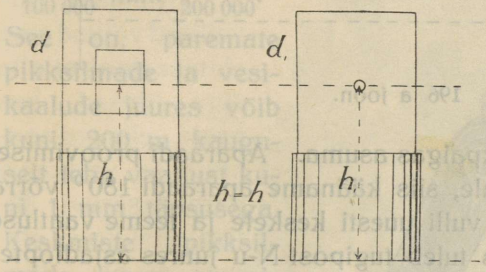
Veetoruga nivelliiri suureks puuduseks on väike täpsus, äärmiselt piiratud kaugus lati ja aparaadi vahel ja tülikas edasikandmine. Heaks küljeks on aga ta lihtsus, mille tõttu teda kerge on igaühel koduste abinõudega valmistada.

Natuke suurema täpsuse saame, kui veetoru asemele võtaksime elavhõbedaga täidetud toru. Toru diameeter on siin peenem, ainult üleskäänatud otsad on laiemad, klaastorud puuduvad. Toru laiadesse otstesse mahutatakse elevandiluust silindrikesed, mis elavhõbeda pinnale ujuma jäävad (195. joon.). Silindrite külge on väiksed dioptrid d kinnitatud. Silindritel on väike rõme sees, et nad torus horisontaalpinnas käänata ei annaks.

Lühema maa peal edasikandmisel kruvitakse torudele kaaned peale. Suurema edasiliikumise juures lastakse elavhõbe kraan k kaudu välja. Üldse on edasiliikumine aparaadiga siin veel tülikam kui veetoruga aparaadi juures. Vaatlust võib teha kuni 20—30 m kaugusel oleva lati peale, kusjuures

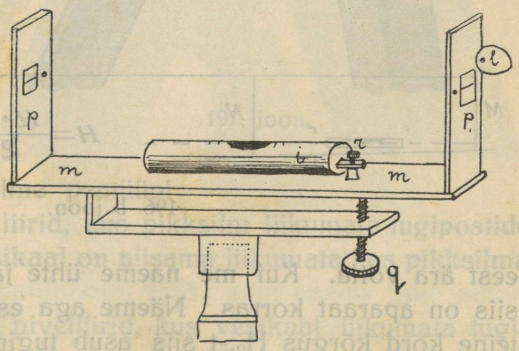


195. joon.



195. a joon.

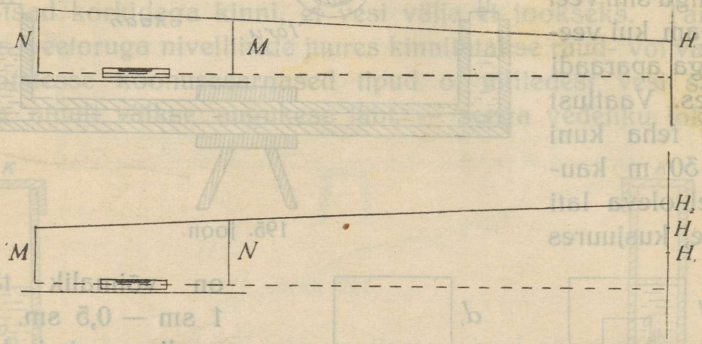
on võimalik täpsus 1 sm — 0,5 sm. Aparaadi proovimisel tuleb elevandiluust silindreid võrrelda; pikkus silindri alumisest pinnast kuni dioptri augu või niidini peab täpselt ühesugune olema (195. a joon.). Järgmine tüüp loodimisaparaate kujutab enesest joonlaud m-u külge kinnitatud vesikaalu i (lihvitud seintega; 196. joon.). Joonlaua otste küljes on dioptrid p ja p_1, milledel igaühel väike auk (silmadioptер) ja lai pragu horisontaalniidiga (asjadioptер). Aparaadi juures on horisontaalseks seadmiseks olemas ka elevatsioonkruvi q. Kruvi r kaudu seatakse vesikaalu telg



196. joon.

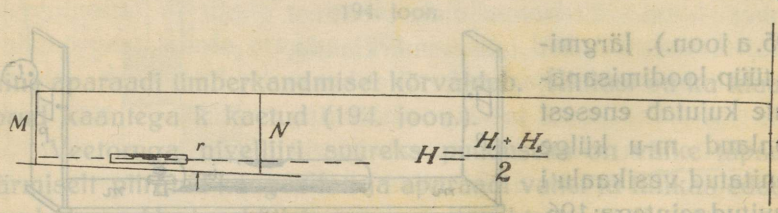
paralleelseks vaatejoonele. Aparaadi täpsus on $\frac{1}{5000} - \frac{1}{8000}$, see on iga 20 m kohta umbes 2—4 mm.

Nende aparaatide juures on peanõudeks, et visiirjoon oleks paralleelne vesikaalu teljele. Vaatluse aegu peab vesi-



196. a joon.

kaalu vull tingimata keskpaigas asuma. Aparaadi proovimisel teeme vaatluse lati H peale, siis kääname aparaadi 180° võrra ümber, juhime vesikaalu vulli uuesti keskele ja teeme vaatluse (196. a joon.). Seejuures tuleb tugipost N-u juures asjadiopter lapp l-ga kinni panna ja diopter M-u juures lapp l asjadioptri

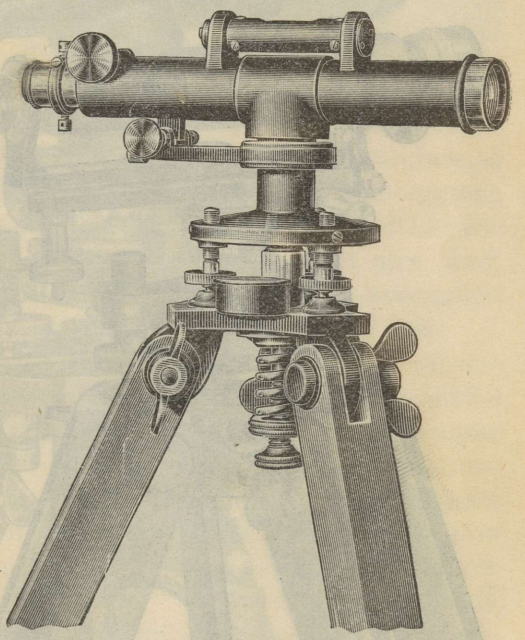


196. b joon.

eest ära võtta. Kui me näeme ühte ja sedasama kõrgust H, siis on aparaat korras. Näeme aga esiti latilt kõrgus H_1-t ja teine kord kõrgus H_2,-t siis asub tugipost N-u juures diopter pikendatud vesikaalu teljest kõrgemal kui tugipost M-u juures. Paranduseks juhitakse tõstevint või elevatsioonvint q abil vaatejoon $\frac{H_1 + H_2}{2}$ peale; et seejuures vesikaalu vull keskkohalt ära

läheb, diopter M-u suunas liikudes, tuleb teda paranduskruvi r abil keskkohta tagasi juhtida (196. b joon.).

Ülevalkirjeldatud aparaatide puuduseks on, et vaatamine läbi dioptrite on kaunis piiratud: üle 20 m võib küll näha, kuid latt ja märklaud on siis tihtilugu juba puudulikult valgustatud, mille tõttu eksitused võimalikud.



197. joon.

Selles mõttes on nivelliiride juures dioptrite asemele pikksilmad tarvitusele võetud. Aparaatide täpsus tõuseb seega $\frac{1}{100\,000}$ kuni $\frac{1}{200\,000}$. See on, paremate pikksilmade ja vesikaalude juures võib kuni 200 m kauguselt teha vaatlust kuni 1 mm täpsusega. Keskmiste pikksilmade juures on nivelliiri täpsus $^1/_{50\,000}$, s. o. 1 mm umbes 50 m kaugusele seatud lati juures.

Oma ehituse järele jagunevad pikksilmaga nivelliirid kolme peatüüpi:

1) Kinnised nivelliirid, kus pikksilm liikumata tugipostide külge kinnitatud ja vesikaal on niisama liikumata kas pikksilma või tugipostide küljes.

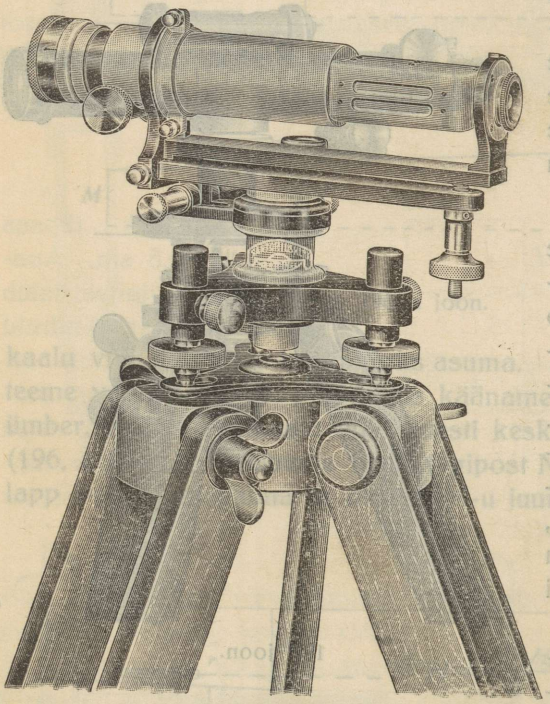
2) Ego süsteemi nivelliirid, kus vesikaal liikumata tugipostide või aluse külge kinnitatud, pikksilm aga laseb ennast tugipostide vahel ümber tõsta.

3) Bambergi nivelliir, millel vesikaal pikksilma külge kinnitatud ja sellega koos tugipostide vahel ümber tõsta annab.

Peale nende kolme peatüübi on veel rida aparaate erilise ehitusega.

Kinnine loodimisaparaat.

Selle tüübi hulka kuuluvad peamiselt odavamad loodimisaparaadid.



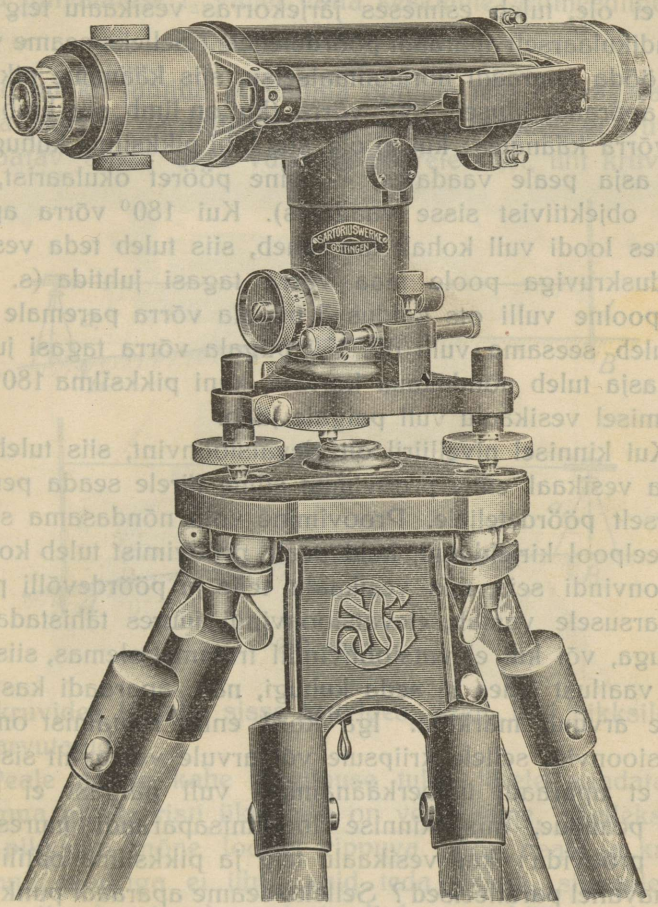
198. joon.

Need aparaadid olid enne maailmasõda Saksamaa metsaametkondades sageli tarvitusel.

Kinnised nivelliirid võivad oma ehituse poolest olla õige lihtsad, kus peale elevatsioonkruvi ja vesikaalu paranduskruvi ühtegi teist kruvi olemas ei ole. Joonisel 197 esitatud aparaadil on põhikruvi, mis teodoliidi põhikruviga sarnane; tõstevindid; kinnituskruvi, mille abil pikksilma horisontaalpinnas kääandumine takistub, ja mikromeeterkruvi, mille abil pikksilma õige väikse maa võrra horisontaalpinnas võib käänata; vesikaalu paranduskruvi; pikksilma diafragma paranduskruvid; pikksilma kremaljeerkruvi, mille abil okulaaritoru annab edasi-tagasi liikuda.

Vesikaal on nivelliiridel õige tundlik, tema lihvitud pinna raadius ulatub kuni 200 m. Pikksilma suurendamine on pare-

matel aparaatidel 20—25-kordne. Tihti on selle süsteemi loodimisaparaatidel veel üks peegel vesikaalu kohal, et vesikaalu vulli vaatlemisel loodijal tarvis ei oleks kohalt liikuda.



199. joon.

Kinnisel loodimisaparaadil võib elevatsioonkruvi olla (198. joon.). See elevatsioonkruvi võib eneses ka Stampfer'i kaugusemõõtjat sisaldada (199. joon.).

Joonisel 199 kujutatud Sartorius'e nivelliiril on suur valgusejõud, mille tõttu tema väga kohane on metsas töötamiseks.

Toru ühes vesikaalu ja peegliga annab end käänata ümber pikksilma geomeetrilise telje.

Kinniste loodimisaparaatide juures, milledel elevatsioonkruvi ei ole, tuleb esimeses järjekorras vesikaalu telg seada perpendikulaarselt aparaadi pöördeteljele. Selleks seame võimalust mööda aparaadi horisontaalseisu, siis kääname pikksilma järele aparaadi täpselt 180° võrra (kui on limb, siis limbi järele 180° võrra käänates; kui ei ole, siis läbi pikksilma kuhugi kaugema asja peale vaadates, — enne pööret okulaarist, peale pööret objektiivist sisse vaadates). Kui 180° võrra aparaati pöörates loodi vull kohalt ära läheb, siis tuleb teda vesikaalu paranduskruviga poole maa võrra tagasi juhtida (s. o., kui parempoolne vulli ots kaldus 3 pügala võrra paremale poole, siis tuleb seesama vulli ots $1^1/_2$ pügala võrra tagasi juhtida). Seda asja tuleb nõndakaua korrata, kuni pikksilma 180° võrra käänamisel vesikaalu vull paigale jääb.

1) Kui kinnisel nivelliiril on elevatsioonvint, siis tuleb pikksilm ja vesikaal enne proovimist silma järele seada perpendikulaarselt pöördeteljele. Proovimine võib nõndasama sündida nagu eelpool kirjeldatud, kuid peale proovimist tuleb kohe elevatsioonvindi seis, mis vesikaalu telje ja pöördevõlli perpendikulaarsusele vastab, elevatsioonvindi juures tähistada mõne kriipsuga, või kui elevatsioonvindil trummel olemas, siis trumli järele vaatlust tehes ja seda kuhugi, näit. aparaadi kastile või alusele arvuna märkida. Iga kord enne töötamist on tarvis elevatsioonvint sellele kriipsule või arvule vastavalt sisse kruvida, et aparaadi ümberkäänamisel vull paigast ei liiguks.

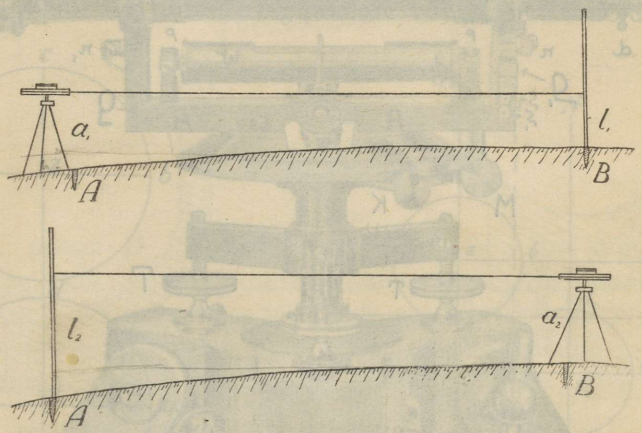
2) Teine peanõue, mis kinnise loodimisaparaadi juures tuleb järele proovida: kas vesikaalu telg ja pikksilma optiline telg on omavahel paralleelsed? Selleks seame aparaadi punkt A-sse ja lati mõnikümmend meetrit kaugemal oleva punkti B kohale (200. joon.). Saame siin maasse löödud piketilt lati kõrguse l_1 ja aparaadi kõrguse a_1. Nüüd kanname aparaadi punkt B-sse ja lati punkt A-sse, teeme uue vaatluse pikksilma kaudu ja mõõdame ka aparaadi kõrguse maasse löödud piketist B-st.

Kui $a_1 - l_1 = l_2 - a_2$, siis on pikksilma ja vesikaalu teljed omavahel paralleelsed. Ei ole aga see nõue täidetud, siis

tuleb esimese vaatluse järele arvutatud maapinna tõus $= a_1 - l_1$ järele teise vaatluse lati kõrgus aparaadi kõrguse a_2 järele arvutada $= a_2 + (a_1 - l_1)$, ja selle arvutatud kõrguse ja tõelikult saadud lativaatluse l_2 vahel võtta keskmine aritmeetiline:

$$l = \frac{a_2 + [(a_1 - l_1) + l_2]}{2}.$$

Saadud punkti juhtida pikksilma optiline telg diafragma pealmise ja alumise parandusvindiga, silmas pidades, et kruvimine on lubatav ainult õige väikeste pöörete viisi, üht kruvi enne



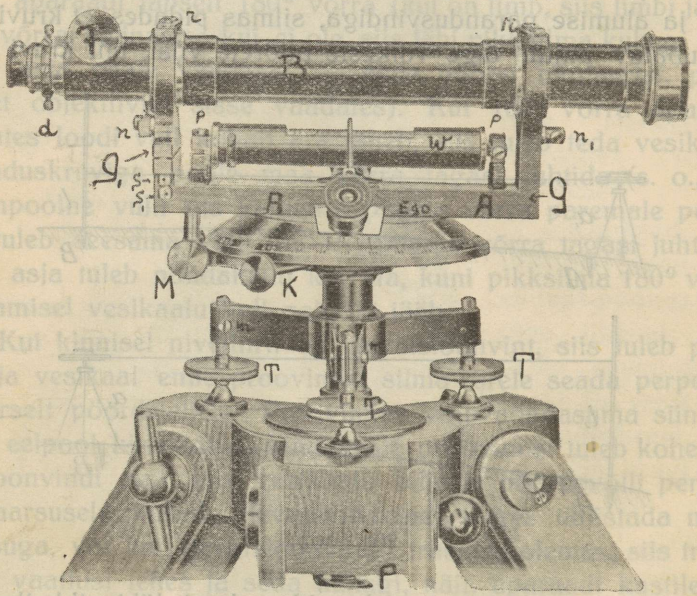
200. joon.

välja kruvides ja teist sisse kruvides, kuni läbi pikksilma on näha arvutatud l.

3) Peale nende kahe tingimuse tuleb järele vaadata, kas diafragma niitide risti üks joon on vertikaalne. Selleks juhitakse pikksilm mõne loodis rippuva nööri peale ja kui diafragmaniit nööriga ei ühti, vaid teda lõikab, siis tuleb diafragma viies kruvi vabastada ja diafragmat käänata, kuni niitide rist nööriga ühtib. Ka tõstekruvisid tuleb järele vaadata, kas nad küllalt vabalt liiguvad; selle paranduseks on eri kruvid tõstekruvide juures.

Aparaatide ostmise puhul tuleb järele proovida pikksilma suurendust ning vesikaalu tundlikkust ja kas aparaat annab vabalt käänata. Vesikaalu proovimiseks seame ta vulli kesk-

kohta ja teeme vaatluse 50 m kaugusel olevale latile, tõstehk elevatsioonvindi abil liigutame nüüd vulli kohast ja juhime jälle keskkohta ning teeme uuesti läbi pikksilma vaatluse. Kui uus vaatlus eelmisest lahku läheb, siis on pikksilmal ülearu hea suurendamine või vesikaalul liiga puudulik tundlikkus. On aga vaatlus endine, siis vastab pikksilma suurendamine vesi-



201. joon.

S — tugiposti pikkuse reguleerimiskruvi, F — pikksilma okulaari kremaljeerkruvi, d — diafragmaniitide paranduskruvi, n — niitide risti vertikaalseisu paranduskruvid, g — tugipostid, w — vesikaal, p — vesikaalu paranduskruvi, k — alidaadi kinnituskruvi, M — mikromeeterkruvi, T — tõstekruvid, m — tõstekruvi paranduskruvid, P — põhikruvi.

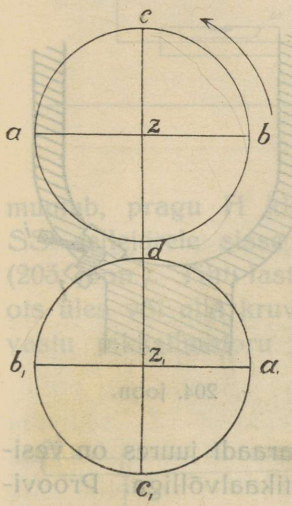
kaalu täpsusele ehk vesikaalul on ülearu hea tundlikkus. Et näha, kas vesikaalul ehk on ülearune tundlikkus, selleks juhime tõstevindi või elevatsioonkruvi abil optilise telje mõne latipügala peale ja tähistame täpselt vesivulli seisu. Nüüd liigutame elevatsioon- ehk tõstekruvi abil vulli kohalt ja läbi pikksilma latile vaadates juhime optilise telje endisse punkti.

Võtab seejuures ka vull endise seisu, on pikksilma suurendamine ja vesikaalu vulli tundlikkus kooskõlas; asub aga vull teisel kohal, siis on vull üleliia tundlik.

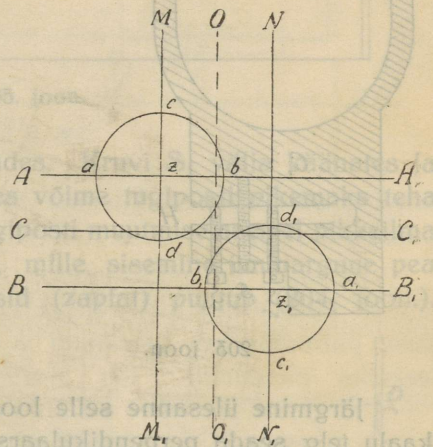
Kinniste nivelliiride heaks küljeks on, et nad on suuremalt jaolt õige lihtsad, võrdlemisi odavad ja vastupidava ehitusega.

Ego nivelliir horisontaal-limbiga.

Käesoleval nivelliiril on vesikaal alidaad AA külge kinnitatud. Pikksilm B annab tugipostide vahelt, peale hoidjate rr



202. joon.

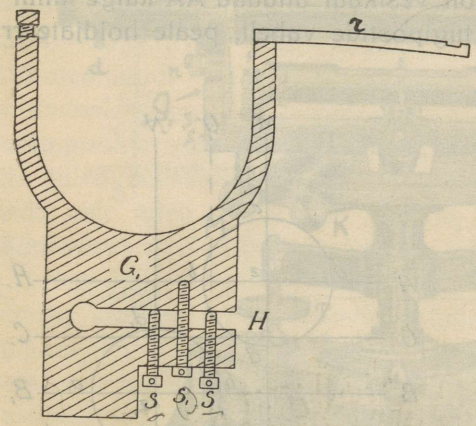


202. a joon.

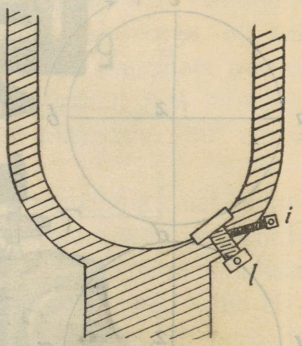
vabastamist, välja tõsta ning teda võib seejuures teises suunas tugipostide vahele asetada (201. joon.)

Nivelliiri proovimine. Kõikide aparaatide juures, milledel pikksilm tugipostide vahel annab ümber tõsta, on soovitav esimeses järjekorras pikksilma optiline ja geomeetriline telg ühte juhtida. Selleks kääname pikksilma ümber geomeetrilise telje 180° võrra ja teeme käänamise kestusel vaatluse latile või maja seinale. Kui ümberkäänamisel niitide rist ühe ja sellesama latil oleva punkti Z ümber käändub, siis on geomeetriline ja optiline telg ühes (202. joon.). Kui aga niitide

rist liigub kohalt ja katab mõnd teist punkti Z_1, siis tuleb vertikaalniit juhtida diafragma horisontaalparanduskruvide abil punktidest Z ja Z_1 läbiminevate joonte MM_1 ja NN_1 keskele, s. o. joon OO_1 peale ja diafragma vertikaalselt seisvate paranduskruvide abil nendest punktidest Z ja Z_1 läbiminevate horisontaaljoonte AA_1 ja BB_1 keskel asuva joonele CC_1-le. Nüüd peab uuesti proovima, kuni niitide rist pikksilma ümber telje käänamisel enam paigast ei liigu (202. a joon).



203. joon.

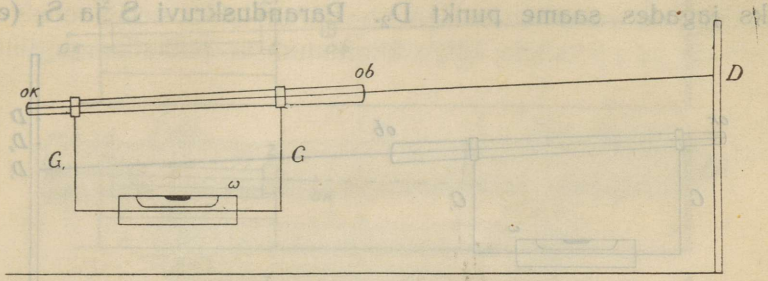


204. joon.

2) Järgmine ülesanne selle loodimisaparaadi juures on vesikaalu telg seada perpendikulaarseks vertikaalvõlliga. Proovitakse nagu eelmist nivelliiri, 180° võrra horisontaalpinnas käänates ja vesikaalu paranduskruvi p abil keskkohast kõrvale kalduvat vulli poole maa võrra tagasi juhtides.

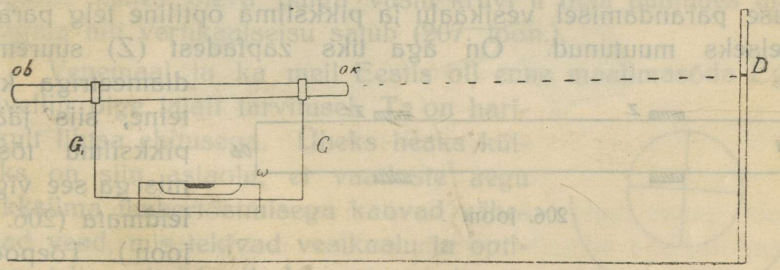
3) Kui vesikaal parandatud, siis seatakse pikksilma ja vesikaalu teljed paralleelseks. Selleks juhitakse pikksilma optiline telg umbes 40 meetri kaugusele ülesseatud latile ja tehakse vaatlus (vull peab vaatluste juures alati keskkohal olema). Nüüd tõstetakse pikksilm tugipostide vahel teisale, objektiiv asub sinna tugiposti otsa, kus enne oli okulaar, käänatakse aparaati 180° võrra, vaadatakse, kas vull on kohal, ja tehakse uus vaatlus latile. On esimene ja teine vaatlus ühesugused, siis võib arvata, et pikksilma ja vesikaalu teljed on paralleel-

sed. See on õige juhtumil, kui pikksilmatoru osad, mis laagritel asuvad, on täpselt ühesuuruse läbimõõduga. Juhtumil, kui eimene vaatlus teisest lahku läheb, tuleb parandus teha, kruvi S ja S_1 abil tugipost G_1 pikkust muutes, kusjuures kruvisid SS välja käänates ja kruvi S_1 sisse käänates tugipost G_1 lühemaks



205. joon.

muutub, pragu H kinni litsudes. Kruvi S_1 välja käänates ja SS sellejärele sisse käänates võime tugiposti pikemaks teha (203. joon.). Tihti lastakse tugiposti muutmise asemel pikksilma ots üles või alla kruvi l abil, mille sisemine ümmargune pea vastu pikksilmatoru tugiosasid (zapfat) puutub (204. joon.).

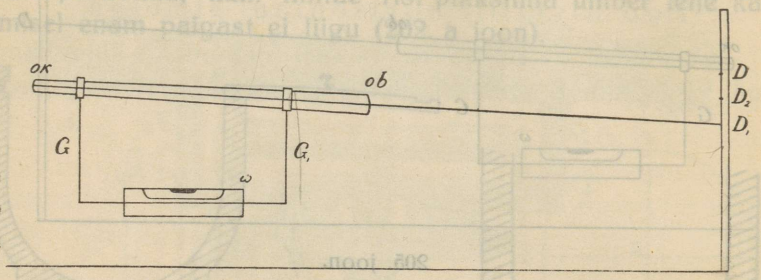


205. a. joon.

Enne kruvi l käänamist tuleb kruvi i vabastada, mille ülesandeks on kõrvaldada kruvi l juhuslikku käändumist või liikumist. Sääraseid kruvisid nagu l, mille õigel seisukohal on suur tähsus, võib harilikult käänata ainult vastava võtme abil.

Kuidas ja kui suurel määral tuleb aga teha tugipostide parandust? Oletame, et tugipost G_1 on lühem kui G. Säärasel

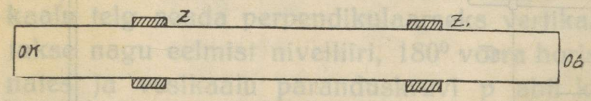
korral on pikksiima optiline telg ülespoole juhitud. Latilt saame vaatluse D (205. joon.). Nüüd kääname pikksilma harkide (tugipostide) vahel (205. a joon.) ja peale seda aparaadi alidaadi ühes pikksilmaga 180° võrra ja teeme uue vaatluse — saame D_1, mis allapoole juhitud. Vaatlusi D ja D_1 liites ja summat pooleks jagades saame punkt D_2. Paranduskruvi S ja S_1 (ehk



205 b joon.

kruvi l) abil juhime pikksilma optilise telje punkt D_2-le ja kordame proovimist (205. b joon.).

Juhtumil, kui pikksilmatoru tugiosad (zapfad) Z ja Z_1 on täpselt ühesuuruse diameetriga (206. joon.), on tugipostide pikkuse parandamisel vesikaalu ja pikksilma optiline telg paralleelseks muutunud. On aga üks zapfadest (Z) suurema diameetriga kui teine, siis jääb pikksilma tõstmisega see viga leidmata (206. a joon.). Tõepoolest, nagu juurdelisatud 206. a joonisest näha, on nii esimese kui ka viimase vaatluse juures optiline telg ühtemoodi ülespoole juhitud, juhtumil, kui objektiivile lähem zapfa Z_1 on suurem.

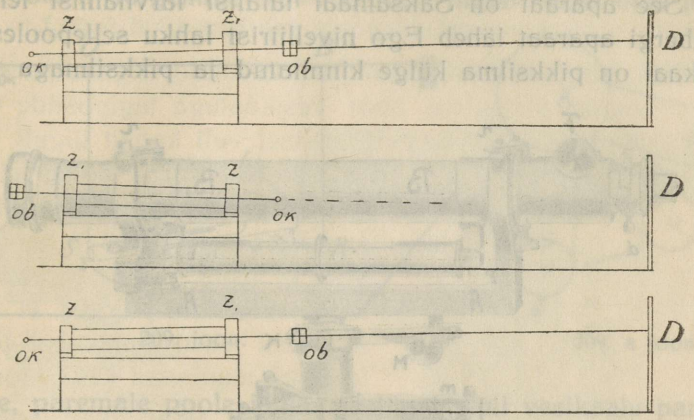


206. joon.

Vea olemasolu, mis pikksilma mittevõrdsetest läbimõõtudest tekkinud, selgub, kui me Ego nivelliiri sedamoodi prooviksime, nagu kinnist nivelliiri proovisime, s. o. kord aparaati ja latti punkt B-sse üles seades ja pärast ümberpööratult. Vea

pikksilma tugiosade juures võib ainult mõne parema mehaaniku töökojas ära parandada.

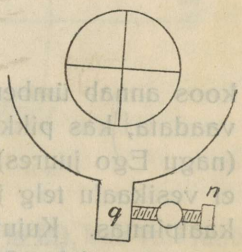
Peale ülemalkirjeldatud vigade proovimist tuleb 30 m kaugusel oleva vertikaalse nööri peale vaadates kordamööda



206. a joon.

kruvisid n ja n_1 sisse või välja kruvida, kuni pikksilmatoru tugiosa küljes oleva pulga vastu kruvi n otsa puutudes diafragma niit vertikaalseisu satub (207. joon.).

Venemaal ja ka meil Eestis oli enne maailmasõda Ego nivelliir õige laialt tarvitusel. Ta on harilikult lihtsa ehitusega. Üheks heaks küljeks on siin asjaolu, et vaatluste aegu pikksilma ümbertõstmisega kaovad vähemad vead, mis tekivad vesikaalu ja optilise telje mitteparalleelsusest; seejuures tuleb kahest vaatlusest võtta keskmine aritmeetiline.



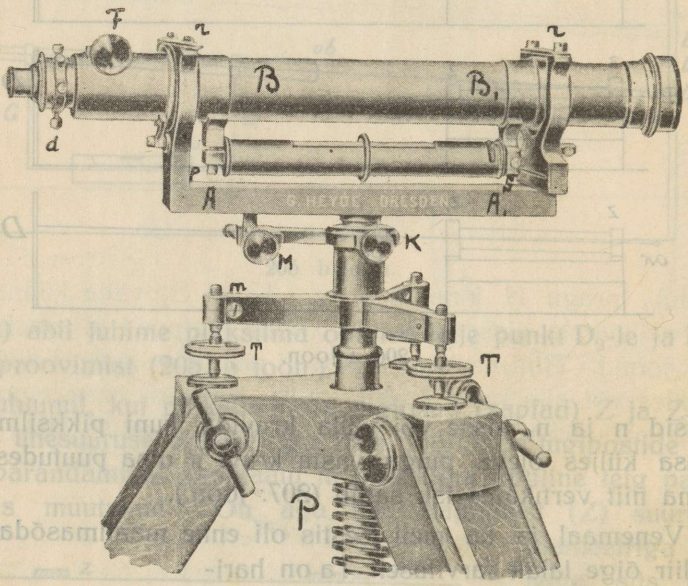
207. joon.

Ego nivelliiril on puuduseks, et aparaadi konstruktsioon ei võimalda elevatsioonkruvi ehitust (elevatsioonkruvi peab alati pikksilma ja vesikaalu üheskoos tõstma). Ego nivelliiri juures oleks see ainult siis võimalik, kui elevatsioonkruvi tõstaks tervet apa-

raadi pealmist osa, elevatsioonkruvi kerge vaba liikumine oleks seega aga liiga raskeks muutunud.

Bambergi ehk Reichenbachi nivelliir (208. joon.).

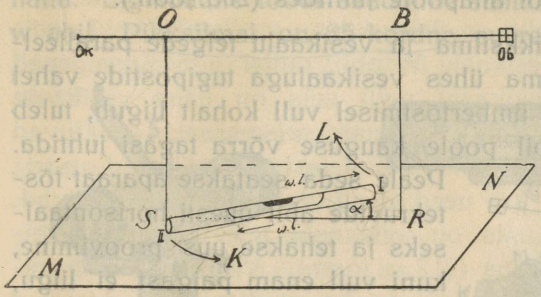
See aparaat on Saksamaal laialist tarvitamist leidnud. Bambergi aparaat läheb Ego nivelliirist lahku sellepoolest, et vesikaal on pikksilma külge kinnitatud ja pikksilmaga ühes-



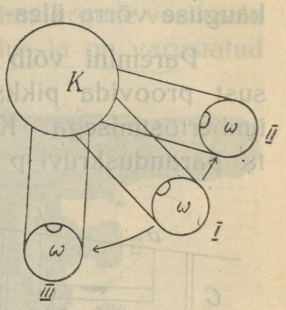
208. joon.

koos annab ümber tõsta. Nivelliiri proovimisel tuleb esiti järele vaadata, kas pikksilma geomeetriline ja optiline telg ühtivad (nagu Ego juures). On see sündinud, siis tuleb järele vaadata, et vesikaalu telg ja pikksilma optiline telg oleksid ühes vertikaalpinnas. Kujutleme, et vertikaalpind, mis läheks läbi optilise telje, oleks OBRS (209. joon.). Vesikaalu telg asub küll horisontaaltasapinnas MN, kuid moodustab vertikaaltasapinnaga nurk α, s. o. seisab harkis pikksilma optilise teljega. Kui me käänaksime pikksilma ümber geomeetrilise telje, siis liiguks ka ühtlasi pikksilma külge kinnitatud vesikaal. Kui

käänamine toimub L suunas, s. o. mööda kellaosuti käiku okulaari pealmisest otsast vaadates, siis kerkiks vesikaalu I ots võrdlemisi kõrgemale kui II ja vull liiguks esimese otsa poole. Kui kääname teise, s. o. K suunda, siis tõuseb vesikaalu ots II kõrgemale kui I ja vull liigub teise otsa poole.

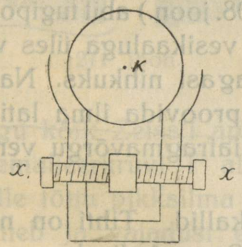


209. joon.

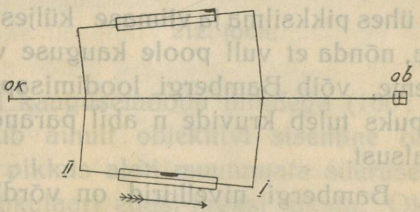


209. a joon.

Üldse, paremale poole käänates liigub vull vesikaalu paremat kätt vertikaaltasapinnast väljaulatuva otsa poole; pahemale poole käänates liigub vull pahemat kätt väljaulatuva otsa poole. Et seda viga tõestada, antakse vesikaalule pikksilma ümber telje käänamisega seis I (209. a joon.), vaadatakse nüüd väikse



209. b joon.

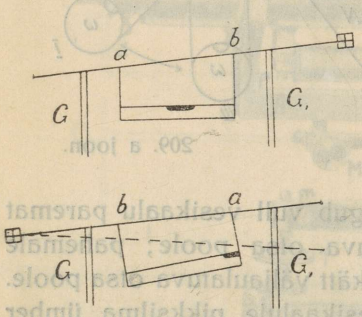


209. c joon.

liigutusega ühele ja teisele poole käänates (II ja III), kas vull jääb kohale või liigub paigast. Kui vull liigub kord ühele, kord teisele poole, siis tuleb paranduskruvide x ja x_1 abil väljaulatuv telje ots tagasi juhtida (209. b joon.). Kui aga vull liigub mõlemal korral (II ja III) ühes suunas, siis asuvad pikksilma geomeetriline ja vesikaalu telg küll ühes vertikaalpinnas, kuid nad ei

ole omavahel paralleelsed. Näiteks joon. 209. c puhul, pikksilma ümber telje käänamisel peab vesikaalu vull igal juhtumil vesikaalu I otsa poole liikuma. Vull liigub sinnapoole otsa, missugune ots asub kaugemal pikksilma optilisest teljest. Viimane viga parandatakse kruvi p abil, vesikaalu telge tarviliku kauguse võrra üles- või allapoole juhtides (208. joon.).

Paremini võib pikksilma ja vesikaalu telgede paralleelsust proovida pikksilma ühes vesikaaluga tugipostide vahel ümbertõstmisega. Kui ümbertõstmisel vull kohalt liigub, tuleb ta paranduskruvi p abil poole kauguse võrra tagasi juhtida.



210. joon.

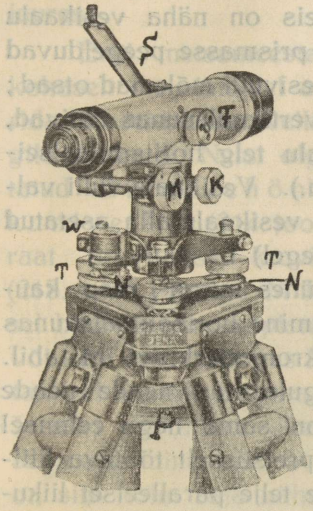
Peale seda seatakse aparaat tõstekruvide abil uuesti horisontaalseks ja tehakse uus proovimine, kuni vull enam paigast ei liigu, s. o. kui teljed omavahel paralleelseks muutuvad (210. joon.).

Peale selle vea parandamist võib vesikaalu telge seada perpendikulaarselt vertikaalvõllile. Seks käänatakse aparaadi alidaadi 180° võrra ja kui vull kohalt liigub, lastakse paranduskruvide S (208. joon.) abil tugiposti ots ühes pikksilma ja viimase küljes oleva vesikaaluga üles või alla, nõnda et vull poole kauguse võrra tagasi nihkuks. Nagu näeme, võib Bambergi loodimisaparaati proovida ilma latita. Lõpuks tuleb kruvide n abil parandada diafragmavõrgu vertikaalsust.

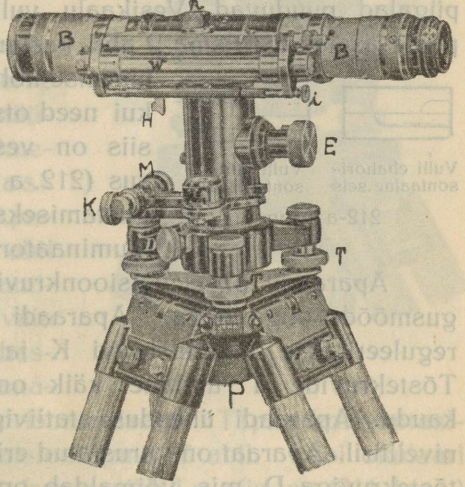
Bambergi nivelliirid on võrdlemisi kallid. Tihti on neil õige peenevindilised elevatsioonkruvid Stampfer'i kaugusemõõtjaga; on olemas peeglid, millede abil on hõlpus vesivulli seisukohta näha. Bambergi aparaadid lasevad ennast kergesti proovida, kuid lihttööjõudude kätte ei tohi neid usaldada. —

On olemas nivelliire, millede vesikaal asub eraldi. Seda võib pikksilma peale seada ühes või teises suunas, et pikksilma telje horisontaalseisu kontrollida. Suurt tarvitamist need aparaadid ei ole leidnud. —

Zeiss'i loodimisaparaadid erinevad teistest oma väikse suuruse, heade klaaside ja mõnesuguste uuenduste poolest. Joonis 211. kujutab üht lihtsat Zeiss'i nivelliiri, mis on viimasel ajal laialt tarvitusel meie metskondades. See kuulub kinniste nivelliiride hulka. Vesikaalu vull on ülestõstetava peegli S abil näha. Ligikaudne loodi seadmine sünnib ümmarguse vesikaalu w abil. Pikksilmal on 25-kordne suurendus ja on varustatud



211. joon.



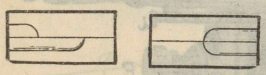
212. joon.

nagu kõik Zeiss'i aparaadid kaugusemõõdu niitidega (100 : 1). Kremaljeerkruvi F abil liigub ainult objektiivi sisemine osa, mille tõttu pikksilma üldine pikkus alati muutumata suurusena esineb ja vajadust ei ole okulaari edasi-tagasi lükata. Okulaari tuleb ainult kord töö algusel käänata, et niitide rist selgelt näha oleks.

Statiiv on ehituse poolest kombineeritud Müncheni ja prantsuse statiividest. Põhikruvi P abil kinnitatakse nivelliir aparaadi aluse plaat N külge, mille tõttu nivelliir ise on ühenduses statiiviga ainult tõstekruvide T abil; seega puudub vajadus põhivindil vedrukruvi esinemiseks. K on alidaadi kinnituskruvi ja M selle mikromeeterkruvi. See nivelliir ühes kastiga kaalub

kõigest $3^1/_2$ kg. Aparaadi statiiv kaalub $4^1/_2$ kg. Aparaat statiiviga kokku kaaluvad ainult 8 kg, millega seletatav selle aparaadi suur levimine.

Joonis 212 kujutab Zeiss'i uuemat, äärmiselt täpset nivelliiri. Pikksilmal BB on 36-kordne suurendus; muus osas sarnaneb tema aga eelmise nivelliiri pikksilmaga. Aparaadi ligikaudseks ülesseadmiseks on ümmargune vesikaal W_1. Loodimine sünnib silindervesikaalu W abil, millel aga igasugused pügalad puuduvad. Vesikaalu vulli seis on näha vesikaalu peale asetatud prisma R abil, kusjuures prismasse peegelduvad üksteise kohal vesivulli mõlemad otsad; kui need otsad vertikaalsuunas ühtivad, siis on vesikaalu telg horitsontaalseisus (212. a joon.). Vesikaalu vulli valgustamiseks on vesikaalu alla asetatud illuminaator (peegel) i.



Vulli ebahorisontaalne seis | Vulli horisontaalseis

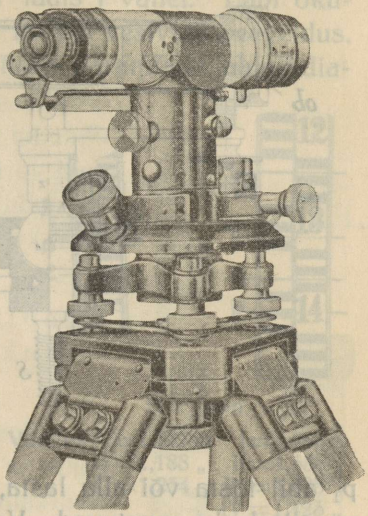
212-a joon.

Aparaadil on elevatsioonkruvi E ühes nurga-, resp. kaugusmõõdu pügalatega. Aparaadi liikumine horisontaalsuunas reguleeritakse kinnituskruvi K ja mikromeeterkruvi M abil. Tõstekruvide T ühtlane käik on reguleeritav nende peade kaudu. Aparaadi ühendus statiiviga on sama nagu eelmisel nivelliiril. Aparaat on varustatud erilise pretsiisselt töötava kiiltõstekruviga D, mis võimaldab optilise telje paralleelset liikumist vertikaalsuunas. Viimaselt saab pügalate abil lugeda täpsusega $^1/_{20}$ mm; pügalate osade silmaga hindamisel täpsusega $^1/_{100}$ mm. Enne tööleasumist tuleb aparaadi kastist väljavõtmisel vabastada kaitse H. Nivelliiri kontrollimiseks tehakse neli vaatlust, mis saadakse okulaari objektiivi otsa ümberpaigutamise ja mõlema seisu juures pikksilma ümber geomeetrilise telje käänamisel, kumbki kord kaht vaatlust tehes.

Kui kõik vaatlused ühesugused, on pikksilma optiline telg paralleelne vesikaalu teljele. On aga vaatlused üksteisest erinevad, siis tuleb neist arvutustel keskmine aritmeetiline võtta, selle arvu peale optiline telg juhtida ja prisma kasti paranduskruvide p abil nõnda seadida, et vull keskele asuks.

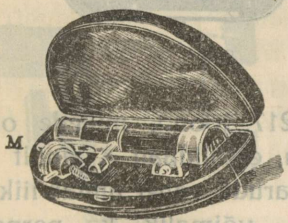
Joonisel 213 on kujutatud Zeiss'i nivelliir limbiga, mille abil on võimalus mõõta tasapinnalisel maal nurki täpsusega

0^{g},02. Muudes osades sarnaneb aparaat joonisel 212. kujutatud aparaadiga. Puudub kruvi D ühes vastava paralleeltõstesisseseadega. Prisma R on teise kuju omandanud; vesikaalu vaatlus tehakse okulaari kõrval asuva luubi kaudu, kus vesivulli mõlemad otsad korraga näha, nii nagu see oli eelmise nivelliiri juures.

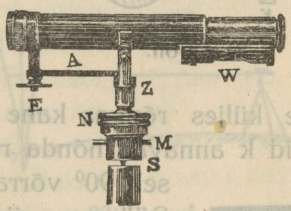


215. joon.

Eriti metsameeste huvide kohaselt on viimasel ajal terve rida väikseid taskunivelliire müügile ilmunud. Neist olgu nimetatud Butenschön'i taskunivelliir (214. joon.) Aparaat kruvitakse kruvi S abil (215. joon.) pulga M käänamisel hariliku maasse pistetud vaia või kepi otsa. Rõngas N vabastamisel seatakse aparaat munašarniiri abil silma järele horisontaalseks. Täpne horisontaalseks seadmine toimub elevatsioonkruvi E abil. Läbi okulaari on siin kolm asja näha: diafragmaniidid n, siis latt (216. joon.)



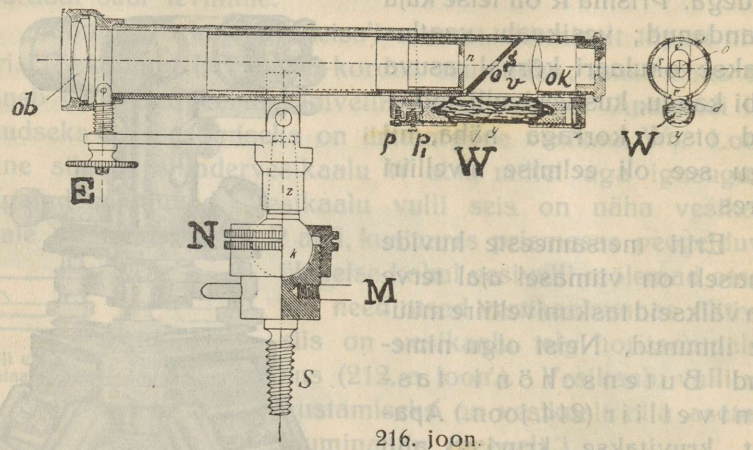
214. joon.



215. joon.

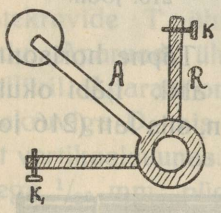
ja lõpuks ka vesikaalu vull, mis asub okulaari all ja peegli OS abil okulaaritorusse vaatajal on näha. Kui vull v keset vaatlusvälja ühetaoliselt mõlemal pool diafragma-auku O on näha, on aparaat horisontaalne.

Aparaadi proovimine toimub nõnda, nagu kinniste nivelliiride juures; vesikaalu telg annab siin paranduskruvide p ja

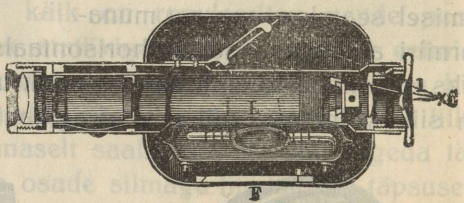


216. joon.

p_1 abil tõsta või alla lasta, kuni pikksilma ja vesikaalu telg paralleelseks muutuvad. Vahel on Butenschön'i taskunivelliiril

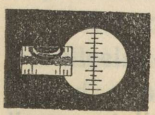


217. joon.



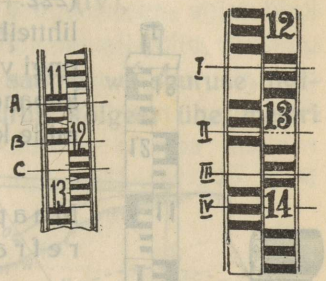
218.

aluse küljes rõngas kahe haruga (217. joon.), millede otstes kruvid k annavad nõnda reguleerida, et alidaad A ainult täpselt 90° võrra nende harude vahel annab liikuda. Säärase riistaga on võimalik ka perpendikulaare ehitada. Butenschön'i aparaadi heaks küljeks on, et teda on kerge kaasas kanda. Wagner'i süsteemi taskunivelliir on kujutatud 218. ja 218. a. joonisel. Vesikaal L asub pikksilma toru seinas ja saab valgust priismaklaasist F läbitungivate kiirte poolt. Vesivulli seis on näha vastasseinas asuva oku-



218. a joon.

laaris oleva läätse I läbi. Lääts I asub keskmise läätse kõrval väikse nurga all. Okulaari torus on jäetud kiirte läbitungimiseks vastav avaus peegel S ja lääts I vahel. Läbi okulaari vaadates on näha latt ja selle kõrval vesivulli peegeldus. Wagner'i taskunivelliiri proovimisel tuleb parandada ainult diafragma niitide risti, korraldades proovimist nõnda, nagu seda tehakse kinnise nivelliiri optilise ja vesikaalu telje paralleelsuse kontrollimisel.

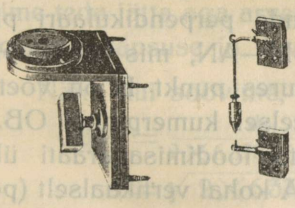


219. joon.

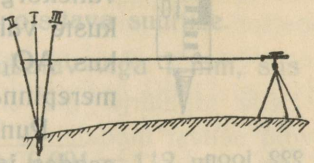
Vaatlus A = 1,117 m I = 1,266 s.
„ B = 1,188 „ II = 1,336 „
„ C = 1,234 „ III = 1,385 „
IV = 1,423 „

Enne kui asuda loodimistööde kirjeldamisele, pean tähendama, et kõikide pikksilmaga aparaatide juures mitte märklauaga latid, vaid nõndanimetatud Reichenbachi latid on tarvitusel. Need on vaheldumisi nõnda värvitud, nagu juurdelisatud 219. joon. näha. Latid on 3—5 m pikkused (ehk $1^1/_2$—2 s.). Pikemad latid on kokkupandavad. Kallimad latid on ümmarguste vesikaaludega varustatud, et latihoidja suudaks seada latti vertikaalseks (220. joon.).

Lugemine loodimislatilt toimub täpsusega kuni üks mm ehk 0,001 sülda, kusjuures mm ehk vastavalt tuhandikud süllad kui



220. joon.

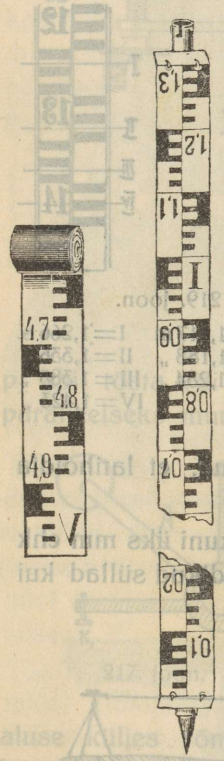


221. joon.

kümnendikosad latipügalailt silma järele hinnatakse. Vaatlusel peab vertikaalniit lati keskjoont mööda minema. Kui latil lood või vesikaal puudub, siis kõigutatakse latti natuke edasi-tagasi ja võetakse kõige väiksem nähtav arv, sest nagu 221. joon. näha, on seis II-s ja III-s vaatluses suurem kui I-s.

Loodimise puhul pannakse lati nullots alati maapinnale, nii et numbrid tagurpidi seisavad, läbi pikksilma vaadates on aga näha õigetpidi.

Viimasel ajal on lattide asemel sageli tarvitusel riidest lindid, millede peale tehtud õlivärvidega pügalad ja numbrid (222. joon.). Kui säärast linti mõnesuguse lihtteiba või lati külge pingule tõmmata, siis ongi võrdlemisi hea loodimislatt käes. Kokkupandult mahub see lint väiksesse toosi, mille kõrgus 8 sm ja läbimõõt 5 sm.



222. joon.

Maapinna kumera kuju ja kiirte refraktsiooni mõju loodimise täpsusse.

Tasapinnana võime maa- ja merepinda kujutella ainult õige väikeste alade juures. Suurematel aladel tuleb maapinda võtta aga elipsoidina või vähemalt kerapinnana ja punktide A ja B absoluutsed kõrgused oleksid kaugused vertikaalsuunas merepinnast ehk nõndanimetatud normaalnullpinnast, s. o. samale NM pinnale lastud perpendikulaaride pikkused BM ja AN (223. joon.). Punktide vahekõrgus on nende perpendikulaari pikkuste vahe, s. o. BM—AN, mis võrdub pikkus AO_1-ga, kusjuures punkt B on võetud merepinnale paralleelsel kumerpinnal OB.

Punkt B kohta loodimisaparaati üles seades ja vaatlust A kohal vertikaalselt (perpendikulaarselt merepinnale) seisva lati peale tehes, saame vaatluse AH, millest aparaadi kõrgust lahutades saame arvatava horisontaalse punktide vahe AH_1. Nagu enne nägime, on tõelik punktide vahe kõigest AO_1, seega sünnib pikksilmaga horisontaalsuunas vaatamisega viga $AH_1 - AO_1 = O_1H_1$. Tähendab, kaugema maa peale vaatlust tehes, tuleks loodimisel saadud arvud parandada.

Kaugust loodimisaparaadist kuni latini tähistame täht d-ga, suuruse $ZB = O_1Z = R$-ga (maapinna raadius umbes 6370 km) — saame vea suurus $w = HO = H_1O_1 = H_1Z - R$ (I).

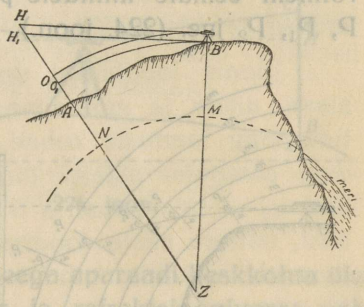
$$H_1Z^2 = H_1B^2 + BZ^2 \text{ (II)},$$
$$(R + w)^2 = d^2 + R^2 \text{ (III)},$$
$$R^2 + 2Rw + w^2 = d^2 + R^2 \text{ (IV)},$$

kust $w = -R \pm \sqrt{R^2 + d^2}$,

kui $d = 100$ m ja $R = 6370000$ m saame w suuruse ligikaudu 0,8 mm. Seega oleks w^2 suurus kõigest ühe meetri miljondikud osad. Selle tõttu võime valemi IV-dat muuta, w^2 välja jättes — saame

$$2Rw = d^2 \text{ (V)},$$

kust $w = \frac{d^2}{2R}$ (VI).



223. joon.

Saja meetri kaugusel oleva lati kohta $w = 0{,}8$ mm; 200 m juures $w = 3{,}0$ mm; 300 m juures $w = 6{,}4$ mm; 1 km ehk 1000 m juures $w = 8$ sm; 100 sülla juures on $w = 0{,}0017$ s.

Nagu näeme. tuleb juhtumil, kui soovime teha vaatlusi 1 mm täpsusega, arvestada viga w. Missuguse kauguseni võime teda jätta aga arvesse võtmata? Seks seame valemise VI. soovitava täpsuse ja d võtame kui otsitava suuruse.

Näit., kui soovime, et oleks lubatav viga 1 mm, siis

$$0{,}001 = \frac{d_2}{2 \times 6370 \times 1000}$$

$$d = \sqrt{2 \times 6370 \times 1000 \times 0{,}001} = 112 \text{ m},$$

Kui lepime täpsusega 1 sm, lubades ümmarguseks tegemisel viga 0,5 sm, siis on selle vastav kaugus:

$$d = \sqrt{2Rw} = \sqrt{2 \times 6370 \times 1000 \times 0{,}005} = 252 \text{ m}.$$

Kui sülla mõõtmisel on lubatav viga 0,001 s, siis oleks

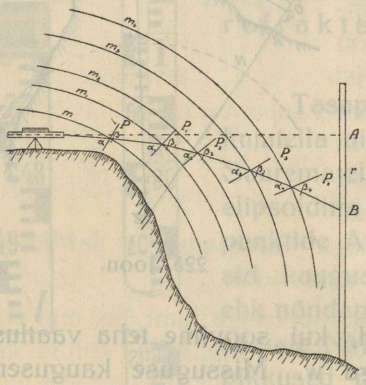
$$d = \sqrt{2 \times 6000 \times 500 \times 0{,}001} = 78 \text{ sülda}.$$

Täpsusele üks sajandik sülda vastab ümmarguseks tege-

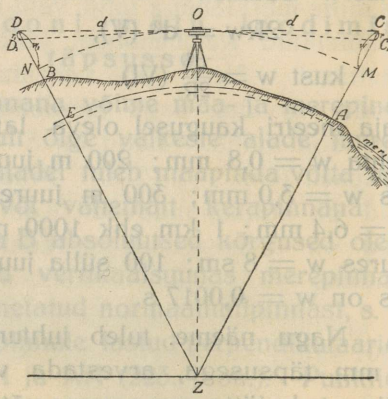
mine mõlemale poole 0,005 s (lubatav viga pool sajandik sülda); sellele vastab kaugus

$$d = \sqrt{2 \times 6000 \times 500 \times 0{,}005} = 173 \text{ sülda.}$$

Peale maapinna kumeruse mõjub loodimise täpsusse veel valguse kiirte refraktsioon, s. o. valguskiirte suunast kõrvale kaldumine mitmesuguse õhutiheduse tõttu. Kujutleme, et valgusekiir pikksilmast välja läheb ja satub kordamööda rohkem tihedaist vähem tihedaisse õhukihtidesse m, m_1, m_2, m_3, m_4 jne. Seejuures murdub kiir iga kord ja kaldub ikka rohkem ja rohkem eemale kihtidele perpendikulaarselt olevatest joontest P, P_1, P_2 jne. (224. joon.).



224. joon.



225. joon.

$$\beta > \alpha;\ \beta_1 > \alpha_1;\ \beta_2 > \alpha_2 \text{ jne.}$$

Selle tagajärjel me ei näe horisontaalsuunas olevat asja A, vaid sellest madalamal olevat asja B.

Maapinna kumeruse tõttu kaldub pikksilmast väljaminev kiir merepinnast rohkem eemale — kõrgemale, refraktsiooni tõttu aga madalamale. Uurimised on näidanud, et refraktsiooniviga on vähem kui maapinna kumeriku kuju tõttu tekkinud viga. Keskelt läbi võrdub refraktsiooniviga $^{13}/_{100}$ maapinna kumeruse tõttu sündinud veast, viimast vastavalt vähendades

$$r = 0{,}13\ w$$

(Venemaal arvutati: $r = 0{,}16\ w$).

Refraktsiooniviga arvesse võttes saame $w + r = 0{,}87 \frac{d^2}{2R}$.

Ülemaltähendatud vead kõrvaldatakse suuremalt osalt, kui me loodimisaparaadi kahe punkti A ja B vahele keskkohta üles seame, s. o., et kaugus mõlema latini oleks ühesugune (225. joon.). Punktide A ja B tõelik vahekõrgus on MA — — NB = BE. Pikksilma kaudu näeme aga punkte C_1 ja D_1. Seega vaatluste järele oleks A ja B vahekõrgus $C_1A - D_1B$.

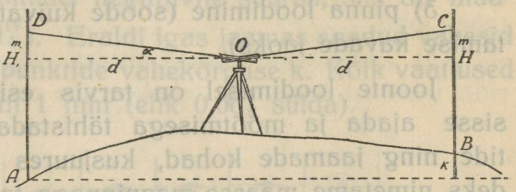
Kui kaugused latini on ühesuurused, siis on △ DOZ ja COZ ühesuurused ja niisama ka vead

$w = w_1$ ja $r = r_1$

$C_1A = MA + (w - r)$

$D_1B = NB + (w - r)$

$C_1A - D_1B = MA + (w - r) - [NB + (w - r)] = MA - NB = BE.$



226. joon.

Kahe lativaatluse vahe on seega aparaadi keskkohta ülesseadmisega maapinna kumeruse ja refraktsiooniveast vaba.

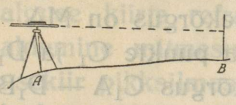
Loodimistööde järjekord ja arvutused.

Aparaadi ülesseadmisega ühekaugusele mõlemast latist kõrvaldub ka väike viga, mis võiks tekkida pikksilma ja vesikaalu telgede puuduliku paralleelsuse tõttu, sest horisontaaljoonest HH_1 kõrvalekaldumise vead m ja m_1 on mõlemal latil ühesuurused, kuna täisnurksed kolmnurgad DH_1O ja CHO on võrdsed (226. joon.) ∠ DOH_1 = ∠ COH kui aparaadi muutumatu vea suurused; $H_1O = HO = d$ ja ∠ DH_1O = ∠ CHO = $= 90^0$.

Vahekõrgus A ja B vahel $k = H_1A - HB = DA - CB$.

Loodimist, kusjuures aparaat kahe lati vahele keskkohta üles seatakse, nimetatakse kahekülgseks loodimiseks. Ühekülgne oleks loodimine, kui aparaat punkt A kohale ja latt punkt B kohale seataks ja punktide vahekõrgust aparaadi kõrguse ja lativaatluse vahe järele määrataks (227. joon.). Et

ühekülgse loodimise juures mitmesugused eelpoolkirjeldatud vead ei kõrvaldu, võib seda loodimisviisi tarvitada ainult harukordadel, juhtumitel, kui võimalik ei ole määratavate punktide vahele loodimisaparaati üles seada.



227. joon

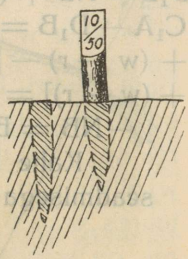
Loodimine võib olla:

1) joonte või sihtide loodimine (kraavi kavade koostamiseks);

2) joonte loodimine kõrvalolevate punktidega (teede kavade koostamiseks);

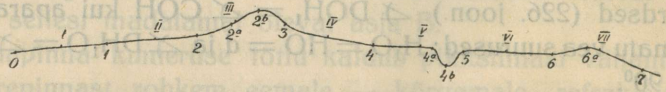
3) pinna loodimine (soode kuivatamise või põldude toru-tamise kavade jaoks).

Joonte loodimisel on tarvis esimeses järjekorras siht sisse ajada ja mõõtmisega tähistada piketide ning jaamade kohad, kusjuures piketideks nimetame maasse maapinnaga tasa löödud $^1/_2$—1 m pikkusi ja 5 sm jämedusi vaiakesi, millede peale loodimislatid seatakse, ja jaamadeks kohti, kuhu loodimisaparaat tuleb üles seada.



228. joon.

Kraavide loodimisel seatakse piketid harilikult 40 m kaugusele, muude joonte vähema tähtsusega tööde juures 100 m kaugusele. Piketide kõrvale lüüakse veel teine vaiake, mis maast välja ulatub, mille peale piketi numbrid ja vahel ka kaugus eelmisest piketist märgitakse (228. joon.). Juhtumil, kui mõõtmisel esi-

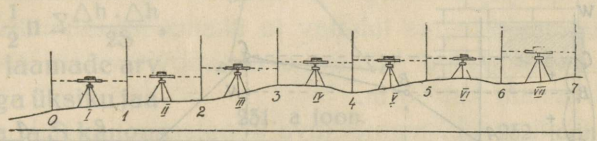


229. joon.

neb mõni silmanähtav muutus maapinna kaldevusest, lüüakse neisse kohtadesse vahepealsed piketid 2_a, 2_b, 3_a, 4_a, 4_b jne. (229. joon.). Esimene pikett tähistatakse harilikult 0-ga, järgmised araabia numbritega. Jaam tähistatakse vaiadega, mille-

dele rooma numbrid kirjutatud. Vahepealsetele piketidele peale numbrite (2_a) peab tingimata kaugus eelmisest peapiketist tähendatama, näiteks piketi 2_b juures kaugus piketist nr. 2 (mitte aga 2_a arvates). Kui on soov õige täpselt töötada, siis tuleb võtta jaam iga kahe piketi vahel (230. joon.). Igas jaamas tuleb peale aparaadi horisontaalseisu seadmist teha enne vaatlus tagasi (sinna, kust tulime), siis edasi. Täpselt aparaati sentrida joonte loodimisel tarvis ei ole.

Vaatlus tagasi miinus vaatlus edasi annab meile maapinna tõusu. Saadakse lahutamisel negatiivne suurus, siis on maapinna lang (näit. $l_3^{IV} - l_4^{IV}$). Eraldi igas jaamas saadud vahesid liites saame teada lõpp-punktide vahekõrguse k. Kõik vaatlused toimuvad täpsusega kuni 1 mm (ehk 0,001 sülda).



230. joon.

$$k = (l_0^I - l_1^I) + (l_1^{II} - l_2^{II}) + (l_2^{III} - l_3^{III}) + \ldots + (l_6^{VII} - l_7^{VII}).$$

Kui on vahepealsed või sihist kõrval asuvad piketid, siis määratakse nende kõrgused pärast peapiketide arvutamist. Kui siht teeb käänu, siis seatakse harilikult käänule abipikett ja peapiketide vahekauguse puuduv osa tähistatakse teisel pool käänakut. Säärasel korral tuleb võtta ühe jaama asemele kaks abijaama.

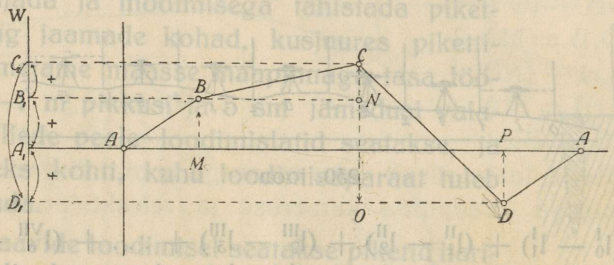
Kõige rohkem rõhku tuleb loodimisel panna sellele, et vaatluse aegu vesivull oleks keskkohas. Selleks tuleb enne ja kohe pärast vaatlust vullile silma heita; ehk on kaks inimest aparaadi juures (tähtis soisel maal, kus maapind iga väikse liigutuse juures kõigub ja vull alatasa tantsib) — üks juhib elevatsioonkruvist vulli keskele ja teine teeb vaatlust. Tuleb ka meeles pidada, et latt tingimata piketi peal seisaks ja teda vertikaalselt hoitaks.

Vigade kõrvaldamiseks ja nende leidmiseks tarvitatakse järgmisi võtteid:

1) Igas jaamas seatakse pärast üht rida vaatlusi aparaat ümber, nõnda et aparadi kõrgus muutuks ja vaatlustel teised arvud saadakse. Kui esimese rea vaatluste juures mõnes arvus kogemata eksitakse, siis selguks see teise rea vaatluste vahekõrguste võrdlemisel esimese rea vaatlustel saadud vahekõrgustega. Kõrvalekaldumine mõlemal korral saadud vahekõrgustes võib olla 0,002 sülla ehk kahe mm suurune.

2) Latil on ühel pool küjes meetermõõdud ja teisel pool — süllamõõdud. Vaatlusi tehakse järgemööda mõlemate lati külgede järele ja võrreldakse arvusid mõõtude ümberarvutamise tabeli abil.

3) Tõstetakse pikksilmatoru telgede vahel peale esimest rida vaatlusi ümber ja tehakse uus rida vaatlusi. Viimane võte



231. joon.

on ainult siis kasulik, kui aparaat ei ole küllalt korras või kui latid asuvad mitmesuguses kauguses. Kogemata sündinud eksitust arvus selle võtte abil üles ei leita, sest kui kord eksiti lati numbrit valesti võttes (336 asemele eksikombel võetud 386 või 425 asemele 475), siis eksitakse teist korda uuesti endist viisi ühtede ja nendesamade arvude juures.

4) Looditakse antud joont kaks korda — enne punkt A-st punkt B-sse ja siis tagasi tulles B-st arvates punkt A-sse. See võte on esimese võttega sarnane ja tuleks juba parem soovitada esimest võtet, kus käimist vähem.

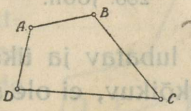
5) Seotud joone loodimisel, kus lõpp-punktiga tagasi tullakse esimesse punkti, peab maapinna tõusude ja langude summa (peapikettide vahede kohta) kokkuvõttes null andma (231. ja 231. a joon.).

Kui joon ABCD (231. joon.) A-ga on seotud polügooni (231. a joon.) profiil, siis peavad kõik vahekõrgused summas nulli andma. MB + NC + CO + DC = 0. Neist suurustest on pikkus CO negatiivne. Seda näeme, kui profiili jooni vertikaalpinnale projekteerime ja alt ülespoole juhitud projektsiooni (joonte juurdekasv vertikaalpinnas ehk punktide vahekõrgus) positiivseks arvame ja ülevalt alla juhitud projektsiooni negatiivseks.

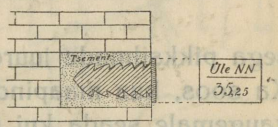
Tegelikult vahekõrguste summeerimisel iialgi 0 välja ei tule. Lubatav viga on siin 3—5 mm ühe kilomeetri ehk 2—3 tuhandikku sülda iga polügooniversta kohta. Viga parandatakse proportsionaalselt punktide vahekõrgustele. Keskmine viga km kohta arvutatakse

$$m = \sqrt{\frac{1}{2n}\sum\frac{\triangle h \cdot \triangle h}{2S}},$$

kus n on jaamade arv, $\triangle h$ — viga üksiku jaama kohta ja S kaugus km-tes vastava jaama vahel.



231. a joon.



232. joon.

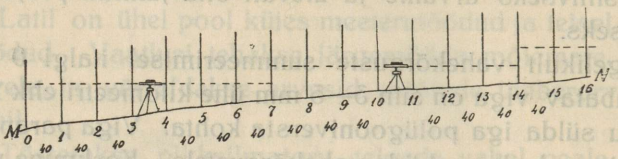
Ülemalkirjeldatud põhimõtte järele võib joonte loodimisel ka lahtiste polügoonide juures polügooni otsi lisakäiguga siduda, et üldist vea suurust teada saada. Sageli seotakse algus- ja lõpp-punkt nõndanimetatud reeperitega.

Reeperiteks nimetatakse raud- või terasmärke, mis kivihoonete seintesse kinnitatud või kivitulpadele märgitud (232. joon.). Meil on reepereid leida raudteejaamades, Lääne-Euroopas aga iga suurema maantee ääres. Reeperil on horisontaalkriips ja arv, mis näitab, kui kõrgel see kriips asub merepinnast ehk nõndanimetatud normaal-nullpinnast.

Maanteede loodimisel on lubatav viga ühe km kohta 0,01 m. Lubamatute vigade ärahoidmiseks peab keelduma töötamisest tuuliste ja uduste ilmadega, nõndasama kevadel ja suvel keskpäeva ajal, kui kiirte refraktsioon muutub veeaurude tõttu liiga suureks.

Töö kiirendamise mõttes enam-vähem tasapinnalisel maal võivad jaamad asuda lattidest 140—180 m kaugusel. Näiteks, kraavi kava MN koostamisel (233. joon.) asetame aparaadi esiti

3. ja 4. piketi vahele ja teeme vaatlused 0., 1., 2., 3., 4., 5., 6. ja 7. piketile — kõige suurem kaugus seega 140 m. Teist korda seame aparaadi 10. ja 11. piketi vahele ja teeme vaatluse sidumise mõttes veelkord pikett 7.-le, siis pikettidele 8, 9, 10, 11, 12, 13 ja 14 ning veel lõpp-punktis N asuvale 16. piketile. Säärane talitusviis on ainult 20—25-kordse suurendu-

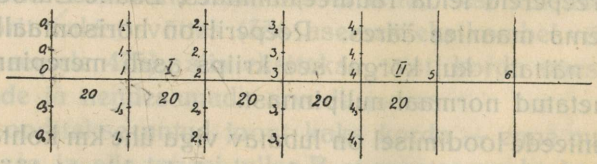


233. joon.

sega pikksilmade juures lubatav ja üksnes tasapinnalisel maal. Ka soos, kus maapind kõikuv, ei ole soovitav latti aparaadist kaugemale seada kui 60 m.

Künklisel maal maanteekava koostamisel võetakse tee teljest, keskjoonest, iga piketi kohalt kummalegi poole perpendikulaarid ja perpendikulaaridelt kõrvalpiketid (iga 2 m ehk 1 sülla järele). Kui pikettide vahel keskjoont mööda on silmapaistvad muutused maapinna kaldes, siis võetakse veel vahepunktid ja neile perpendikulaarid (234. joon.).

Vaatlused toimuvad jaam I-st kordamööda 0, 0_1, 0_2, 0_3, 0_4; 1, 1_1, 1_2, 1_3, 1_4; 2, 2_1, 2_2, 2_3, 2_4 jne. Siis viiakse aparaat

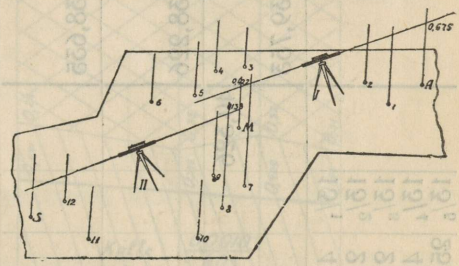


234. joon.

jaam II-e ja sidumise mõttes tehakse uuesti vaatlused punktidele 3, 3_1, 3_2, 3_3 ja 3_4. Juhtumil, kui ühest jaamast on tehtud palju vaatlusi, on soovitav vaadatavate punktide kõrgusi kas merepinnast (absoluutsed kõrgused) või mõnesugusest alguspinnast (relatiivsed kõrgused) arvutada järgmiselt.

Olgu alguspunkt A relatiivne kõrgus 10 000 m. Siin ülesseatud latilt saame vaatluse 0,675, — seega on aparaadi vaatejoone kõrgus relatiivselt alguspinnast 10,675. Selle vaatejoone kõrgusest punktide 1, 2, 3, 4, 5 jne. vaatlusi kordamööda lahutades saame vastavate punktide relatiivsed kõrgused (235. joon.). Nõndasama sidepunkti M kohal oleva lati vaatlust 0,422 vaatejoone kõrgusest lahutades saame punkt M relatiivse kõrguse 10,675 — 0,422 = 10,353. Nüüd seame aparaadi jaam II-e kohale, teeme uuesti vaatluse sidepunkt M-le (saame 0,138). Selle järele oleks teise jaama juures vaatejoone kõrgus 10,353 + 0,138 = 10,491.

Sellest arvust kõiki teisi II jaamast tehtud vaatlusi kordamööda lahutades saame vastavate punktide relatiivsed kõrgused jne.



235. joon.

Loodimisel saadud andmed tähendatakse üles, nagu järgnevalt tabelilt näha (lhk. 228).

Profiili valmistamisel märgitakse kaugused abstsisside telje kaudu ja relatiivsed või absoluutsed kõrgused ordinaatidena. Selleks tarvitatakse harilikult millimeeterpaberit. Ordinaatidena kõrguste tähendamisel joonistatakse (tasapinnaliste maa-alade puhul) kõrgused 50, vahel 100 või 200 korda suuremas mõõtkavas kui abstsisside telje kaudu märgitud kaugus.

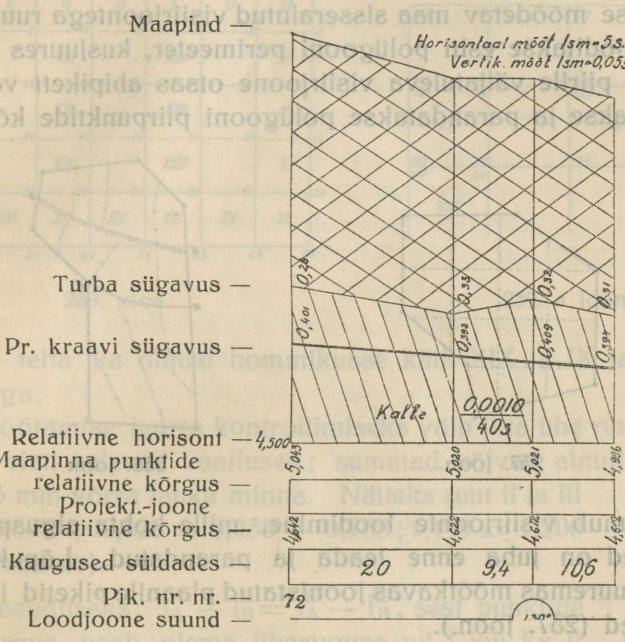
Näiteks horisontaalmõõt kauguste jaoks võetakse 1 sm = 20 m ($^1/_{2\,000}$), vertikaalmõõt kõrguste jaoks 1 sm = 0,2 m ($^1/_{20}$).

Profiili alla märgitakse arvudena: maapinna relatiivne kõrgus (musta tindiga), projekteeritava joone relatiivne kõrgus (punase tindiga), turbakihi sügavus (oranž või ooker), piketi nr-id, kaugused pikettide vahel. Projekteeritava joone vahele kirjutatakse punase tindiga projekt. joone sügavus maapinnast. Turbakihi osa läbilõikest värvitakse ookriga. Kui tuleb projekteerida teede juures väljakaevamine, siis värvitakse vastav

Jaamad.	Peapiketid: Piketid	Kaugus	Vaatlused	Vahekõrgus: Maapinna tõus	Vahekõrgus: Maapinna lang	Piketide kõrgus	Abi- ja vahepiketid: Vaatejoone kõrgus	Abipiketi nimetus	Kaugused peapunktidest	Vaatlused	Abipunktide kõrgus	Märkusi
XI	10	40	1,705	0,492		36,254						p. 10 Paremal ja pahemal pool võ saga kaetud karjamaa
	11		1,213			36,746						„ 11 paremal ja pahemal pool võ saga kaetud karjamaa
XII	11	40	2,923	1,889								„ 12 paremal ja pahemal pool võ saga kaetud karjamaa
	12		1,034			38,635						„ 12 + 13 m algab heinamaa
XIII	12	40	2 103		0,409							„ 13 maantee algus
	13		2,512			38,226						„ 13/1 pahemal pool 4 m sihist
XIV	13	40	2,100	1,536			40,326					„ 13/2 „ „ 2 „ „
	14		0,564			39,753						„ 13/3 paremal pool 2 „ „
												„ 13/4 „ „ 4 „ „
												„ 13/5 25 m piketist edasi algab pahemal pool põld, paremal heinamaa.
								13/1	4 ph	2,12	38,206	
								13/2	2 ph	2,45	37,876	
								13/3	2 pr	2,66	37,666	
								13/4	4 pr	2,99	37,336	
								13/5	25 ed	1,82	38,506	

osa läbilõiget kollase värviga (kroomiga); kui projekteeritakse täistäitmist, siis — karmiiniga (236. joon.).

Abipunktide kõrgus võetakse tihti ainult sentimeetrites ehk sajandikkudes süldades. Peapikettide täpsust kuni ühe mm on tarvis suuremalt osalt ka ainult sidumisel. Mõnesuguse kava lõppandmeis (kraavi sügavus) lühendatakse arvud kuni



236. joon.

sentrimeetriteni või sajandikkude süldadeni. Abipunktide kõrguste arvutamisel võib kontrollimist toimetada järgmiselt:

$H_z \cdot n - \Sigma w = \Sigma h$, kus H_z on vaatejoone kõrgus abipikettide mõõtmisel, n on abipikettide arv, Σw on vaatluste summa abipikettide peale, Σh on abipikettide kõrguste summa. Ülemaltoodud juhtumil oleks (v. loodimistabel):

$$40{,}326 \times 5 - 12{,}04 = 189{,}590.$$

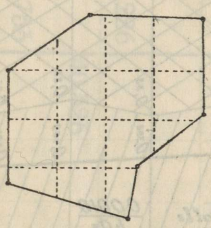
Pindade loodimise eesmärgiks on koostada reljeefplaani, millel kraavide võrgukava oleks võimalik tähendada või teha mõnesuguseid pinnatasandamis-(planeerimis-)töid.

Pindade loodimisel võib ette tulla kahte moodi juhtumeid:

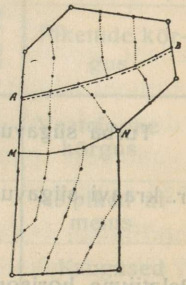
1) maastik on kas võsa või metsaga kaetud (näiteks kidurate mändidega turbaraba või märg mets;

2) maastik on lage (heinamaad, lagedad madalsood, põllud).

I. Kui maapind on kaetud väheväärtuselise võsaga, siis jagatakse mõõdetav maa sisseraiutud visiirjoontega ruutudesse. Nüüd looditakse esiti polügooni perimeeter, kusjuures iga polügooni piirile väljatuleva visiirjoone otsas abipikett võetakse. Arvutatakse ja parandatakse polügooni piirpunktide kõrgused.



237. joon.



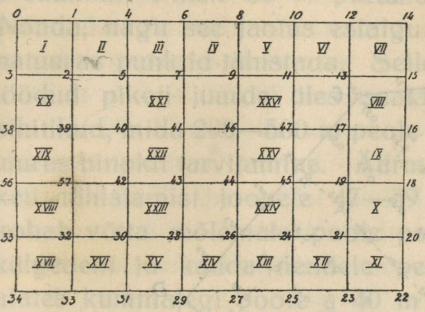
238. joon.

Siis toimub visiirjoonte loodimine, mille kohta alguspunktide kõrgused on juba enne teada ja parandatud. Lõpuks kantakse suuremas mõõtkavas joonistatud plaanile piketid ja nende kõrgused (237. joon.).

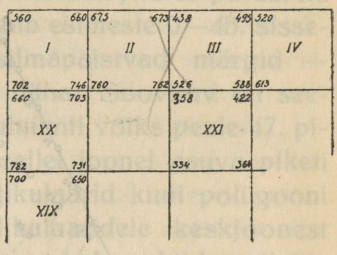
II. Juhtumil, kui maastik on kaetud võrdlemisi kallivääruselise metsaga ja selle raiumiseks puudub luba, tehakse peale polügooni loodimist mitu rida käikusid osalt teede, osalt kraavide kaudu, osalt mujalt — selle järele vaadates, et käigud algaksid ja lõpeksid polügooni piiril olevate pikettidega ja et ühtlasi metsas ei oleks suuremat ala, kus piketid puuduvad (238. joon.). Loodimiskäigud ja pikettide asukohad määratakse pantomeetri või bussooli abil. Lageda maastiku loodimisel jagatakse maapind ühesugusteks ruutudeks 40 m × 40 m suuruses (239. joon.). Siis seatakse aparaat silma järele ruut I-e keskele (I jaam) ja tehakse vaatlusi pikettidele 0, 1, 2 ja 3. Saadud arvud märgitakse nii protokolli ehk žurnaali kui ka ab-

rissile. Sellele järgneb aparaadi ülesseadmine ruut II-e keskele j. n. e., kuni seotakse piiriäärne polügoon.

Pärast, sisemise pinna loodimisel, tehakse veel mõned read käikusid XXI—XXIII ja XXIV—XXVI. Nende asemel oleks



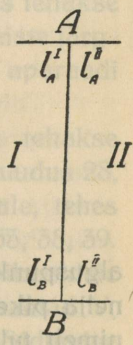
239. joon.



239. a joon.

võidud teha ka õhtust hommikusse käik XIX ja IX jaama sidumisega.

Töötamise juures kontrollimiseks võib liita ühe ruudu külje juures risti seisvad vaatlused; summad võivad ainult 0,001——0,003 mm võrra lahku minna. Näiteks ruut II ja III vahel 0,673 + 0,526 = 0,438 + 0,762; 1,199 = 1,200 (vahe lubatav).



240. joon.

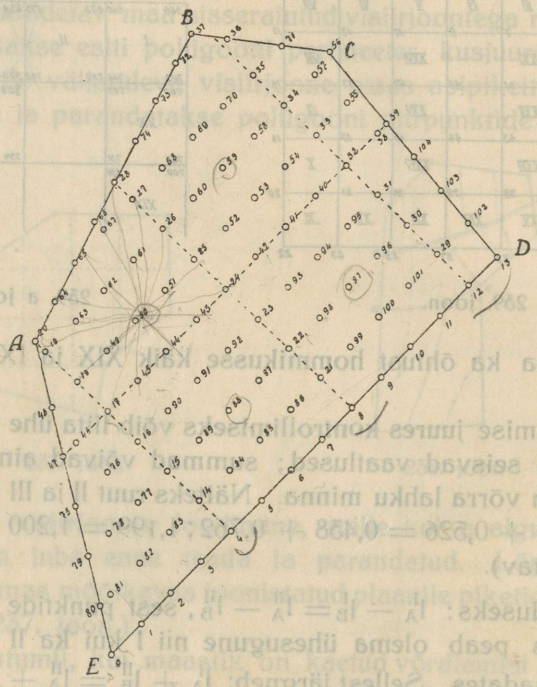
Tõenduseks: $l^I_A - l^I_B = l^{II}_A - l^{II}_B$, sest punktide vahekõrgus peab olema ühesugune nii I kui ka II jaamast vaadates. Sellest järgneb: $l^I_A + l^{II}_B = l^{II}_A + l^I_B$ (240. joon.).

Arvutamisel määratakse esimeses järjekorras piiril olevate pikettide 0, 2, 4, 6, 8, — 38 vahekõrgused ja saadakse vea suurus polügooni piiripikettides. Lubatav viga kantakse ühetaoliselt punktide vahele laiali. Peale seda toimub vertikaalridade viisi 1—33, 4—31 teiste pikettide arvutamine.

Veel üks pinnaloodimise näide:

On olemas umbes 12 ha suurune lage ilma võsata heinamaa ABCDE, mida oleks tarvis kraavitada (241. joon.)

Esiti mõõdame tal ketiga nii küljed kui ka nurgad ja valmistame sellest heinamaast plaani. Saadud plaanil teeme nüüd ruutudeks jagamise kava, arvates iga ruudu külge à 40 m. Parim on kõige pikemast küljest alata. Algame punkt E-st punkt D suunas pikettide märkimist iga 40 m järele. Saame peale



241. joon.

alguspunkti E 13 piketti. Viimane vahe 35 m. Nüüd, iga nelja piketi järele (160 m) ehitame perpendikulaarid joon ED-le; nimelt tuleks perpendikulaarid võtta 4., 8., ja 12. piketi kohale. Saadud perpendikulaaride kaudu tähistame piketid iga 40 m järele. Keskmisele perpendikulaarile pikett nr. 24. kohal võtame uue perpendikulaari, mis seega oleks paralleelne DE-le. Saadud joonel asuvad piketid nr. 32 ja 17. Nr. 32 piketist 40 m hommiku poole — saame nr. 38. piketi ja siis piirjoonel veel pikett nr. 39. Kandes siis 32. piketi õhtu poole à 40 m, saame

piketid nr. 40—47. Suurema osa ülejäänud pikette võib nüüd üles tähendada mõõtmata ja ilma ekkerita. Nimelt järgmine 48. pikett seatakse polügooni piiril nr. 18. ja 25. suunda. Siis seatakse nr. 49. ühelt poolt pikettide nr. 18 ja 48, teiselt poolt nr. 45 ja 5 suunda. Pikett 50 — pikettide 18 ja 49 ja 44 ja 6 suunda. Nõnda, nagu see jaotus esialgu paberil toimub, tuleb pärast ka natuuras punktid tähistada. Selleks peab esimeste 0—45. sisselöödud piketi juurde üles seatama silmapaistvad märgid — sihitikud, mida 200—300 m peale oleks näha. Soovitav on seejuures binokli tarvitamine. Äärmisel juhtumil võiks peale 47. piketi tähistamist joonele 47—39 iga sellel joonel asuva piketi kohal võtta mõlemale poole perpendikulaarid kuni polügooni külgedeni ja kanda nendele perpendikulaaridele keskjoonest alates kummalegi poole à 40 m viisi, saadud punktides pikette sisse lüües.

Kui kõik piketid sisse löödud, algab loodimine. Selleks oleks soovitav tarvitada latti, millel ühel küljel süldade, teisel meetrite jaotus. Aparaat peab võimaldama vaatlust 140 meetrini. Esiti seame aparaadi 50. piketi kohale ja teeme vaatlused pikettidele nr. 17, 18, 19, 20, 64, 63, 49, 45, 44, (50), 62, 65, 66, 67, 61, 51, 43, 24, 25, 26, 27, 28. Iga piketi juures tehakse vaatlused mõlemaile lati külgedele. 50. piketi ja ka teiste järgmiste jaamade kõrgus määratakse, mõõtes latiga aparaadi kõrgust.

Siis asutakse aparaadiga 59. piketi kohale ja tehakse vaatlused kõikide pikettide peale, mis asuvad suures ruudus 28, 37, 32 ja 24. Kolmas jaam tehakse 57. piketi kohale, tehes vaatlusi pikettidele 32, 33, 34, 35, 36, 37, 71, (57), 56, 55, 38, 39.

Neljas jaam tuleb 103. piketi kohale, vaatlused pikettidele 32, 38, 39, 104, 31, (103), 30, 29, 102, 13, 12; siis jaamad V, VI ja VII järgemööda 97., 88. ja 78. piketi kohale. Sidumise mõttes seatakse aparaat 48. piketi kohale ja tehakse vaatlused ainult nr. 20. ja 47. piketile.

Töö juures arvutatakse meetermõõdu vaatlused süldadeks ümber ja võrreldakse süllamõõdu vaatlustega.

Koju tulles arvutatakse pikettide nr. 20., 28., 37., 39., 12., 8., 4., ja 47. järele seotud polügooni maapinna tõusud ja lan-

gud, mis liitmisel kogusummas peavad andma nulli. On viga lubatav, määratakse parandus iga 40 m kohta ja kaotatakse viga eelpoolnimetatud sidumispunktide vahel. Nüüd anname 20. piketile mõnesuguse relatiivse kõrguse (10 m), arvutame jaama esimese vaatejoone kõrguse ja sellest kõiki I jaama vaatlusi lahutades saame esimese suurema ruudu pikettide kõrgused. Teises ja ka järgmistes jaamades toimub vaatejoone kõrguse arvutamine parandatud sidepikettide nr. 28, 37, 39 j. n. e. järele. Teatud kontrolli arvutamisel võimaldavad piketid 27, 26, 25, 24, 23 ja teised, milledele vaatlusi kahest jaamast tehtud ja millede kohta seega saame kahed kõrgused. Kui kõrguste vahe on siin kahe jaama vaatluste järele 3—5 mm suurune, siis on viga lubatav ja kõrgustest võetakse keskmine aritmeetiline.

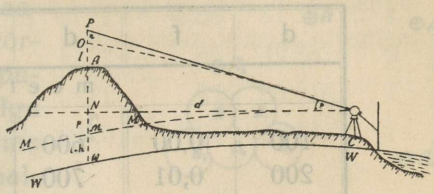
Soode ja turbarabade loodimisel mõõdetakse iga piketi juures soo või turbakihi sügavus sellekohase puuri või lihtteiba abil. Üldine turbakihi arvutamine võib sündida $v = \frac{\Sigma h}{n} . S$, kus h tähendab turba sügavust; Σh kõikide pikettide juures võetud sügavusest liidetult (m); n on pikettide arv, S — looditava maa pindala (m^2) ja v — mass (kantmeetrites).

Tahhimeetriline loodimine.

Tahhimeetrilisel loodimisel võib tarvitada kas teodoliiti või kipreeglit vertikaalrattaga. Selle ratta jaotus ja temaga ühenduses olev vernjeer peavad võimaldama vaatlusi teha täpsusega 1 minut. Tahhimeetrilist loodimist toimetatakse harilikult ühel ajal sisemiste kontuuride ülesvõtmisega. On sisemiste kontuuride ülesvõtmine rajatud ainult polügoonkäigule, siis peab sellega ühtlasi ka polügoonipunktide kõrgused määratama. Kui aga sisemise situatsiooni võtmine plaanile sünnib polügoonkäigu ja toetuspunktide võrgu või ainult triangulatsioonvõrgu abil, siis tuleb esiti määrata nende toetuspunktide kõrgused merepinnast, mõnesugusest teisest veepinnast või punktist, mille absoluutne kõrgus teada.

See sünnib järgmiselt: On olemas toetuspunkt A, mille kohale üles seatud vertikaal-latt pikkusega l. On tarvis teada

saada lati tipu kõrgus H merepinnast WW. Otsitava kõrguse H määramiseks asume teodoliidiga veepinna või muu, enne teatud, pinna lähedasse punkti C ja määrame esiti selles punktis ülesseatud aparaadi kõrguse merepinnast. Seks mõõdame aparaadi kõrguse i ja juhime teodoliidi optilise telje veepinnale asetatud lati «i» kõrgusele vastava punkti peale (242 ja 242. a joon.).



242. joon.

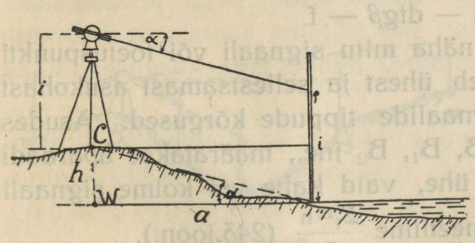
Punkt C kõrgus merepinnast on:

$$h = CW = a\,tg\alpha,$$

kus a on horisontaalkaugus aparaadist latini. Aparaadi sentri kõrgus merepinnast oleks: $h_1 = i + atg\alpha$.

Pikendame mõttes merepinda kuni punkt A-ni, samuti ka merepinnale paralleelselt võetud pinda MM, mis läbi aparaadi sentri läheks. Punkt A-st võetud vertikaaljoonel oleks osa MW=h+i. Juhtides teodoliidi pikksilma latt l-u otsmisesse punkti O-sse, saame vertikaalrattal $\measuredangle \beta$, mis moodustatud horisontaaljoone suunas asuva limbi või vertikaalratta nooniuse nullide diameetri ja pikksilma optilise telje suunaga.

Kui ei oleks maapinna kumerust ega ka refraktsiooni, siis võrduks lati tipu kõrgus merepinnast $H = i + h + d\,tg\beta = i + a\,tg\alpha + d\,tg\beta$, kus d on horisontaalkaugus punktide C ja A vahel, mis trigonomeetriliselt määratakse toetuspunktide asukohtade kindlakstegemisel.



242. a joon.

Tõepoolest tuleks aga eelpoolsaadud lati tipu kõrgust parandada, liites maapinna kumeruse viga $p = NM$ ja lahutades refraktsiooniviga $r = PO$; seega oleks $H = h + i + dtg\beta + p - r$,
või, arvates $(p - r) = f$,
saame: $H = h + i + dtg\beta + f$,

s. o. toetuspunkti lati tipu kõrgus merepinnast võrdub aparaadi seisu kõrgusega merepinnast (h), juurde arvatud aparaadi kõrgus(i) ja horisontaalkaugus aparaadist latini, korrutatud vaatluse vertikaalnurga tg-ga + parandus f. Viimane oleneb õhu seisukorrast ja kaugusest. Keskmiselt võib arvata:

d	f	d	f	d	f
meetrid					
100	0,00	600	0,05	1 100	0,17
200	0,01	700	0,07	1 200	0,20
300	0,01	800	0,09	1 300	0,24
400	0,02	900	0,11	1 400	0,28
500	0,04	1 000	0,14	1 500	0,32

Kui lati tipu kõrgus merepinnast on teada, siis võib arvutada punkt A kõrgust merepinnast (H'):

$$H' = H - l.$$

Kui toetuspunkt A kohal oleva lati või signaali tipu kõrgus merepinnast (H) on teada, siis on kerge määrata iga teise punkti, näiteks punkt B, kõrgust merepinnast (h):

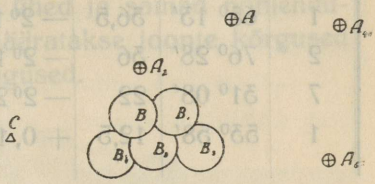
$$H = h + i + dtg\beta + f, \text{ kust}$$

otsitav $$h = H - i - dtg\beta - f.$$

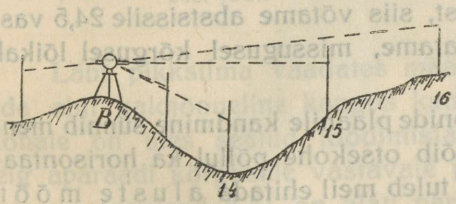
Kui meil punkt C-st on näha mitu signaali või toetuspunkti A, A_1, A_2, A_3 jne., siis tuleb ühest ja sellestsamast asukohast määrata nende kõikide signaalide tippude kõrgused. Asudes pärast kõrvalpunktidesse B, B_1, B_2 jne., määratakse aparaadi seisu kõrgusepunkt mitte ühe, vaid kahe või kolme signaali järele nagu keskmine aritmeetiline $\frac{\sum_1^{12} h}{n}$ (243.joon.).

Kui punkt B kõrgus teada (selleks tuleb ühtlasi sama punkti horisontaalne seis koordinaatide järele määrata), siis võib kõikide ümberkaudu olevate sisemiste, vähemate kontuuri punktide asukohtade määramisel ka nende kõrgused määrata. Ühest aparaadi seisu punktist võib üles võtta maa-ala raadiusega à 100—200 meetrit. Kui punkt B ümbrus üles võetud, viiakse aparaat punkt B_1-sse, määratakse jälle aparaadi seisu kõrguse-

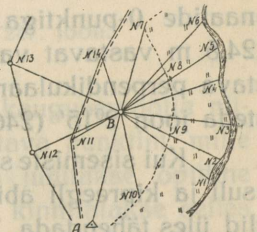
punkt kolme signaali A_1, A_2, A_3 järele ja peale seda juba punkt B_2 ümbrus (245. joon.). Sisemise situatsiooni punktide, millede juures latt asub aparaadist kuni 200 m kaugusel, parandus f on vähem kui 0,01 m ja jääb arvesse võtmata. Punkt B ümbruses asuvate punktide kõrguste määramisel mõõdetakse esiti aparaadi sentri kõrgus maapinnast (i) ja märgitakse see kõrgus latile (näit. sellele kohale punast paela ümber sidudes). Iga punkti juures juhitakse pikksilma optiline telg peale horisontaalnurga ja kauguse määramist vastava latimärgi peale (244. joon.). Siis on näiteks punkt 14. kõrgus $h_{14} = h_3 - d_{14} tg\alpha_{14}$; punkt 16. kõrgus $h_{16} = h_B + d_{16} tg\alpha_{16}$. Üldse $h = h_B \pm d tg\alpha$. Juurdekasv on negatiivne, kui maapind langeb, ja positiivne, kui maapind tõuseb (s. o., kas vertikaalratta objektiivile lähema poole null on allpool või pealpool liikumatut vernjeeri 0). Iga seisukoha B kohta tuleb eraldi tabel ja abriss pidada. See sünnib nagu joonisel 245 ja tabelis lk. 238 näidatud.



245. joon.



244. joon.



245. joon.

Osa määratud punktidest on ainult kõrguste tähistamiseks, teised aga on valitud säärastes situatsioonipunktides, mis nii sisemisi kontuure kui ka kõrgusi määravad, kolmandad ainult sisemiste kontuuride määramiseks.

Kauguste ja vertikaalnurkade järele vahekõrguste arvutamisel võib tarvitada 1) logaritmipulka või logaritmide tabeleid,

Tabel: Aparaadi seis B, kõrgus 8,25 m. Limbi nullide diameeter juhitud signaal A peale.

Punktide №	Horisontaalnurk	D m	Vert. ∢	Märkused
1	65° 13′	36,5	— 2° 15′	Jõgi laieneb. Tasane. Heinamaa.
2	76° 28′	36	— 2° 14′	„ muutub kitsaks „ „
7	31° 08′	22	— 2° 20′	Heinamaa teeb käänaku.
1	53° 58′	12,5	+ 0, 10′	Maantee. Mõlemal pool madalam. Põld.

2) tangensjoone naturaalsuuruste tabelit, 3) kõrguste mõõtu ja 4) vahekõrguste arvutamise tabelit.

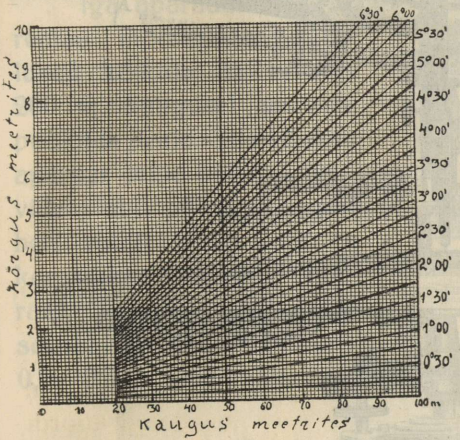
Tangensjoonte naturaalsuuruste ja vahekõrguste tabelid on esitatud raamatu lõpus lisadena.

K õ r g u s t e m õ õ d u ehitamiseks võtame millimeeterpaberi ja kanname abstsissi kaudu kaugused 0—100 m, iga 1 sm à 10 m arvates. Saja kohal võetud perpendikulaaril tähistame tangensjoonte tabeli järele nurkadele vastavad kõrgused iga $^1/_4$ kraadi järele, 1mm à 0,1 m arvates. Saadud punktid, millede kohale kraadid ja minutid märgitakse, ühendame koordinaatide 0-punktiga. Kui on tarvis leida 2° 15′ ja kaugusele 24,5 m vastavat vahekõrgust, siis võtame abstsissile 24,5 vastava perpendikulaari ja vaatame, missugusel kõrgusel lõikab teda joon 2°15′ (246. joon.).

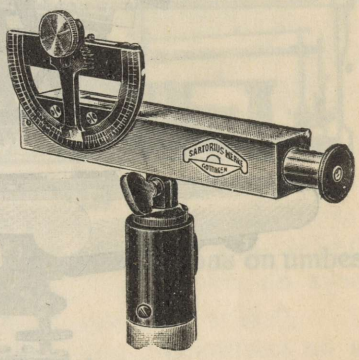
Kui sisemiste situatsioonide plaanile kandmine sünnib mensuli ja kipreegli abil, siis võib otsekohe põllul ka horisontaalid üles tähendada. Selleks tuleb meil ehitada a l u s t e m õ õ t.

Juhtumil, kui plaani valmistamine sünnib teraslindi, ekkeri, pantomeetri või astrolaabi abil, milledel puuduvad kõrguste mõõtmiseks vastavad sisseseaded, ja on siiski soov künklise maastiku juures plaanil kõrguste tähistamiseks, siis on kõige odavam ja lihtsam abinõu selleks eklimeetriga määrata joonte lange või tõuse, missugune töö sünnib käsikäes muu mõõtmisega. Otstarbekohane on selleks kasutada statiivile ülesseatavat eklimeetrit, mida kujutab 247. joonis.

Kõrguste graafiline määramine sünnib nõndanimetatud «kiirmõõtjate» abil. Joonis 248 kujutab Wagner-Fennel'i kiirmõõtjat, mis mensuli kipreegli osa täidab. Kiirmõõtja võib aga ka teodoliidiga ühenduses olla. Kiirmõõtjate ehitus sarnaneb puude kõrgustemõõtjate (Wimmenauer'i dendromeeter) ehitusega, vähemalt on siin maksvad ühed ja samad põhjendused: sarnast kolmnurkade abil määratakse joonte kõrgused ja projektsioonid või horisontaalkaugused.



246. joon



247. joon.

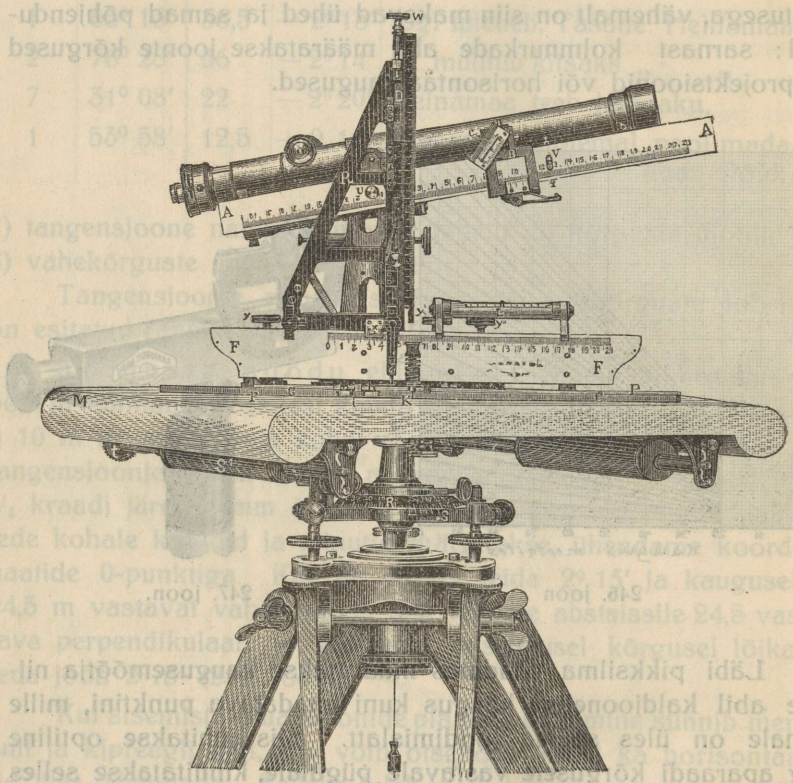
Läbi pikksilma vaadates määratakse kaugusemõõtja niitide abil kaldjooneline kaugus kuni vaadatava punktini, mille kohale on üles seatud loodimislatt. Siis juhitakse optiline telg aparaadi kõrgusele vastavale pügalale, kinnitatakse selles seisus. Joonlaud AA^1 on alati paralleelne pikksilma optilisele teljele.

Nüüd asetame noonius B säärasesse seisu, et noonius B vaatlus vastab kaugusemõõtja niitide abil määratud kaugusele, siis lükatakse kolmnurk R vastu nooniust.

Kolmnurk R-u alusel olev noonius x näitab seejuures vaadatava punkti horisontaalkaugust ja vastu kolmnurga vertikaalkülge puutuv noonius C, mis võtab kokkupuutumisel

vertikaalseisu, näitab vaadatava punkti relatiivset kõrgust. Seejuures peab pahemat kätt olev noonius näitama 0.

Pikiirnõel k vajutusega tähistatakse mõõdetava punkti asukoht paberil. Kolmnurga vertikaalne joonis võimaldab tarbekorral ka otseteel absoluutsete kõrguste määramist; selleks



248 joon.

tuleb vertikaaljoonlaud kruvi w abil edasi-tagasi lükata, kuni pahemat kätt olev noonius n näitab kõrgust h_m.

$$h_m = H_1 + i - l_m$$

h_m on aparaadi seisukoha absoluutne kõrgus

i „ aparaadi kõrgus

l_m „ vaadatava punkti M kohal ülesseatud lati kõrgus (maapinnast kuni vaadatava punktini).

Juhtumil, kui $i = l_m$, on $h_m = H_1$.

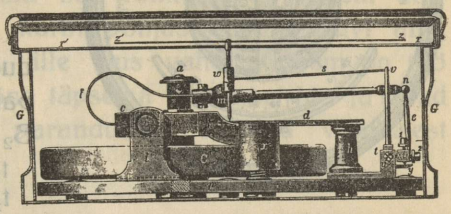
Otsitava punkti kõrgus on:

$$H_m = H_1 + i - l_m = dtg\alpha = h_m + dtg\alpha:$$

Otsitava punkti M absoluutse kõrguse saame säärasel korral otseteed ilma arvutamata paremal pool asuvalt nooniuselt ja tähistame selle arvu plaanil märgitud punkti kõrvale.

Kontrollimiseks asetame pikksilma horisontaalseisu, siis peab ka paremat kätt asuv noonius C näitama suurust h_m.

Iga aparaadi seisukohal tehakse võimalust mööda suuremas mõõtkavas vaatlused kõikide ümberringi 200 m kaugusel asuvate punktide peale. Siis viiakse aparaat teise punkti, kruvide t abil pööratakse paberi rullilt teine koht ja korratakse vaatlusi. Aparaat on varustatud horisontaal-limbiga. Töötamise täpsus horisontaalsuunas on umbes 0,2—0,5 m, vertikaalsuunas 0,1 m.



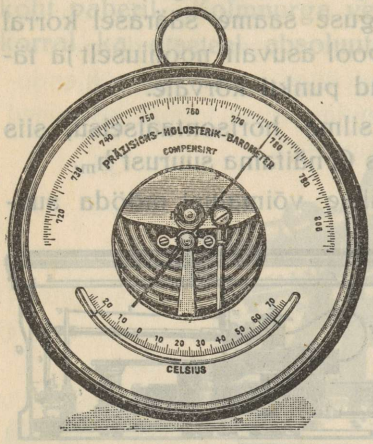
249. joon.

Baromeetriline loodimine.

Baromeetriline loodimine toimub kas aneroidbaromeetri või elavhõbebaromeetri abil. Hariliku (Naudet'i) aneroidbaromeetri läbilõige on näha joonisel 249. GG — aneroidikarbi väline sein, p — alusplaat, C — õhukindel metallkarp, millest õhk välja pumbatud.

Välisõhu rõhu all omab karbi alumine sein ühe või teise seisu, mis edasi kandub sama seina külge kinnitatud silinder a-le ja sellelt viimaselt terasvedrule f; viimaselt kandub rõhk kangpostide m, n, i, u, t, v, s ja w abil rõhunäitajale z,z. Õhutühja karbi asemel võib olla spiraalne õhutühi toru, mis välisõhu rõhu all oma seisu muudab ja seda näitajale edasi annab (250. joon.) Oma ehituse poolest erinev on Goldschmid'i kruvianeroid (251. joon.). Õhurõhu määramine sünnib joonlaua SS' pügalate järele täpsusega kuni 1 mm, kuna mm sajan-

dikosad täiendavalt määratakse mikromeetrikruvi M käänamisel kuni kokkupuutumiseni vedru h^1-ga. Kruvi M peaks on aneroidikarbi pealmine kaas, mis sajaks osaks jagatud.



250. joon.

Baromeetri vaatluste järele kõrguse juurdekasvu arvutamine toimub harilikult järgmise valemi abil:

$$\triangle h = 18\,464\,(\log B_1 - \log B_2).\,(1 + 0{,}003665\,\frac{t_1 + t_2}{2}).$$

B — baromeetri järele saadud õhurõhk peale vastavaid parandusi; B_1 — punkt I kohal; B_2 — punkt II kohal;

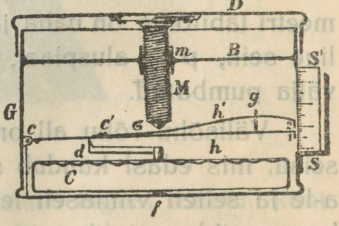
t_1 õhu temper. punkt I kohal

t_2 „ „ „ II kohal.

Parandused:

a) Soojuse mõjul näitab harilik aneroid vähe rohkem kui tarvis. Vaatluste paranduseks on valem:

$\triangle b_t = \alpha T$, kus T on aparaadi sisemine temperatuur, α on koeffitsient, mille suurus — 0,07 ja — 0,17 vahel kõigub ja paremate firmade aneroididel tähendatud. Firma Otto Bohne poolt on müügile saadetud aneroidid, milledel α võrdub ligikaudu nulliga, mis seega soojuse mõjust vabad. α suurust võib määrata, kui aneroidi koos elavhõbebaromeetriga vahelduvalt mitmesuguse temperatuuriga ruumidesse paigutada ja saadud vaatluste järele parandusi teha elavhõbebaromeetri näiteid aluseks võttes.



251. joon.

b) Vabrikud valmistavad aneroidi osasid massiliselt, seega on seletatav, et üksikute aneroidide sisemise ehituse tõttu õhurõhk ühes või teises osas ei vasta täpselt pügalatelt loetavatele rõhkudele. Ebaõigete pügalate mõju kõrvaldamine sünnib valemi järele:

$$\triangle b_p = \beta (760 - A),$$

kus A on vaatlus aneroidi järele; β on koeffitsient, mis võib nii positiivne kui ka negatiivne olla. See suurus on paremate aneroidide kohta vabrikust väljasaatmisel määratud ja aneroidil üles tähendatud. Kui suuruse β kohta puuduvad andmed, siis tuleb aneroid järele proovida sellekohases laboratooriumis.

c) Aneroidi näitaja õige seisu määramiseks ehk algparanduseks tuleb aneroidi vaatlusi võrrelda ühtis ja samus tingimustes elavhõbebaromeetri vaatlustega. Normaalõhurõhu (760 mm) juures võib aneroid kas rohkem või vähem näidata. Viga kõrvaldatakse karbi põhjas asuva kruvi abil, kuid teatud aja pärast tekib jälle uus vahe. Õigem on töö algusel võrrelda aneroidi mõne täpsema baromeetriga ja leitud viga järgnevatel vaatlustel paranduseks saadud vaatlusest lahutada resp. liita.

Näiteks:

Punkt A kõrgus merepinnast on 250,4 m. Aneroidi vaatlus 740,6 mm. Õhutemperatuur 20° ja aneroidi temperatuur 18,5°.

Määratava punkti B juures aneroidi vaatlus 735,2 mm. Õhutemperatuur 18°, aneroidi temperatuur 18,4°.

Aneroidi kohta määratud parandused:

$$\alpha = -0{,}09 \text{ mm}$$
$$\beta = -0{,}02 \text{ mm}$$
$$\gamma = +2{,}60 \text{ mm}$$

Siit saame parandatud andmed õhurõhu kohta:

$$B_a = A_a - \alpha T_a - \beta (760 - A_a) + \gamma$$
$$B_a = 740{,}6 - 0{,}09 \cdot 18{,}5 - 0{,}02 (760 - 740{,}6) + 2{,}60$$
$$B_a = 741{,}1 \text{ mm}$$
$$B_b = 735{,}2 - 0{,}09 \cdot 18{,}4 - 0{,}02 (760 - 735{,}2) + 2{,}60$$
$$B_b = 735{,}6 \text{ mm}$$
$$\triangle h = 18\,464 (\log 741{,}1 - \log 735{,}6) \left(1 + 0{,}003665 \frac{20{,}0 + 18{,}0}{2}\right)$$
$$\triangle h = 18\,464 (2{,}86988 - 2{,}86664) \cdot 1{,}069635$$
$$\triangle h = 64{,}0 \text{ m}$$
$$H_b = H_a + \triangle h = 250{,}4 + 64{,}0 = 314{,}4 \text{ m}.$$

Õhurõhkude vahele 1 mm vastab siin kõrguste vahe ligikaudu 11 m ja õhurõhkude vahele 0,1 mm kõrguste vahe ligi-

kaudu 1 m. Kui arvata vaatluste täpsust aneroidi järele 0,1—0,2 mm, võib lugeda kõrguse määramise täpsust aneroidiga 1—2 m.

Paranduste arvutamine võib edukalt sündida sellekohaste kurvide abil. Tööde korraldamisel tuleb võimalust mööda vaatlusi teha polügoonkäikudena, kus käigu algus- ja lõpupunkti absoluutsed kõrgused oleksid varem määratud. Seega on teada üldine kõrguste vahe, mida võrreldakse aneroidiga saadud kõrguste vahede summaga. Viga kaotatakse proportsionaalselt üksikute kõrguste vahedele. Aneroidiga töötades tuleb teda igasuguste põrutuste eest hoida. Otstarbekohane on kanda aneroidi reisidel rihmaga kaelas. Aneroid peab kõva, kuid mitte õhukindla kasti sees asuma; teda tuleb soojuse ja päikese kiirte eest varjata.

Firma Fuess'i poolt on valmistatud elavhõbebaromeetrid, mida võib kruvide abil elavhõbeda suhtes nõnda sulgeda, et neid oleks kerge transportrida ja tarbekorral saab neid ka loodimiseks kasutada. Need baromeetrid annavad õhusurve täpsusega kuni 0,05 mm ja võimaldavad seega vahekõrguste määramist täpsusega umbes $^1/_2$ m.

Elavhõbebaromeetri tarvitamisel kasutatakse valemit:

$$B = H - (m - n).T.H - H\left(\frac{2h}{R} + 0{,}00265.\cos 2\varphi\right)$$

B — õhurõhk
H — elavhõbeda baromeetri vaatlus
m — elavhõbepaisumise koeffitsient (= 0,000180)
n — vase (baromeetritoru) paisumiskoeffitsient (= 0,000019)
T — baromeetri sisemine soojus
h — määratava punkti absoluutne kõrgus (võib ligikaudne olla)
R — maakera raadius
φ — määratava punkti laiusekraad.

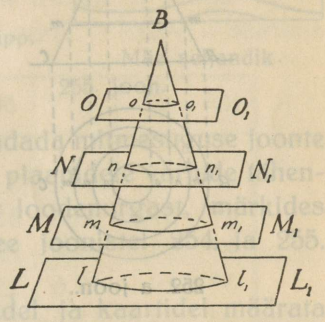
Näiteks: H = 756,45 mm; T = + 17,5°; h = 120 m
R = 6 370 000; φ = 59°40

$$B = 756{,}45 - (0{,}000180 - 0{,}000019)\ 17{,}5.756{,}45 - $$
$$- 756{,}45\left[\frac{120}{6\,370\,000} + 0{,}00265.(-0{,}48989)\right]$$

$$B = 756{,}45(1 - 0{,}0028175 + 0{,}00126053)$$
$$B = 755{,}27 \text{ mm.}$$

Maastikureljeefi tähendamisest kaardile.

Kõrguste plaanile tähendamine võib sündida järgmiselt: 1) punktide kohale, millede kõrgused teada (ruudu tipud), märgitakse arvudena vastavad kõrgused; 2) plaanile tähendatakse jooned, millede punktid ühesugusel kõrgusel merepinnast või relatiivsest nullpunktist; säärased jooned kannavad h o r i s o n t a a l i d e ehk i s o h ü p s i d e nimetust; 3) plaanile tähistatakse kõrgustikud ja orud, mäeküljed ja üldse maapinna ebatasasused kriipsude abil. Teise ja kolmanda viisi juures võib üksikute punktide kõrgused ühtlasi ka arvudega tähistada.



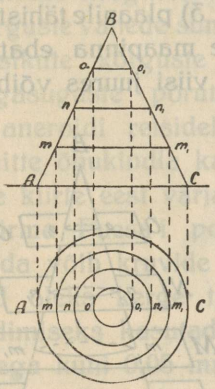
252. joon.

Esimene viis kõrguste tähistamiseks jätab palju soovida: rida arvusid teeb plaani küll kirjuks, kuid kerget ja selget ülevaadet maapinna ebatasasustest me ei saa. Kõige enam tarvitusel on horisontaalid. Sääraste joontega on varustatud kõik 1- ja 2-verstalised topograafilised kaardid. Uutel, Eesti valitsuse poolt väljaantud 10-verstalistel kaartidel on ka horisontaalid tähendatud.

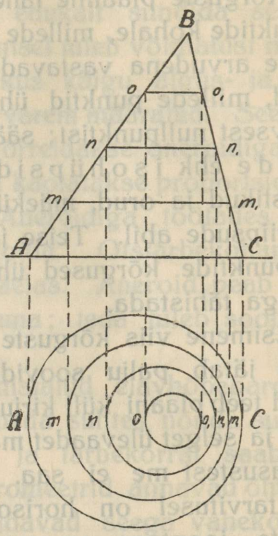
Horisontaalide mõiste selgitamiseks võtame koonuse ABC, mis 4 m kõrge (252. ja 252. a joon.). Nüüd kujutame, et läbi koonuse on tõmmatud koonuse horisontaal-alusele AC paralleelsed tasapinnad MM_1, NN_1 ja OO_1 nõnda, et kaugus vertikaaljoont kaudu kõikide nende paralleelsete tasapindade vahel võrduks 1 m. Koonust lõigates sünnitavad need horisontaaltasapinnad sõõrid mm_1, nn_1 ja oo_1, kusjuures sõõride diameeter alt ülespoole alatasa väheneb. Vertikaal-lõikes saame rea paralleeljooni (252. a joon.). Neid sõõre horisontaalpinnale projekteerides, saame rea kontsentrilisi ringjooni, millede punktid, arvates eraldi iga joone kohta, kujutavad punkte, mis asuvad kõik teatud kõrguses aluspunktist. Näiteks joon AC kõik punktid asuvad aluspinnas (horisontaal 0). Joon mm_1 kõik punktid asuvad aluspinnast 1 m kõrgemal. Joon nn_1 kõik

punktid asuvad 2 m kõrgusel aluspinnast. Joon oo_1 kõik punktid asuvad 3 m kõrgusel aluspinnast (252. a joon.).

Kui koonus on ühekülgne, siis sünnivad horisontaalide projekteerimisel ringjooned, millede kaugus üksteisest koonuse



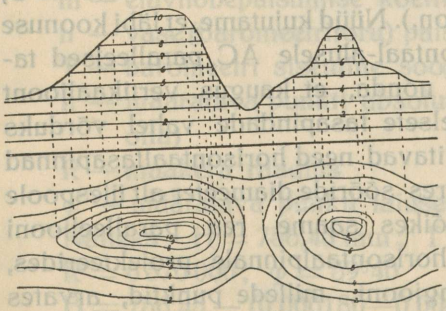
252. a joon.



252. b joon.

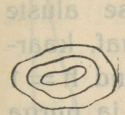
lamedama külje AB juures on suurem ja järsema külje CB kohal vähem (252. b joon.).

See asjaolu võimaldabki meile horisontaalidega plaani puhul, kui horisontaalid nagu harilikult ühesuguse vertikaalkauguse järele võetud, kergesti otsustada, missuguses suunas maastiku kalle on suurem, missuguses vähem: ühel ja selsamal plaanil on seal, kus horisontaalide vahe suurem, ka maapind väiksema kaldega; kus horisontaalid lähedal üksteisele, seal on kalle suurem; kus horisontaalid puuduvad, on maapind enam-vähem lausik. Ainult ühte asja ei selgita horisontaalid:

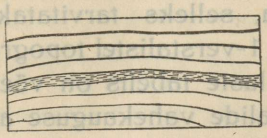


253. joon.

kas on tegemist maapinna langu või tõusuga; kas on mäeselg või org, sest mõlemad kujud tähendatakse täiesti ühtmoodi horisontaalidega. Et eksitust ei tuleks, tähendatakse plaani serval horisontaalide otstele nende kõrgused merepinnast. Mõne kõrgema koha juures märgitakse punktil enesel arvudega tema absoluutne või relatiivne kõrgus. Vähemate plaanide juures

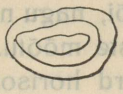


Lohu või augu kujutis.

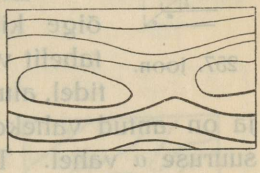


Org.

254. joon.



Mäe tipp.

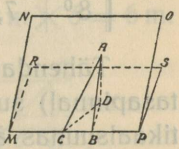


Mäe seljandik.

255. joon.

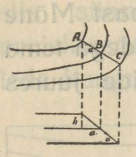
võib maapinna tõusu ja vajumist tähendada mitmesuguse joonte jämedusega (arvates, nagu harilikult, plaanidele varjude tähendamisel, et valgus langeb ülevaltpoolt loodenurgast, märkides varjatud kohti tumedamalt), nagu see joonistel 254. ja 255. tähendatud.

Horisontaalide abil võib plaanidel ja kaartidel määrata mitte üksnes maapinna reljeefi, vaid nende abil võib määrata ka kahe punkti vahekõrgust, maapinna kalde suunda antud punktis ja kaldekraadi. Mäeseljandiku kalde suunaks nimetatakse joont, mida mööda mõni vabalt veerev raskus mäeküljelt alla tuleks. See joon sünnitab mäejala tasapinnaga (horisontaalsega) kõige suurema nurga, mille juures kõige vähem hõõrumist ja keha veeremise trajektooria kõige lühem. Selles suunas sünnib loomulik vee liikumine maapinnal. Ühtlasi on kalde suund perpendikulaarne mäejalal võetud horisontaaljoonele ehk horisontaalile, sest perpendikulaarne joon AB moodustab tasapinnaga MRSP suurema nurga kui mõni muu joon AC (256. joon.). Nii siis, kui horisontaalidega varustatud kaardil on tarvis määrata mõnesuguses punktis maapinna kalde suund, tuleb vastavas kohas ehitada horisontaalidele perpendikulaar, mis on otsitavaks suunaks.



256. joon.

Kaldenurka võib horisontaalide abil määrata. Näiteks (257. joon.), kui horisontaalid A, B ja C on võetud 5 meetri tagant ja kaugus a horisontaalide A ja B vahel oleks 75 m, siis on kaldenurk A ja B vahel $tg\alpha = \frac{h}{a} = \frac{5}{75} = \frac{1}{15} = 0{,}0667$, seega on $\alpha = 3^0 50'$ (täpsus kuni 5').



257. joon.

Et nurga suurust horisontaalidega plaani järele õige kiiresti määrata, selleks tarvitatakse aluste tabelit või, nagu näit. 1-verstalistel topograaf. kaartidel, aluste mõõtu. Aluste tabelis on võetud $h = 1$ ja on antud vahekord horisontaalide vahekauguse a ja nurga suuruse α vahel. Toon väljavõtte sellest tabelist:

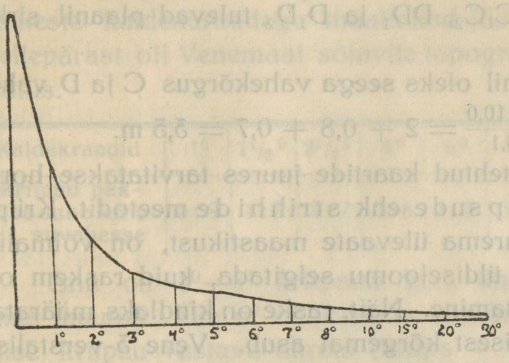
Kr.	0′	15′	30′	45′	Kr.	0′	15′	30′	45′
0°	∞	229,2	114,6	76,4	9°	6,3	6,1	6,0	5,8
1°	57,3	45,8	38,2	32,7	10°	5,7	5,5	5,4	5,3
2°	28,6	25,5	22,9	20,8	11°	5,1	5,0	4,9	4,8
3°	19,1	17,6	16,3	15,3	12°	4,7	4,6	4,5	4,4
4°	14,3	13,5	12,7	12,0	13°	4,3	4,2	4,2	4,1
5°	11,4	10,9	10,4	9,9	14°	4,0	3,9	3,9	3,8
6°	9,5	9,1	8,8	8,4	15°	3,7	3,7	3,6	3,5
7°	8,1	7,9	7,6	7,3	16°	3,5	3,4	3,4	3,3
8°	7,1	6,9	6,7	6,5	17°	3,3	3,2	3,2	3,1

Tähendatud on: kaldenurk ja aluse (horisontaalide vahe tasapinnal) suurus meetrites horisontaalide kauguse juures vertikaalsuunas à 1 meeter. Alus a tuleb plaanilt mõõta.

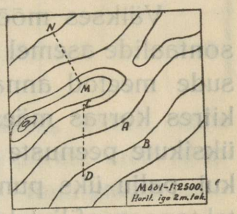
Aluste mõõdu ehitamiseks võtame sirgjoone (abstsisstelje) ja kanname siia nurkade suurused, kaugusi üksikute arvude vahel vabalt võttes (millimeeterpaberil võiks kaugus iga kahe kõrvutiseisva arvu vahel olla 10 mm. Iga arvu kohale ehitatakse perpendikulaarid ja kantakse nendele aluste pikkused, mis nurgale, plaani mõõtkavale ja plaani horisontaalide vahekõrgustele vastavad (258. joon.). Näiteks, kui plaan on tehtud 25 m ühes sm (1:2500) ja horisontaalid on võetud iga 2 m tagant, siis oleks alus 1°—114,6 m, 2°—57,4 m, 3°—38,2

m jne. Mõõtkava järele vastavalt 1^0—4,57 sm, 2^0—2,29 sm, 3^0—1,53 sm jne.

Näiteks, kui on tarvis määrata kaldenurk mäeseljakul punktide A ja B vahel, siis võtame sirkliga punkt A-st kuni B-ni horisontaalidele perpendikulaarse kauguse, ja vaatame



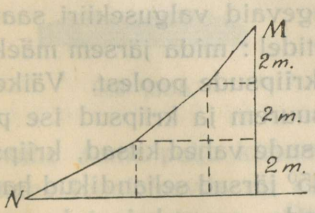
258. joon.



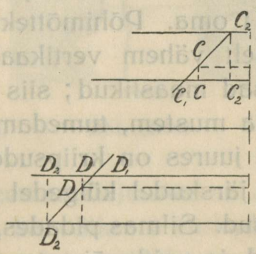
259. joon.

aluste mõõtkava abil, missugusele nurgale see alus vastab. Leiame, et alus AB vastab nurgale $5^1/_2$.

Kui horisontaalidega plaanil on tarvis määrata punktide vahekõrgus ja kui antud punktid asuvad seejuures horisontaalidel, siis tuleb kindlaks teha, missuguse kõrguse järele on horisontaalid tõmmatud, ja selle arvuga korrutada horisontaalide vahede arv. Näit. punkt M ja N vahekõrgus = 2 m × 3 = 6 m. (259. ja 259. a joon.)



259. a joon.



259. b joon.

Kui on tarvis plaani järele määrata punktide C ja D vahekõrgus juhtumil, kui punktid C ja D asuvad horisontaalide vahel, tuleb esiti võtta täied horisontaaljoonte vahed, käesoleval juh-

tumil 2 vahet kumbki à 2 m, s. o. 4 m, ja sellega liita: 1) h_1 — maapinna lang punkt C-st kuni lähema (D suunas) horisontaalini; 2) h_2 — maapinna tõus punkt (259., 259. b joon.) D-st kuni lähema (C suunas) horisontaalini. Neid liita tulevaid osi saab proportsioonidest $h_1 : 2 = CC_1 : C_1C_2$; ja $h_2 : 2 = DD_1 : D_1D_2$. Jooned CC_1, C_1C_2, DD_1 ja D_1D_2 tulevad plaanil sirkliga mõõta.

Käesoleval juhtumil oleks seega vahekõrgus C ja D vahel

$$H = 2 + \frac{2 \times 5{,}0}{12{,}5} + \frac{2 \times 10{,}0}{28{,}1} = 2 + 0{,}8 + 0{,}7 = 3{,}5 \text{ m}.$$

Väikses mõõdus tehtud kaartide juures tarvitatakse horisontaalide asemel kriipsude ehk strihhide meetodit. Kriipsude meetod annab parema ülevaate maastikust, on võimalik kiires korras mäestiku üldiseloomu selgitada, kuid raskem on üksikute peenuste selgitamine. Näit. raske on kindlaks määrata, kui palju üks punkt teisest kõrgemal asub. Vene 3-verstalistel topograafilistel kaartidel olid kõrgused kriipsudega tähistatud.

Leemann'i tabel

Kaldekraadid	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40	40—45	Üle 45
Kriipsu paksuse suhe kriipsuvahesse	0 : 9	1 : 8	2 : 7	3 : 6	4 : 5	5 : 4	6 : 3	7 : 2	8 : 1	9 : 0

Üks vanemaid kriipsudega tähendamise viise on Leemann'i oma. Põhimõtteks on siin, et suure kaldega pinnad relatiivselt vähem vertikaalselt langevaid valgusekiiri saavad kui lausad maastikud; siis ka kaartidel: mida järsem mäekallas, seda mustem, tumedam on ta kriipsude poolest. Väikeste nurkade juures on kriipsude vahe suurem ja kriipsud ise peenemad; järskudel külgedel on kriipsude vahed kitsad, kriipsud ise paksud. Silmas pidades, et üle 45° järsud seljandikud harva esinevad ja neid võimatu on kasutada, on maksimaalne nurk 45° arvatud.

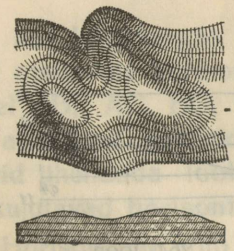
See on, kui kaldenurk on alla 5°, siis jääb väli kriipsutamata; kui 5°—10°, siis on kriipsuvahe 8 korda laiem kui kriips ise; kui kalle on üle 45°, siis värvitakse maastik üleni mus-

taks. Kriipsud tõmmatakse perpendikulaarselt horisontaalidele, kriipsude pikkus võetakse võrdne horisontaalide kaugusega vastavas kohas plaanil.

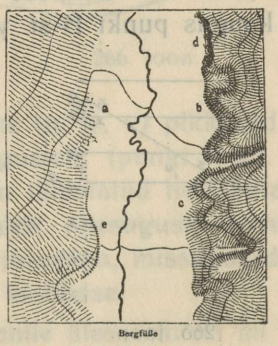
Leemann'i kriipsude tarvitamine annab küll hea selge ülevaate künklisest ja mägisest maastikust, kuid tasapinnalised väikeste kaldenurkadega maakohad jäävad liiga ühetaoliseks. Sellepärast oli Venemaal sõjaväe topograafilistel kaartidel teine jaotus.

Kaldekraadid	1^0	$1^1/_2{}^0$	$2^1/_2{}^0$	4^0	6^0	10^0	15^0	22^0	33^0	45^0
Kriipsu paksuse suhe kriipsuvahesse	0 : 9	1 : 8	2 : 7	3 : 6	4 : 5	5 : 4	6 : 3	7 : 2	8 : 1	9 : 0

Siin on 1^0—6^0 kriipsud kõik ühesugused, ainult vahe laius muutub. Üle 6^0 on kaugus ühe kriipsu äärest kuni järgmise kriipsu vastava ääreni (kriips + vahe) muutumatu suurus; nurga suurenemisega muutub ainult kriips paksemaks



260. joon.



261. joon.

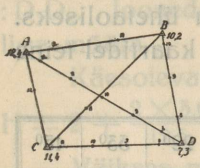
ja vahe sama palju kitsamaks; Leemann'i juures on aga see viimane joonistusviis nii suurte kui ka väikeste nurkade juures ühesuguselt tarvitatav. Üheverstalistel kaartidel on iga tolli kohta umbes 40—60 kriipsu.

Üldse on plaanile kõrguste tähendamine kriipsudega õige raske ülesanne, mis palju aega ja vaeva nõuab. Pliiatsiga valmistatud skemaatilistel kaartidel võib kõrgustikud tähistada

KADEEMILINE METSA SE
Tartu Ülikooli juures

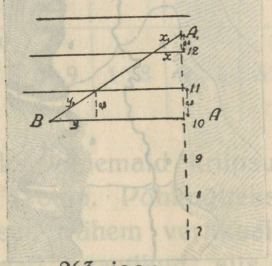
hõredama või paksema varju andmisega. Ülevaatlikud on plaanid, kus esinevad nii kriipsud kui ka horisontaalid (260. ja 261. joon.).

Kõige enam tarvitusel on horisontaalidega plaanid, millede abil võib maapinna kuju täpselt määrata ja seega on võimalus igasugu kraavitamist, teede ehitamist ja muid tehnilisi töid antud plaanil projekteerida.

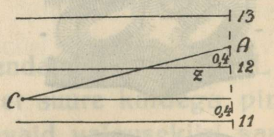


262. joon.

Nüüd vaatame, kuidas loodimisandmete järele horisontaale plaanile tähendada. Võtame, näiteks, 4 punkti, millede kõrgused oleksid A—12,4 m, B—10,2 m, C—11,4 m ja D—7,3 m (262. joon.). Need arvud märgitakse vastavate punktide juures pliiatsiga plaanile. On tarvis tõmmata horisontaalid iga meetri tagant. Esiti määrame, kuidas peavad horisontaalid jooni AB, AC, BD, CD, AD ja BC lõikama. Punktide A ja B vahel peavad asuma horisontaalid 11 ja 12 m. Esimese kaugus punkt A-st oleks olnud x, teise kaugus punkt B-st y. Profiililt selgub (263. joon):



263. joon.



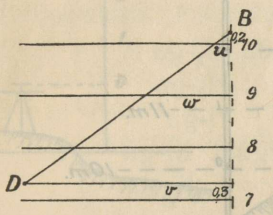
264. joon.

$\frac{x}{AB} = \frac{0{,}4}{12{,}4-10{,}2}$; $\frac{y}{AB} = \frac{11{,}0-10{,}2}{12{,}4-10{,}2}$, kus suurus AB sirkliga plaanil mõõdetakse ja arvutatud suurused x ja y sirkli abil plaanile kantakse.

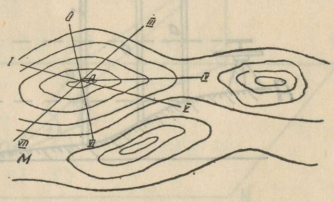
Punktide A ja C vahel asub horisontaal 12, mille kaugus punkt A-st oleks z (264. joon.), kus $\frac{z}{AC} = \frac{0{,}4}{12{,}4-11{,}4}$. Punktide B ja D vahel asuvad horisontaalid 10, 9 ja 8. Esimese kaugus punkt B-st oleks u, kus $\frac{u}{BD} = \frac{0{,}2}{10{,}2-7{,}3}$, teine kaugus

punkt B-st oleks w, kus $\frac{w}{BD} = \frac{1,2}{10,2-7,3}$, kolmas kaugus punkt B-st oleks v, kus $\frac{v}{BD} = \frac{2,2}{10,2-7,3}$ (265. joon.).

Et mitte liiga palju aega pühendada arvutamistele, võiks asja lihtsustamiseks võtta tarvitusele graafilise arvutamise. Ruudulisel või ainult horisontaalsete joontega paberil võetakse need jooned horisontaalideks (10, 9, 8, 7), tõmmatakse neile perpendikulaarne joon, silma järele hinnatakse antud kõrguse punktid (7,3 ja 10,2), kantakse sinna sirkliga plaani madalamast punktist saadud aluse (BD) suurus ja ühendatakse aluse teine ots kõrgema punktiga. Seega on skemaatiline profiil



265. joon.



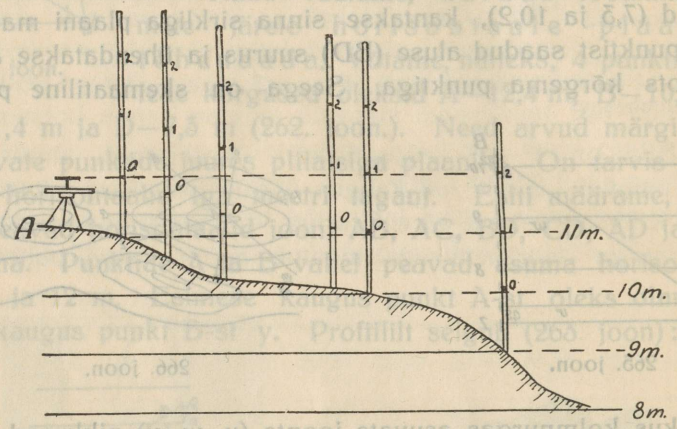
266. joon.

käes, kus kolmnurgas asuvate joonte (u, w, v) pikkused vastavad otsitavate horisontaalide kaugustele (punkt B-st). Kui joontel AB, AC, BD, CD ja AD on tähistatud horisontaalide seis arvutatud punktidega, siis tuleb ühesuguste arvudega punktid ühendada look- ehk kõverjoontega, missugused jooned kujutavad horisontaaljooni ehk isohüpse.

Horisontaale võib otseteed plaanile ülesvõtmisel nii plaanil kui ka natuuras tähendada, kui ülesvõtmine sünnib kipreegli või teodoliidi abil, ning aparaadi pikksilm on varustatud silindervesikaaluga ja niitidega kaugusemõõtjaga.

Näiteks, kui soovime üles võtta maakoha MN-u ja plaanil tähendada horisontaalidega iga meetri tagant (266. joon.). On olemas punkt A, mille kõrgus teada (11,2 m üle merepinna). Asetame mensuli selle punkti kohale, sentrime ja orienteerime teda (267. joon.). Siis võtame ühe lihtlati ja kinnitame selle külge riidest lindi, millele värvidega meetrid ja sm tähen-

datud, nõnda, et lindi 0 asuks lati alumisest otsast kaugusel, mis võrduks pikksilma optilise telje kaugusega maapinnast + kaugus maapinnast kuni lähema, madalamal oleva horisontaalini (i + 0,2 m; või 1,1 + 0,2 m, kus 1,1 on pikksilma ehk vaatejoone kõrgus maapinnast). Nüüd seame mensulilaual oleva pikksilma tema küljes oleva vesikaalu abil horisontaalseisu, juhime kipreegli serva läbi plaanil oleva punkti A mõnesuguse punkti I suunda ja saadame ka töölise latiga minema ses suunas.



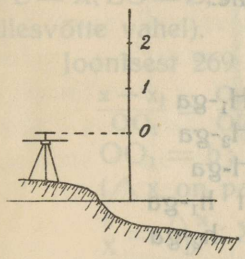
267. joon.

Natuke maad mööda mäge allapoole I suunas minnes seab tööline lati üles, kusjuures maamõõtja vaatab, et pikksilma optiline telg oleks lati nullpunkti suunas. On lati nullpunkt niitide ristist kõrgemal, annab ta töölisele märku veel allapoole minna, on see aga niitide ristist madalamal, siis peab tööline tagasi ülespoole tulema niipalju, et pikksilma optiline telg nullpunkti satub. Nüüd määratakse kaugusemõõtja niitide järele kaugus ja tähistatakse plaanil horisontaali 11. kaugus punkt A-st. Tarviduse korral seab tööline ka maastikule vastava märgi üles. Vahepeal on tööline madalamale asunud ja maamõõtja määrab horisontaalid 10, 9 jne.

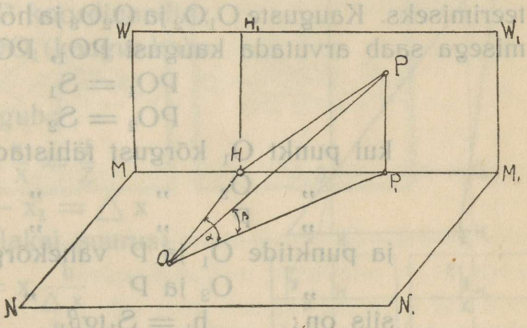
On üks suund märgitud, saadetakse tööline teises suunas punk II-le ja tehakse samuti. Kui mäekülge mööda on neli

või viis sihti aetud, siis on kerge ühesuguseid kõrgusi horisontaalidega ühendada. Teodoliidiga töötamisel tähistatakse horisontaalide asukohad abrissil.

Ka nivelliiriga võib sedasama viisi töötada, kui nivelliiril on limb või bussool. Kui nivelliir on ilma bussooli või limbita, siis tuleb enne nivelliiriga töötamist sihid ekkeriga või mõne muu aparaadiga sisse ajada ja üles võtta. Kauguse määramiseks peab nivelliiri pikksilm kaugusemõõtja niitidega varustatud olema.



267. a joon.



268. joon.

Fotogramm-meetriliste tööde lühike ülevaade.

Fotogramm-meetria ülesandeks on topograafiliste kaartide valmistamine fotograafiliste ülesvõtete järele. Käsitusele tulevad ainult need ülesvõtted, mis on perspektiivselt täpsed, kus ei ole moonutatud pildi üksikud osad. Ülesvõtte puhul peab asuma fotoplaat täpselt vertikaalselt. Kui vaatepunktist ehk perspektiivsentrist (punkt O-st) lasta pildi pinnale perpendikulaarjoon, siis saadakse selle läbilõikes pildi peapunkt H. Kaugust perspektiivsentrist kuni pildi peapunktini nimetatakse pildi kauguseks (OH). Pildi pinnal võetud horisontaaljoont MM_1, mis läbi peapunkti läheb, nimetatakse pildi horisontaaliks; pildi peapunktist läbi minevat vertikaaljoont HH_1 nimetatakse pildi vertikaaliks. Kõikide teiste punktide asukohad pildil määratakse peapunkti ja pildi horisontaali järele (268. joon.).

$$x = d\operatorname{tg}\alpha; \qquad y = \frac{d\operatorname{tg}\beta}{\cos\alpha},$$

Kus d on pildi kaugus, α horisontaal- ja β vertikaalnurk.

Pildi horisontaali ja pildi vertikaali määramiseks on fotoplaadile peened niidid ette seatud ehk kasseti külgedele sellekohased indeksmärgid tehtud.

Kui ühe ja sama punkti P peale on tehtud mitu perspektiivülesvõtet punktidest O_1, O_2 ja O_3, siis peab bussooli või teodoliidi abil määrama punktide O_1, O_2 ja O_3 omavaheline asetus, niisama ka pildi peapunktide suundade ehk pildi kauguste omavahelise asetuse. Selliseid töid nimetatakse piltide orienteerimiseks. Kauguste O_1O_2 ja O_2O_3 ja horisontaalnurkade mõõtmisega saab arvutada kaugusi PO_1, PO_2 jne.

$$PO_1 = S_1$$
$$PO_2 = S_2$$

kui punkt O_1 kõrgust tähistada H_1-ga
„ O_2 „ „ H_2-ga
„ P „ „ H-ga
ja punktide O_1 ja P vahekõrgust h_1-ga
„ O_2 ja P „ h_2-ga
siis on:

$$h_1 = S_1 tg\beta_1$$
$$h_2 = S_2 tg\beta_2$$
$$H = H_1 + S_1 tg\beta_1$$
$$H = H_2 + S_2 tg\beta_2$$
$$H_1 + S_1 tg\beta_1 = H_2 + S_2 tg\beta_2,$$

mille abil ühtlasi sünnib teatud määral töö kontrollimine.

Fotogramm-meetriline plaanide valmistamine on alguse saanud Prantsusmaal 1860. a., kus see võte sõjaväe topograafilistel töödel tarvitusele võeti. Pärast tarvitati seda võtet samaks otstarbeks Saksamaal ja Itaalias. Asja arenemisele aitas eriliselt kaasa Itaalia Alpide topograafiline plaanile võtmine selle meetodi järele.

Et tööd kiiremalt ja otstarbekohasemalt teha, selleks konstrueeriti erilised fototeodoliidid, millede abil oli võimalus ühel ja samal ajal täpselt vertikaalset ja perspektiivselt õiget pilti saada ja ühtlasi ka joonte suundasid peapunktidele määrata.

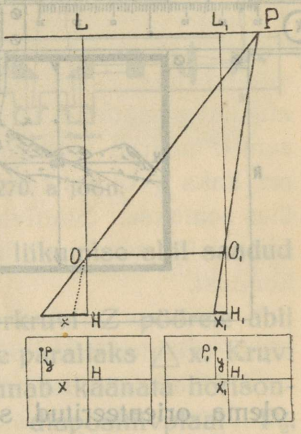
Fotogramm-meetriline ülesvõte on käesoleval aastasajal aset andnud nõndanimetatud stereofotogramm-meetriliste plaanide valmistamisele.

Stereofotogramm-meetrilise käsitamise juures saadakse stereoskoobi abil koha plastiline kujutis ja sellel mõõdetakse kõik kolm koordinaati x, y ja z.

269. joonisel on kujutatud kiirte käik stereoskoobilise võtte juures.

P on vaadatav asi; O ja O_1 on objektiivide sentrid. H ja H_1 pildi peapunktid; HH_1 pildi pind; OH = f pildi kaugus; x ja y pildil saadud punkt p koordinaadid.

Y, X ja Z punkt P koordinaadid; PL = X; LO = Z; b = OO_1 (kaugus kahe ülesvõtte vahel).



269. joon.

Joonisest 269 selgub:

$$\frac{x - x_1}{OO_1} = \frac{Op}{OP} = \frac{x}{X} = \frac{f}{Z}$$

$OO_1 = b$; $x - x_1 = \triangle x$

($\triangle x$ on parallaksi suurus)

$$\frac{x}{X} = \frac{\triangle x}{b}; \quad X = x\frac{b}{\triangle x}$$

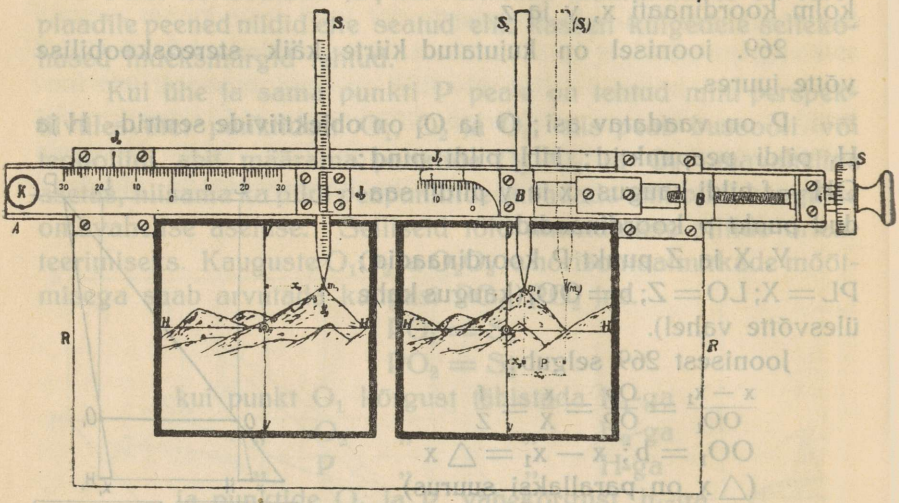
$$\frac{y}{Y} = \frac{\triangle x}{b}; \quad Y = y\frac{b}{\triangle x}$$

$$\frac{f}{Z} = \frac{\triangle x}{b}; \quad Z = f\frac{b}{\triangle x}$$

Vastavalt sellele teoreetilisele arvutusele on ehitatud firma Zeiss'i stereomikromeeter (269. a joon.). Stereomikromeeter kujutab endast raami R, mis stereoskoobi pildi peale asetatakse.

Joonlaua AB edasi-tagasiliikumisega määratakse pahemat kätt asuva nooniuse I_x abil x suurus täpsusega kuni 0,1 mm. Indekspulga S_1 üles-allatõstmisega määratakse otsitava punkti ordinaat y täpsusega kuni 0,1 mm. Mikromeeterkruvi S pööretega liigub ainult paremat kätt olev indekspulk, see on, muudetakse parallaksi suurust ($x - x_1 = \triangle x$), missugune suurus määratakse nooniuse I_p ja kruvipea S pügalate järele täpsusega kuni 0,01 mm. Mõlemad indekspulga nõelteravad otsad peavad läbi stereoskoobi vaadates üksteist katma ja ühtlasi ka vaadatava punktiga täielikult ühte liituma nii kõrguse ja laiuse kui ka pildi sügavuse suhtes.

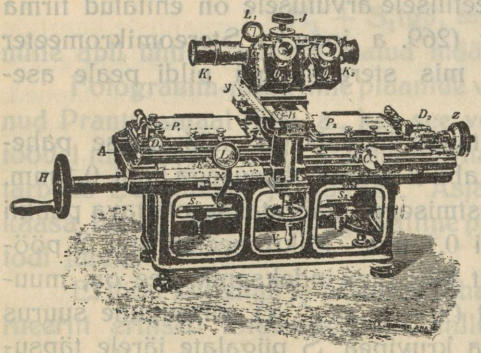
Suurus OO_1 määratakse natuuras kui kaugus kahe aparaadi seisu vahel piltide ülesvõtmisel; ülesvõtte-aparaat peab



269. a joon.

olema orienteeritud seejuures täpselt, nii et joon OH oleks paralleelne O_1H_1-ga.

Otsitava punkti m koordinaatide määramisele asumisel tuleb eeskätt määrata pildi peapunkti koordinaadid; saadud suurusi tuleb iga otsitava punkti koordinaatidest lahutada.

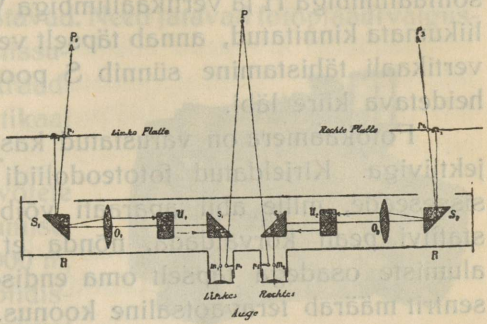


270. joon.

Stereomikromeeter oma vähese suuruse ja puuduliku täpsuse tõttu täidab rohkem demonstreerimise kui plaanide valmistamise ülesannet.

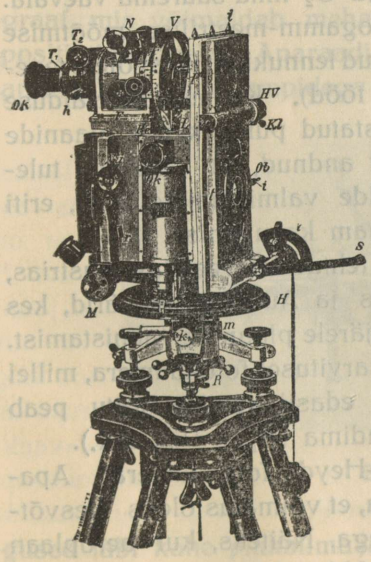
Fotoülesvõtete täpsem mõõtmine sünnib stereokomparaatori abil. 270. joonis kujutab Pulfrich-Zeiss'i stereokomparaatorit.

Selleks paigutatakse diapositiiviplaadid P_1 ja P_2 horisontaalsele alusele A ning valgust. neid all olevate peeglite S_1 ja S_2 abil. Vända H abil liigub alus A üles plaatidega horisontaalsuunas. See liikumine võimaldab nooniuse x abil abstsisside määramist. Vända V abil, mis koonus hambaratta B-ga ühenduses, liigub mikroskoope kandev pealmine osa perpendikulaarselt alus A liikumisele; nooniuse y abil määratakse selle liikumise abil saadud seisude ordinaadid.



270. a joon.

Pügalatega varustatud mikromeeterkruvi Z pöörete abil määratakse parallaks △ x. Kruvi D_2 abil annab käänata horisontaalpinnas diapositiivplaat P_2. Piltide vaatamine sünnib mikroskoopide O_1K_1 ja O_2K_2 abil. Pildil on näha ainult okulaaride osa O_1 ja O_2, kuna objektiivprismade osa on kaetud katete K_1 ja K_2-ga. Kruvi J vabastamisega võib lahutada mikroskoopide osa aluse küljest, mis on tarvilik aparaadi transportimisel. Stereokomparatori kiirte käik on kujutatud 270. a joonisel. 270. b joonis kujutab Pulfrich-Zeiss'i fototeodoliiti. Okulaar Ok on prismade abil murtud joonena ühenduses objektiiviga Ob. Kruvide T_1 ja T_2 abil seatakse aparaat täpselt fookusesse. Teine, küljel asuv okulaar on ühenduses limbi



270. b joon.

pügalate lugemiseks määratud mikroskoobiga. Pügalate valgustamiseks on reflektor Re. Aparaat on varustatud horisontaallimbiga H ja vertikaallimbiga V. Kassett, mis alidaadiga liikumata kinnitatud, annab täpselt vertikaalseisu seada. Pildivertikaali tähistamine sünnib S poolt kasseti raami lähedale heidetava kiire läbi.

Fotokaamera on varustatud kas Tessar'i või Protar'i objektiiviga. Kirjeldatud fototeodoliidi eriliseks omaduseks on sisseseade, mille abil aparaati võib kruvi R vabastamisega statiivi pealt kõrvaldada, nõnda et statiiv ühes tõstekruvide alumiste osadega täpselt oma endisesse kohta jääb. Statiivi sentrit määrab teravaotsaline koonus. Aparaadi kasutamiseks on kaks (või rohkem) statiive, mis punktide O ja O_1 kohale üles seatakse. Statiivide küljes on vesikaal, mis võimaldab vertikaalseisu seada statiivi aluse külge kuuluvat teravaotsalist koonust.

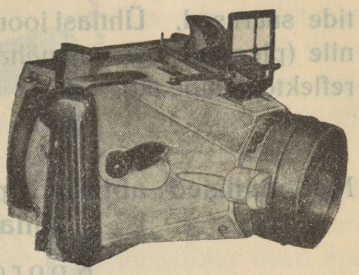
Säärase statiivi ja aluse ehituse tõttu sünnib fototeoliid täpne orienteerimine punktides O_1 ja O_2 ilma suurema vaevata.

Maailmasõjast saadik on fotogamm-meetrilise mõõtmise põhimõtted rohkesti kasutamist leidnud lennukitelt ülesvõtete tegemisel (aerofotogramm-meetrilised tööd). Ka metsakorralduse töödel on õhufotode järele valmistatud puiestikkude plaanide täpsus ja otstarbekohasus lootust andnud, et lähemas tulevikus fotogramm-meetriline plaanide valmistamine leiab, eriti metsamajanduses, ikka enam ja enam kasutamist.

Esialgu on sellel alal katseid tehtud Helveetsias, Austrias, Saksimaal ja Bayeris. Helveetsias ja Austrias on ärid, kes oma ülesandeks võtavad õhufotode järele plaanide valmistamist. Lennukilt ülesvõtte tegemiseks on tarvitusel fotokaamera, millel eriti suur valgusejõud, sest kiire edasiliikumise tõttu peab pildi valgustamine õige kiiresti sündima ($^1/_{100}$—$^1/_{200}$ sek.).

271. joonis kujutab Hugershoff-Heyde fotokaamerat. Aparaat on varustatud magasinkassetiga, et võimalus oleks ülesvõtteid teha õige lühikeste vaheaegadega. Näiteks, kui aeroplaan liigub kiirusega 50 m sekundis ja 1000 m kõrgusel maapinnast, siis tuleb iga 20 sek. järele uus ülesvõte teha. Otstarbekohane plaatide suurus on 13 × 18 sm. See kaamera on määratud

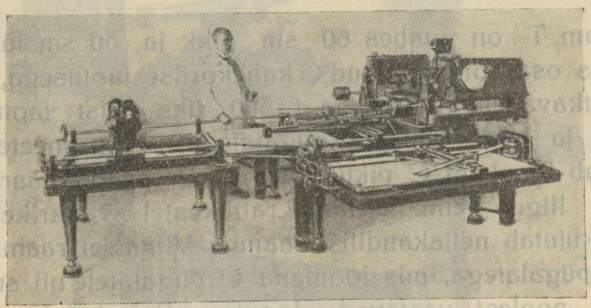
eeskätt vertikaalsete ülesvõtete tegemiseks. Uuematel aparaatidel on olemas kaamera sees kassetiraami ääres kaks vabalt rippuvat loodi, mis läbi paistavad. Need jätavad fotoplaadi valgustamisel plaadile märgi, missuguses suunas ja mitme kraadi võrra ülesvõtte telg vertikaal suunast kõrvale kaldunud.



271. joon.

Vertikaalsete ülesvõtete juures on metsade pildistamisel soodsamaks kõrguseks 1000 m, seejuures on võimalus pildistada umbes 50—100 ha suurust maa-ala. 400 m kõrguselt mahub pildile umbes 6—10 ha, ja 4000 m kõrguselt 1000 ha. Maa-ala suurus oleneb mitte üksi kõrgusest, vaid ka fookuse suurusest.

272. joonisel on kujutatud Hugershoff-Heyde autokartograaf, mis võimaldab mehaanilist plaanide valmistamist diapositiivide järele. Aparaadi parempoolses osas (joonise järele arvates) asuvad lampidega valgustatud diapositiivid, missu-



272. joon.

gused läbi kahe pikksilma ja rea prismade maastiku plastilise kujutise annavad aparaadi ees istujale. Ühtlasi näeb vaatleja ka teravat nõela otsa, mis pildil vaadatava asjaga ühte liituma peab.

Ühe käega üht ja teise käega teist vänta pöörates juhib vaatleja nõela tipu maastiku joont (jõe äärt, teeraja, metsasihi) kaudu edasi. Seejuures kerkivad tema ees sellekohastel mõõtlaudadel arvudena nõelaotsa seisule vastavate koordinaatide suurused. Ühtlasi joonistab pliiats mõõdetava joone plaanile (plaanide osa on näha joonisel, kuna vaatleja asukoht on reflektorlambi all).

Mehaanilised abinõud plaanide valmistamiseks koordinaatide järele.

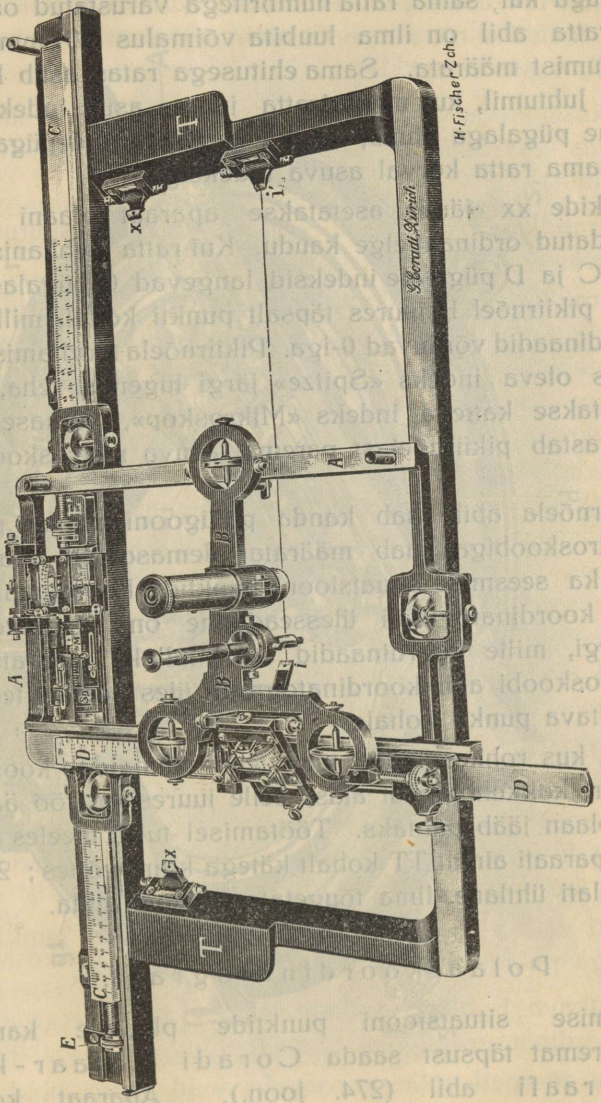
Koordinatograaf.

Suuremate maamõõdu tööde juures sünnib koordinaatide järele polügooni punktide plaanile kandmine koordinatograafi abil. Koordinatograaf kujutab enesest massiivset neljanurgelist raami (273. joon.), mille abstsiss- ja ordinaat-teljele vastavad täpse jaotusega joonlauad. Keset raami liigub nõel, mida võib täpselt antud koordinaatidele vastava punkti kohale asetada.

Siin toon ühe vähema koordinatograafi kirjelduse, mis firma Coradi poolt «Detailkoordinatograph»'i nime all valmistatakse.

Raam T on umbes 60 sm pikk ja 30 sm lai. Raami pealmises osas on joonlaud C kahekordse jaotusega, mis vastab mõõtkavadele 1:1000 ja 1:500, üks neist jaotustest on mustade ja teine punaste pügalatega. Mikromeeterkruvi E abil liigub joonlaud C pikuti raami. Perpendikulaarselt joonlauale C liigub renni asetatud rattakestel «vankrike» A, mis enesest kujutab neljakandilist raami. Viimasel raamil on külg D jaotuspügalatega, mis joonlaua C pügalatele nii suuruse kui ka värvi poolest vastavad. Joonlaua D kohal liigub «vankrike» B, millel asuvad pikiir-nõel ja vaatlusteks mikroskoop. Joonlaud C-l määratakse y ja joonlaud D-l x. Joonlaudade C ja D poolviltu lõigatud servad on varustatud väikeste mikromeeter-hambakestega, mis vastavad numbrirataste hambakestele. Numbrirattad täidavad nooniuse ülesandeid ja on välimuselt sarnased planimeetri rattaga. Pildil on näha joonlaual

D asuv numbriratas. Vankrikese B vähemgi liikumine joonlauda D-d kaudu on määratav joonlaua numbrite ja pügalate



273. joon.

abil. Numbrirattal on $^1/_{10}$ mm suurune edasinihkumine näha 1 mm suuruse pügalana, sest sama ratta mikromeeter-hambu-

kestega jaotatud osa, mis vastu joonlaua D serva puutub ja osa B edasiliikumisel keerlema hakkab, on 10 korda vähema läbimõõduga kui sama ratta numbritega varustatud osa. Mikromeeterratta abil on ilma luubita võimalus 0.01 mm suurust edasinihkumist määrata. Sama ehitusega ratas asub ka joonlaual C. Juhtumil, kui numbriratta juures asuv indeks joonlaua mõne pügalaga ühtub, on ka numbriratta 0-pügal kokku liitunud sama ratta kõrval asuva indeksiga.

Märkide xx järele asetatakse aparaat plaani paberile ülestähendatud ordinaattelge kaudu. Kui ratta mehhanismide ja joonlaua C ja D pügalate indeksid langevad 0 pügalaga ühte, siis asub pikiirnõel B juures täpsalt punkti kohal, mille mõlemad koordinaadid võrduvad 0-iga. Pikiirnõela tarvitamisel tuleb Sp juures oleva indeks «Spitze» järgi lugemisi teha, seejuures varjatakse kattega indeks «Mikroskop», viimase indeksi vaatlus vastab pikiirnõelast paremal asuva mikroskoobi asukohale.

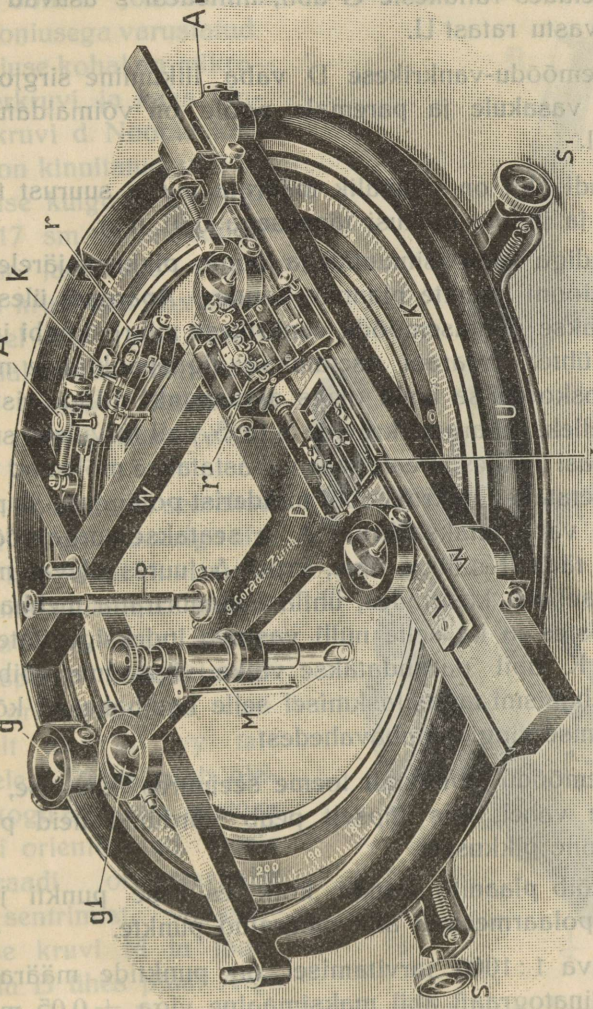
Pikiirnõela abil saab kanda polügooni punkte plaanile, kuna mikroskoobiga saab määrata olemasoleval plaanil nii piiri kui ka seesmise situatsiooni punktide koordinaate tingimusel, et koordinatograafi ülesseadmine on sündinud mõne punkti järgi, mille koordinaadid on kindlaks määratud. Ka saab mikroskoobi abil koordinatograafi üles seades, teda sentrida soovitava punkti kohale.

Seal, kus rohkesti tööd tuleb teha, võimaldab koordinatograaf suurt kokkuhoidmist ajas, selle juures on töö äärmiselt täpne ja plaan jääb puhtaks. Töötamisel tuleb meeles pidada: 1) tõsta aparaati ainult TT kohalt kätega kinni võttes; 2) vankrikestele alati ühtlane, ilma tõugetata liigutus anda.

Polaarkoordinatograaf.

Sisemise situatsiooni punktide plaanile kandmisel võime suuremat täpsust saada Coradi polaar-koordinatograafi abil (274. joon.). Aparaat koosneb kolmest peaosast: 1) massiivsest raudrattast U, 2) raudrattal asuvast nurgamõõtmise vankrikesest W ja 3) vii-

masele asetatud pikkusemõõtmise vankrikesest D. Ratta U läbimõõt on 30 sm. Mõlemate vankrikeste liigutused määratakse



274. joon.

numbririataste r ja r_1 abil, mis oma ehituselt eelpool kirjeldatud koordinatograafi samanimelistele ratastele vastavad. Nii

mikroskoop M kui ka pikiirnõela P asukohtadele on pikkusmõõdu-joonlaual L vastavad indeksid, mis katte d vasakule või paremale lükkamisega tulevad nähtavale. Vankrike W keerleb ringi, toetudes rattakeste G abil, milledest 2 asuvad joonlaua L all, vastu ratast U.

Pikkusemõõdu-vankrikese D vaba liikumine sirgjoonelises suunas vasakule ja paremale poole on võimaldatud rataste G_1 abil.

Aparaadi abil on võimalik määrata nurga suurust täpsusega $0^g,005$ ja joonte pikkusi täpsusega 0,01 mm.

Aparaadiga saab asimuutide ja joonte pikkuste järele sisemise situatsiooni punkte plaanile kanda. Aparaadi ülesseadmisel asetatakse pikkusemõõdu-vankrikese mikroskoobi indeks 0 pügalaga ühte. Aparaat asetatakse alguspunktidele nõnda, et läbi mikroskoobilise luubi oleks alguspunkt niitide risti kohal näha, selleks aparaati kruvide S ja S_1 abil tarvilises suunas edasi või tagasi lükates. Peale selle vabastatakse mõlemad vankrikesed ja asetatakse mikroskoobi niitiderist polügooni II punkti kohale, siis vabastatakse kruvi A ja seatakse nurgamõõtmisratta indeks täpselt nulliga ühte, kruvi A juures olevat mikromeeterkruvi selleks kasutades, ühtlasi numbriratta mehhanismi kruvi abil tõstes ja ka selle nulli vastava indeksiga ühte seades. Kruvi K abil parandatakse väike viga, mis võib sündida, kui mehanismi tagasilaskmisel selle hambakesed kõrvale satuvad alumise ringi hambavahedest.

Pikkusemõõdu-joonlaualt loeme seejuures kauguse, võetud punktide vahel, mis täpselt peab võrduma neid punkte ühendava joone pikkusele.

Nüüd võib plaanile kanda kõik esimese punkti juures teodoliidiga polaarmeetodi abil määratud punkte.

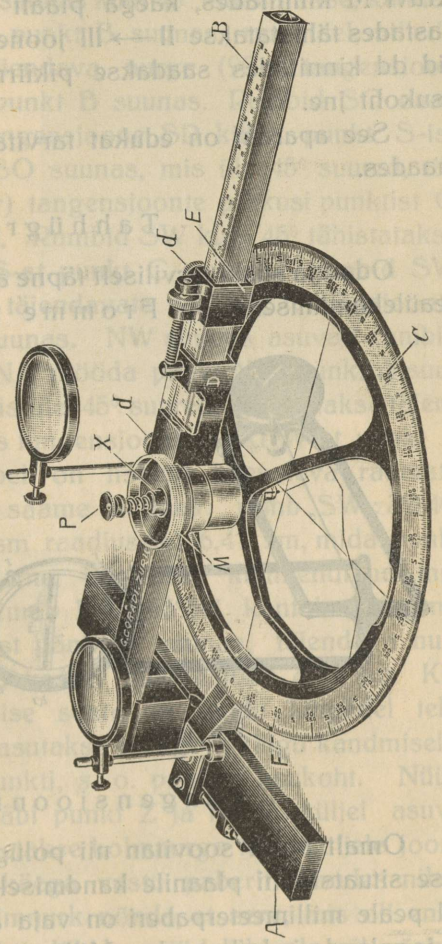
Mõõtkava 1 : 1000 tarvitamisel on punktide määramisel polaar-koordinatograafi abil maksimaalne viga ± 0.05 m.

Seda aparaati võiks soovitada, kuid tema hind on õige kallis; see kõigub suuruse järele 1000—1500 Ekr. vahel.

Hinna poolest vastuvõetavam on Ritter-Coradi

kaugusemõõdu mall (Distanz-Transporteur) (275. joon., vähendatud umbes 3 korda).

Plaat A-le on kinnitatud täisnurga all joonlaud B, mis seest õõnes. Joonlaud B on pikkuse mõõtmiseks pügalate ja nooniusega varustatud. Nooniuse kohal on mikromeeterkruvi ja kaks kinnituskruvi d. Nooniuskattega on kinnitatud võll X, viimase külge on kinnitatud 17 sm läbimõõduga 30-lise jaotusega ratas, nii et kruvi pea M vabastamisel see ratas horisontaalsuunas ringi käänata annab. Ratta ja võlli sentris asub pikiirnõel P.



275. joon.

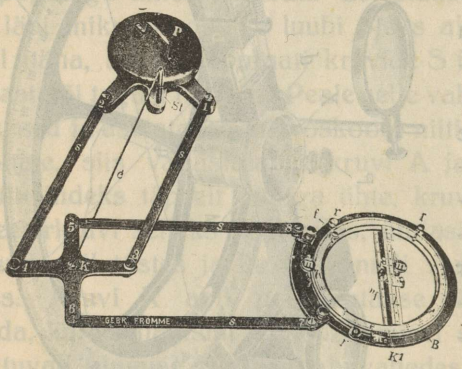
Töötamisel seatakse B null-pügal indeksiga ühte ja kruvid dd kinnitatakse, siis asetatakse pikiirnõela abil ratta senter alguspunkti kohale ja ratas orienteeritakse vastavalt xx ja yy telgedele. Ratas peab olema kogu aeg selle asetuse järgi orienteeritud. Peale aparaadi orienteerimist ja sentrimist, vabastatakse kruvi M ja joonlauda B ühes plaat A-ga käänates antakse neile esimese joone s. o. I ⟶ II asimuudile vastav suund, seda on võimalik teha täpsusega 5′. Nüüd kinnitatakse kruvi M, vasema käega plaati A hoides ja kruvisid dd vabastades lükatakse ratas joonlauda B kaudu vastavalt

mõõdetud joone I ⟶ II pikkusele, kinnitatakse uuesti kruvid dd ja pikiirnõela abil tähistatakse II punkti asukoht. Nüüd vabastatakse kruvi M ja käega ratast C kinni hoides, antakse joonlaud B ja plaat A-le II ⟶ III joone asimuudile vastav suund. Kruvi M kinnitades, käega plaati A hoides, kruvisid dd vabastades tähistatakse II ⟶ III joone pikkus joonlaual B. Kruvisid dd kinnitades saadakse pikiirnõela vajutamisel punkt III asukoht jne.

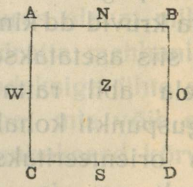
See aparaat on edukat tarvitamist leidnud Hollandi asumaades.

Tahhügraaf.

Odav ja siiski tarviliselt täpne aparaat seesmise situatsiooni peaülekandmiseks on Fromme tahhügraaf (276. joon.).



276. joon.



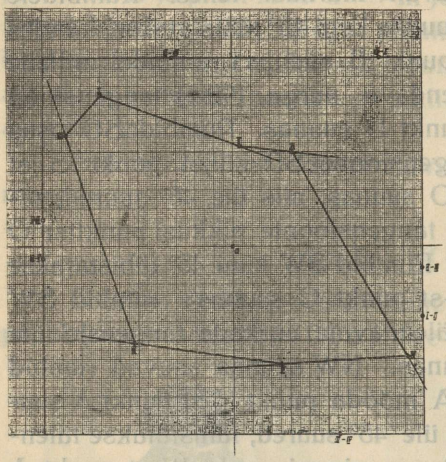
277. joon.

Tangensjoonte võte.

Omalt poolt soovitan nii polügooni külgede kui ka sisemise situatsiooni plaanile kandmiseks järgmist võtet, mille puhul peale millimeeterpaberi on vaja ainult tangensjoonte tabelit, joonlauda ja kolmnurka. Millimeeterpaberil tähistatakse keset paberit ruut 20 × 20 sm. Iga ruudu külg jagatakse pooleks, saadakse punktid N, O, S ja W. Tähistatakse senter Z. Jooned NB, BO, OD, DS, SC, CW ja WA kujutavad tangensjooni 10 sm. pikkuse raadiuse juures (277. joon.) Nüüd

tähistatakse järgemööda tangensjoonte abil ruudu külgedel kõikide joonte rumbid, pliiatsi või parem nõela otsaga vajutust tehes ja seda peenjoonelise ringiga ümbritsedes ja joone nimetusele punkti juures vastavalt märkust tehes. Rumbidele vastavad tangensjooned NO suunas kuni 45° tähistatakse, kandes vastavat mõõtu punkt N-ist punkt B suunas; rumbidel, millede suurus üle 45°, võetakse täiendava nurga (90-r) tangensjoon ja tähistatakse punkt O-st punkt B suunas. Rumbid SO osas kuni 45°-ni tähistatakse tangensjoone SD küljel punkt S-ist punkt D suunas. Rumbid SO suunas, mis üle 45° suured, tähistatakse, täiendavate (90-r) tangensjoonte pikkusi punktist O punkt D suunas pealekandes. Rumbid SW kuni 45° tähistatakse tangensjoonte abil punkt S-st punkt C suunas; rumbid SW suunas üle 45° tähistatakse täiendavate nurkade tangensjoonte abil punkt W-st punkt C suunas. NW suunas asuvad rumbid tähistatakse kuni 45° joont NA mööda punkt N-st punkt A suunas; rumbid NW suunas, mis üle 45° suured, tähistatakse täiendavate nurkade abil, mõõtes tangensjooni punkt W-st punkt A suunas. Tangensjoonte tabel on lisatud käesoleva raamatu lõppu. Nende tabelite abil saame näiteks: rumb SW : 32°40′ vastab tangensjoonele (10 sm raadiusele) 6,41 sm, mida punkt S-st punkt C suunas mõõdame, kusjuures kümnendikud mm määratakse silma järele. Rumb NW : 63°30′ kantakse järgmiselt: mõõdetakse punkt W-st punkt A suunas, täiendava nurgale 26°30′ (kui 90°—63°30′) vastav tangensjoon 4,99 sm. Kui kõikide rumbide suunad ühise sentri ja ruudu külgedel tehtud punktidega tähistatud, asutakse polügoonkäigu kandmisele. Paberil määratakse alguspunkti, s. o. punkt I asukoht. Nüüd juhitakse kolmnurga külg läbi punkt Z ja ruudu küljel asuva punkti märgiga I ⟶ II, liidetakse kolmnurga teise küljele joonlaud ja joonlauda pahema käega vastu paberit litsudes nihutatakse joonlaua kaudu kolmnurk nõnda, et serv, mis oli enne juhitud läbi ruudu keskpunkti, läheks nüüd läbi plaanil võetud alguspunkti. Tõmmatakse joon vastavalt suunale punkt Z ⟶ punkt (I ⟶ II), kantakse joone pikkus ja saadakse seega punkt II asukoht. Nüüd juhitakse kolmnurk läbi punkt Z ja ruudu küljel asuva teise joone rumbi määrava punkti, mis tähistatud

märgiga II ⟶ III. Kolmnurga ja joonlaua abil tõmmatakse sellele joonele paralleelne joon läbi punkt II, kantakse teise joone pikkus, millega saadakse punkt III asukoht jne.



278. joon.

Töö on mehhaniseeritud ning sünnib kiiremalt ja vähema eksitusega kui malli abil määratavate tööde juures. Soovi korral võib ruudu külgedeks võtta 40 sm ehk rohkemgi, mille tõttu töö täpsus tõuseb. Millimeeterpaberi puudusel võib ka igasugune teine paber olla, kuid siis võtab töö teatud vaeva täpsete ruutude ehitamisega ja tangensjoonte sirkli abil mõõtmisega.

278. joonisel on tangensjoonte võtte abil peale kantud järgmine polügoon:

	rumbid	joonte pikkus m
I ⟶ II	SO: 69°35′	197,09
II ⟶ III	SO: 83°51′	69,49
III ⟶ IV	SO: 29°06′	308,63
IV ⟶ V	SW: 86°21′	164,85
V ⟶ VI	NW: 82°02′	196,78
VI ⟶ VII	NW: 17°41′	287,86
VII ⟶ I	NO: 37°51′	69,54

Plaanidest koopiate valmistamine.

I. Koopiate valmistamisel võib plaani mõõtu kas endiseks jätta või vähendada, harva suurendada. Kui mõõt jääb endiseks, siis on kõige otstarbekohasem koopiat valmistada vahariidele (kalkale). Originaal asetatakse siledale lauale ja tema peale kinnitatakse naelnööpidega vahariie. Seejuures võib jooni tõmmata otsekohe tušiga. Puudusteks on siin:

1) paha on koopiat vahariidel värvida, sest et ta kortsub eriti suurte alade värviga katmisel, 2) koopia kontuurid ei ole küllalt selged, olgugi et vahariide alla valge paber asetatakse. Head küljed: töötamine võrdlemisi kiire.

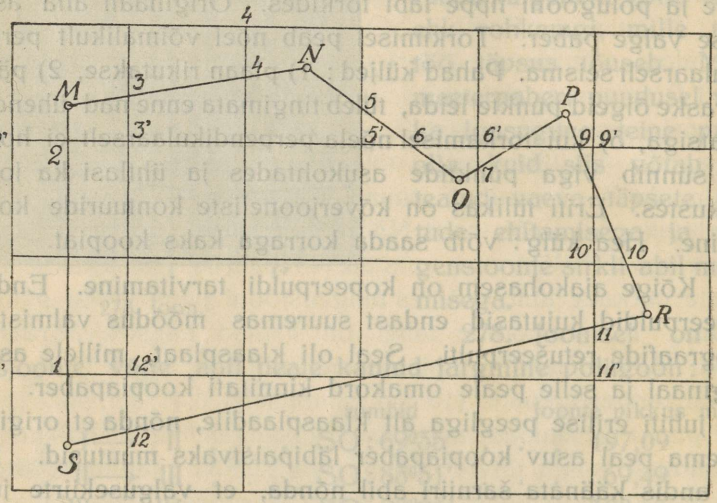
Koopia valmistamisel ükskõik mis meetodi järele peab esialgu kopeerima polügooni piiri ja siis alles sisemised kontuurid.

Koopia valmistamine võib toimuda peene nõelaga kontuure ja polügooni tippe läbi torkides. Originaali alla asetatakse valge paber. Torkimisel peab nõel võimalikult perpendikulaarselt seisma. Pahad küljed: 1) plaan rikutakse, 2) pärast on raske õigeid punkte leida, tuleb tingimata enne nad ühendada pliiatsiga, 3) kui torkamisel nõela perpendikulaarselt ei hoitud, siis sünnib viga punktide asukohtades ja ühtlasi ka joonte pikkustes. Eriti tülikas on kõverjooneliste kontuuride kopeerimine. Hea külg: võib saada korraga kaks koopiat.

Kõige ajakohasem on kopeerpuldi tarvitamine. Endised kopeerpuldid kujutasid endast suuremas mõõdus valmistatud fotograafide retušeerpulti. Seal oli klaasplaat, millele asetati originaal ja selle peale omakord kinnitati koopiapaber. Valgus juhiti erilise peegliga alt klaasplaadile, nõnda et originaal ja tema peal asuv koopiapaber läbipaistvaks muutusid. Peegel andis käänata šarniiri abil nõnda, et valgusekiirte juhtimine klaasplaadile toimus võrdlemisi kergesti. Praegu, kus elektrivalgus tarvitusel, võib kopeerpulti hulga lihtsamalt valmistada. Selleks läheb tarvis kasti või raami, millel pealmine plaat klaasist. Kasti, klaasplaadi alla, asetatakse võimalikult 50—100-küünlaline elektrilamp. Lamp peab andma kastis edasi-tagasi seada. Plaadile asetatakse originaal ja koopiapaber. Joonestada võib otsekohe tušiga. Puuduseks on, et vool mitte igal pool kättesaadav ei ole ja hea, tugeva klaasi ostmine läheb võrdlemisi kalliks.

On originaal õhukesel paberil või vahariidel, siis võib kopeerimiseks kasutada ka kopeerpaberit, kuid see meetod rikub originaali ja võtab kaks korda enam aega kui puldiga või vahariidele kopeerimine.

II. Kui koopiat teises mõõdus valmistada, siis võib seda teha plaani joonte muutmisega antud proportsioonis või plaani pinna muutmisega antud proportsioonis. Harilikult on tarvitusel esimene juhtum. Viimasel juhtumil tuleb iga kord arvutada, kui palju peaks pinna muutmisel jooni muudetama. Kui pind tuleks neli korda vähendada, siis tuleks jooned kaks korda vähendada. Kui pind tuleks 10 korda vähendada, siis tulevad kõik jooned $\sqrt{10} = 3{,}16$ korda vähendada.



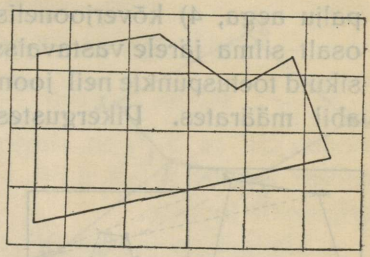
279. joon.

Üks lihtsam abinõu plaanist vähendatud koopia tegemiseks on originaali ruutudeks jagamine ja koopiapaberile vastavalt vähemate ruutude joonestamine (279. ja 279. a joon.) Soovitakse originaali pikkusi kaks korda vähendada, siis peavad koopia ruutude küljed kaks korda vähemad olema.

Ühtlasi ehitatakse proportsionaalne mõõt. Selleks joonistame kolmnurga ABC, mille kaks külge AC ja AB võrdsed kolmanda külje BC pikkus oleks $^1/_2$ eelmistest külgedest. (280. joon.). Tõmbame sellele kolmandale küljele umbes iga mm järele parralleeljooned, milledest mõned jämedamad. Kui me soovime mõnda pikkust kaks korda vähendada, näiteks

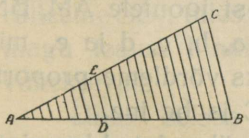
originaali joont NO, siis võtame sirkliga selle pikkuse ja kanname punkt A-st külg AB-d mööda edasi, kusjuures teine sirkliots satub siin punkt D-sse; jättes selle sirkliotsa paigale, vabastame ühe otsa punkt A-st, viies teda üle punkt E-sse, mille kaugust eelmise paralleeljoone m otsast hinnatakse silma järele võrdseks kaugusega D. Paralleeljoonte tõttu on

$$\frac{ED}{AD} = \frac{CB}{AB} = \frac{1}{2}.$$

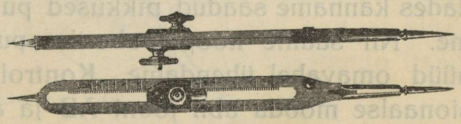


279. a joon.

Nüüd kanname proportsionaalse mõõdu järele joone pikkused 1′1, 2′2, 3′3, 4′4 j. n. e. koopia vastavate ruutude külgedele. Läbi saadud punktide 1 ja 2 joont tõmmates, pikendusega mõlemale poole, samuti läbi punktide 3 ja 4, saame nende kahe joone läbilõikes punkt m seisukoha. Joonte 3 ja 4 ja 5—6 läbilõikes punkt N j. n. e. Pärast kontrollitakse joonte pikkusi MN, NO, OP j. n. e., võttes originaalilt pikkusi proportsionaalse mõõdu järele ja võrreldes koopia joontega. On koopia jooned kooskõlas originaali joontega, siis kaetakse nad tušiga, kuna pliiatsiga tõmmatud ruudud ja ülearused joontepikendused ära kustutatakse. On polügooni MNOPRS sees



280. joon.



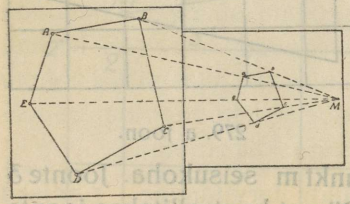
281. joon.

veel vähemaid kontuure olemas, siis toimub nende ülestähendamine täpselt samuti.

Proportsionaalse mõõdu asemel võib tarvitada ka proportsionaalset sirklit (281. joon.). Selle sirkli kaks haru on šarniiri abil ühendatud, mis edasi-tagasi annab liikuda. Harude serval olevate numbrite järele võib seada šarniiri sedaviisi, et sirkli ühtede otste vahe 2, $2^1/_2$, 3 j.n.e. korda vähem

on teiste otste vahest. Laiema haruga joone pikkust originaalilt võttes kantakse see teiste otstega koopiale.

Ruutude abil koopia joonestamise puudused: 1) originaal määrdub ja ruutude mahakustutamisel jäävad mõned kohad tumedaks, 2) värvitud plaanile ei ole üldse soovitav ruute tõmmata, 3) töö on kaunis tüütav ning ruutude tõmbamine võtab palju aega, 4) kõverjoonelisi kontuure tuleb tahes või tahtmata osalt silma järele vastavaisse ruutudesse joonestada, ainult üksikuid toetuspunkte neil joontel proportsionaalse sirkli (mõõdu) abil määrates. Pikergustest ja lihtsamatest kontuuridest koopiate valmistamisel võib kontuuri kolmnurkadeks jagada ja koopialehele järgemööda kolmnurki külgede järele joonestada. Sisemised kontuurid joonestatakse üksikute toetuspunktide abil silma järele.



282. joon.

Õige lihtsatest kontuuridest võib vähendatud koopiat järgmiselt saada: On tarvis vähendada originaali ABCDE 3 korda. Asetame originaali ja koopiapaberi kõrvuti (282. joon.). Valime viimase serval mõne punkti M. Ühendame originaali punktid M-ga. Pikkusi AM, BM, CM jne. kordamööda võttes ja proportsionaalsel mõõdul 3 korda vähendades kanname saadud pikkused punkt M-st joontele AM, BM jne. Nii saame koopiapaberile punktid a, b, c, d ja e, mis nüüd omavahel ühendame. Kontrollimiseks võrdleme proportsionaalse mõõdu abil jooni AB ja ab, BC ja bc jne.

Kõige otstarbekohasem on plaanidest vähendatud koopiate valmistamisel p a n t o g r a a f i tarvitada. Pantograaf on paralleelogrammisarnane raam, mille mõned otsad on pikendatud. Säärane raam asub kas ratastel või ripub massiivse pooluse küljes. Vanemad pantograafid olid ratastel; uuemad on rippuvad.

Vaatame esiti ratastel asuva pantograafi ehitust ja tema teooriat. Vask- (harva puust) joonlauad AB, BC, CD ja AD sünnitavad täpse paralleelogrammi, mis punktides A, B, C ja D šarniiridega ühendatud (283. joon.). Joonlauakeste AB ja AD

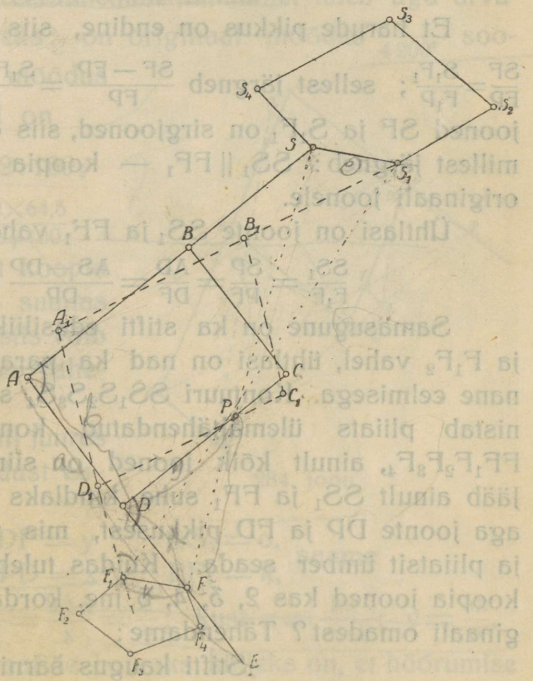
küljed on väljaspool šarniiri pikendatud. Haru AB pikendusel asub stift S, mille seisukoht muutumata, ja haru AD pikendusel pliiats F, mille kaugus šarniirist D on muudetav. Haru DC küljes on poolus P, mis joonlaud DC-d mööda võib liikuda. Poolus, stift ja pliiats peavad alati täpselt ühel sirgjoonel asuma.

Pantograafil on oma ehituse järele:
AB || CD; BC || AD;
AB=DC; AD=BC.

Kui S, P ja F asuvad ühel joonel, siis on

$$\frac{AS}{DP} = \frac{AF}{DF} = \frac{FS}{FP}.$$

Kui stift S asus uude seisu S_1 joont SS_1 mööda liikudes, siis pöördus terve aparaat ümber pooluse P ja kõik teised punktid, peale P, võtsid uue seisu. Pliiats F tegi seejuures joone FF_1. On tarvis näidata, et see joon on paralleelne SS_1, olles temaga teatud kindlas vahekorras.



285. joon.

Uues seisus $S_1B_1A_1C_1PD_1F_1$ on parallelogrammi külgede pikkus endiseks jäänud. Muutunud on ainult õhujoon S_1PF_1. Seepärast võime kirjutada: $\frac{S_1A_1}{D_1P} = \frac{A_1F_1}{D_1F_1}$ . . . (I) teadmada on aga esialgu vahekord $\frac{F_1S_1}{F_1P}$. Silmas pidades, et AB || DC, peab $\measuredangle SAF = \measuredangle CDF$. On see aga nii, siis leiame, et kolmnurkades $F_1A_1S_1$ ja F_1D_1P on kahed küljed (I) omavahel proportsionaalsed ja nurgad nende külgede vahel võrdsed, järelikult on kolmnurgad sarnased. Sellest järgneb, et $\measuredangle A_1F_1S_1 =$

$= \sphericalangle D_1F_1P$ ja et P asub tingimata sirgjoonel F_1S_1. Tähendab, kui töö algul poolus, stift ja pliiats asusid ühel joonel, siis püsivad nad seal ka terve töö kestusel, hoolimata sellest, missuguse seisu see sirge õhujoon ka ei võtaks. Ühtlasi järgneb kolmnurkade $A_1S_1F_1$ ja D_1PF_1 sarnasusest:

$$\frac{S_1A_1}{D_1P} = \frac{A_1F_1}{D_1F_1} = \frac{F_1S_1}{F_1P} \quad \ldots . \text{(II)}.$$

Et harude pikkus on endine, siis on $\frac{AS}{DP} = \frac{A_1S_1}{D_1P}$; samuti $\frac{SF}{FP} = \frac{S_1F_1}{F_1P}$; sellest järgneb $\frac{SF - FP}{FP} = \frac{S_1F_1 - F_1P}{F_1P}$; $\frac{SP}{FP} = \frac{S_1P}{F_1P}$; et jooned SF ja S_1F_1 on sirgjooned, siis on $\triangle SPS_1 \sim \triangle FPF_1$, millest järgneb: $SS_1 \parallel FF_1$ — koopia joon sai paralleelseks originaali joonele.

Ühtlasi on joonte SS_1 ja FF_1 vahekord kindel:

$$\frac{SS_1}{F_1F} = \frac{SP}{PF} = \frac{AD}{DF} = \frac{AS - DP}{DP} \quad \ldots \text{(III)}.$$

Samasugune on ka stifti edasiliikumisel vahekord S_1S_2 ja F_1F_2 vahel, ühtlasi on nad ka paralleelsed. Tõendus sarnane eelmisega. Kontuuri $SS_1S_2S_3S_4$ stiftiga ümber käies, joonistab pliiats ülemaltähendatud kontuuriga sarnase kuju $FF_1F_2F_3F_4$, ainult kõik jooned on siin vastupidises suunas. Jääb ainult SS_1 ja FF_1 suhe kindlaks määrata. See oleneb aga joonte DP ja FD pikkusest, mis muutuvad, kui poolust ja pliiatsit ümber seada. Kuidas tuleb aga poolust seada, et koopia jooned kas 2, 3, 4, 5 jne. korda vähemad oleksid originaali omadest? Tähendame:

Stifti kaugus šarniirist A : SA = a
kaugus šarniiride A ja D vahel : AD = b
koopia joone pikkus : FF_1 = k
originaali joone pikkus : SS_1 = o
otsitav pooluse kaugus šarniirist D : DP = y
„ pliiatsi „ „ D : DF = x

Saame valem III-st: $\frac{o}{k} = \frac{b}{x} = \frac{a-y}{y}$, kust

$$x = \frac{kb}{o} \text{ ja } \frac{a-y}{y} = \frac{o}{k}, \text{ ehk } \frac{a}{y} = \frac{o+k}{k}; \quad y = \frac{ka}{o+k}.$$

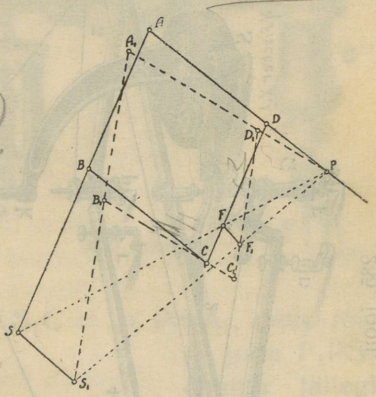
Näide: Me soovime pantograafi abil originaali vähendada joonte mõõtudes kolm korda, siis on o = 3; k = 1 ehk

o : k = 3 : 1 ; mõõdame stangensirkli abil jooned AS ja AD, saame AS = a = 64,5 sm ja AD = b = 34,5 sm; siis on $x = \frac{1 \times 34{,}5}{3} = 11{,}5$ sm ja $y = \frac{1 \times 64{,}5}{1+3} = 16{,}12$ sm, tähendab, pooluse keskpunkt tuleb šarniir D-st asetada 16,12 sm kaugusele ja pliiatsi keskpunkt 11,5 sm kaugusele. Lihtsamate suhete jaoks on joonlaudadel DC ja DE kriipsud vastavail kohtadel ja arvudega tähistatud. Keerulisemail juhtumitel tuleb aga arvutamisi ette võtta. Näiteks: on originaal mõõdus $\frac{1}{4\,200}$, soovitakse teha koopia mõõdus $\frac{1}{10\,000}$. Säärasel korral on

$$k : o = \frac{1}{10\,000} : \frac{1}{4\,200} = 42 : 100;$$

$$x = \frac{42 \times 34{,}5}{64{,}5}; \quad y = \frac{42 \times 64{,}5}{42+100}.$$

Kui soovitakse, et koopia jooned tuleksid samas suunas nagu originaali omad, siis võib pooluse ja pliiatsi ümber vahetada (284. joon.).



284. joon.

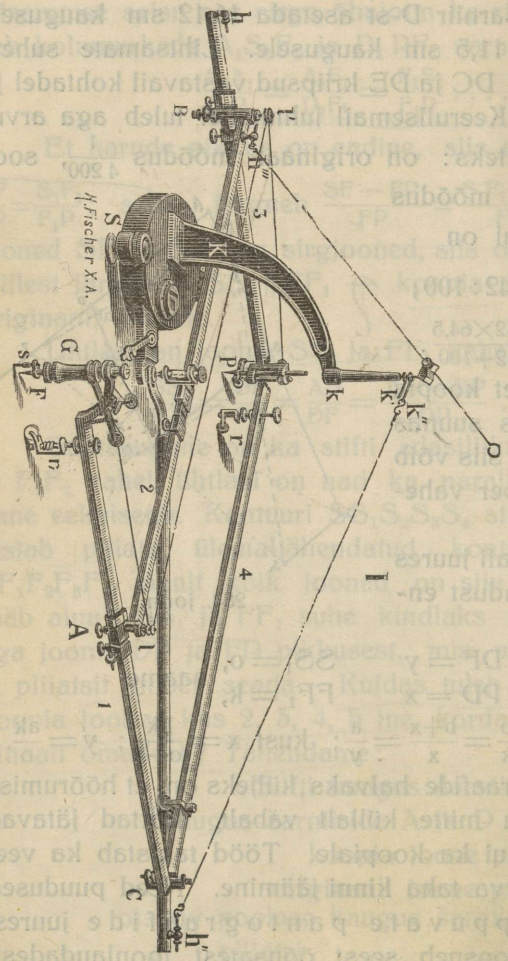
Säärase pantograafi juures jääb esimene osa tõendust endiseks.

AS = a DF = y SS_1 = o,
AD = b PD = x FF_1 = k, saame

$$\frac{SS_1}{FF_1} = \frac{PS}{PF} = \frac{AP}{DP} = \frac{AS}{DF}; \quad \frac{o}{k} = \frac{b+x}{x} = \frac{a}{y}; \text{ kust } x = \frac{bk}{o-k}; \quad y = \frac{ak}{o}.$$

Ratastega pantograafide halvaks küljeks on, et hõõrumise tõttu liikumine ei toimu mitte küllalt vabalt. Rattad jätavad jäljed nii originaalile kui ka koopiale. Tööd takistab ka veel sage rataste paberi serva taha kinni jäämine. Need puudused on aga kõrvaldatud r i p p u v a t e p a n t o g r a a f i d e juures. Vaskparallelogramm koosneb seest õõnsatest joonlaudadest, mis varustatud millimeeterjaotusega. Terve süsteem ripub traatide k″h″ ja k″h‴ abil poolus P massiivplaadi S-ga ühes oleva vinna K küljes (285. joon.). Üks traadi ots on kinnitatud šarniir B juures, mille kaugus poolusest on muutumata, kuna teine ots diagonaalselt vastas olevast parallelogrammi ot-

sast läbi ulatuvale abijoonlauale h″ kinnitatud, mille üks ots ulatub pooluseni. Joonlaud annab veereva rattakese abil haru 4 mööda liikuda. Joonlaua ülesanne on aparaati traat k″h″ abil lennus hoida, kuna traati vahenditult võimatu on šarniir C külge kinnitada, sest viimase kaugus poolusest muutub. Pliiats asub šarniir P kohal. Stift aga joonlaud 1 (AC) otsas, olles sirgjoonel pooluse ja pliiatsiga. Pliiatsi ja stifti kohal on väiksed toetusrattakesed, kuid aparaadi raskus nende peal ei lasu ja nemad mingisuguseid jälgi paberile ei jäta. Pliiats ja stift on omavahel niidiga ühendatud nõnda, et stifti juures pealmist rõngast (ð) alla litsudes pliiats vastu paberit puutub (286. joon.); lahti lastes ketas ð-e, tõuseb aga pliiatsi ots üles. See on selleks, et stifti ühelt kontuurilt teisele viies, s. o. tühja käigu juures pliiats asjata paberit ei määriks.



285. joon.

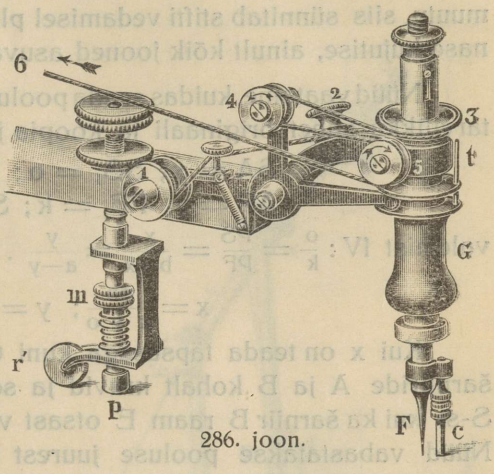
Joonlaud BA annab edasi-tagasi lükata joonelaud DC-le lähenedes. Ka poolus P asukoht joonlaud AB-l on muudetav (287. joon.).

Aparaadi kohta käib nõue:

$FC \parallel AB$; $EF \parallel SC$; $FC = BA$; $BF = AC$.

Punktid F, P ja S peavad alati asuma ühel joonel. Ühtlasi

$$\frac{PA}{FC} = \frac{SA}{SC} = \frac{SP}{SF} \ldots \text{(I)}.$$

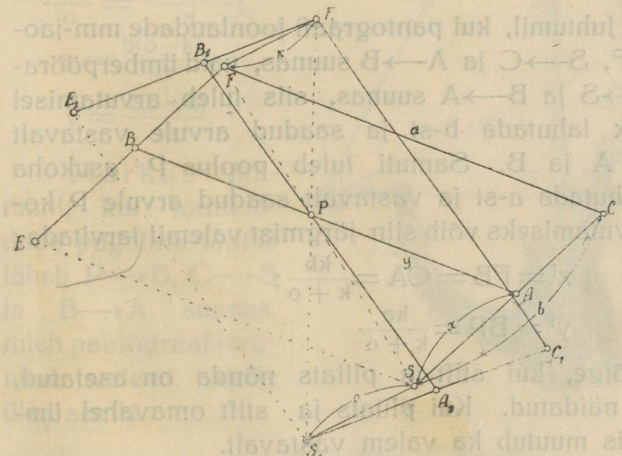


286. joon.

Stifti edasiliikumisega punkt S_1 muutub aparaadi seis ja ka kõigi punktide omad, peale P. Et joonte pikkused, välja arvatud SF, endiseks on jäänud, siis on

$$\frac{PA}{FC} = \frac{PA_1}{F_1C_1} = \frac{S_1A_1}{S_1C_1} \ldots \text{(II)}.$$

Nurgad punktides A_1 ja C_1 kui sisemised ühekülgsed on omavahel võrdsed, seega on $\triangle S_1A_1P \sim \triangle S_1C_1F_1$ ja $\measuredangle F_1S_1C = \measuredangle PS_1A_1$, mille tõttu joon F_1PS_1 osutub jällegi sirgjooneks.



287. joon.

Ühtlasi on kolmnurkade sarnasuse tõttu

$$\frac{PA}{FC} = \frac{PA_1}{F_1C_1} = \frac{S_1A_1}{S_1C_1} = \frac{S_1P}{S_1F_1},$$

kust

$$\frac{SP}{SF} = \frac{S_1P}{S_1F_1} \ldots \text{(III)}.$$

$$\frac{SP}{SF-SP} = \frac{S_1P}{S_1P_1-S_1P};\ \frac{SP}{FP} = \frac{S_1P}{F_1P};$$

ühtlasi on $\measuredangle FPF_1 = \measuredangle SPS_1$ ja selle tõttu $\triangle FPF_1 \sim \triangle SPS_1$; $FF_1 \parallel SS_1$; $\frac{SS_1}{FF_1} = \frac{PS}{PF} \ldots$ (IV).

Nagu näeme, on koopia ja originaali joonte vahel kindel vahekord ja originaali joon on paralleelne koopia joonele. Et vahekord ja paralleelsus ka teiste polügooni joonte juures ei muutu, siis sünnitab stifti vedamisel pliiatsi ots originaaliga sarnase kujutise, ainult kõik jooned asuvad ümberpööratud suunas.

Nüüd vaatame, kuidas seada poolust ja joonlaud AB, et saada tarvilikku suhet originaali ja koopia joonte vahel. Tähendame:

$$SA = x;\ SS_1 = o;\ FC = a;$$
$$AP = y;\ FF_1 = k;\ SC = b;$$

valemist IV: $\frac{o}{k} = \frac{PS}{PF} = \frac{x}{b-x} = \frac{y}{a-y}$ . . . . (V).

$$x = \frac{ob}{k+o};\quad y = \frac{oa}{k+o}.$$

Kui x on teada täpsusega kuni 0,1 mm, siis vabastatakse šarniiride A ja B kohalt kruvid ja seatakse nii šarniir A stift S-st kui ka šarniir B raam E otsast vastavale x mm kaugusele. Nüüd vabastatakse pooluse juurest kruvi ja kogu parallelogrammi edasi-tagasi lükates juhime pooluse punkti, mis vastab kaugusele AP = y.

Märkus: Juhtumil, kui pantograafi joonlaudade mm-jaotus ei lähe E⟶F, S⟶C ja A⟶B suunas, vaid ümberpööratult F⟶E, C⟶S ja B⟶A suunas, siis tuleb arvutamisel saadud suurus x lahutada b-st ja saadud arvule vastavalt seada šarniirid A ja B. Samuti tuleb poolus P asukoha määramisel y lahutada a-st ja vastavalt saadud arvule P kohale asetada. Arvutamiseks võib siin järgmist valemit tarvitada:

$$x^1 = FB = CA = \frac{kb}{k+o};$$
$$y^1 = BP = \frac{ka}{k+o}.$$

Valem on õige, kui stift ja pliiats nõnda on asetatud, nagu 287. joon. näidatud. Kui pliiats ja stift omavahel ümber vahetada, siis muutub ka valem vastavalt.

Rippuvat pantograafi võib ka nõnda üles seada, et koopia jooned ühes suunas oleksid originaali joontega. Säärasel korral abijoonlauda tarvis ei ole (288. joon.).

Poolus mahutatakse šarniir D kohale ja traadid kinni-

tatakse — üks ots šarniiri C ja teine diagonaalselt vastas oleva raami h otsa külge (pooluse kaugus nendest punktidest on nüüd muutumata).

Aparaadi ülesseadmiseks on siin vahekord natuke teine (289. joon.): $SS_1 = o$; $FF_1 = k$; $PC = BA = a$; $SC = EP = b$; $SA = x$; $AF = y$;

$$\frac{SS_1}{FF_1} = \frac{SP}{PF} = \frac{SC}{SC-SA} = \frac{PC}{PC-AF};$$

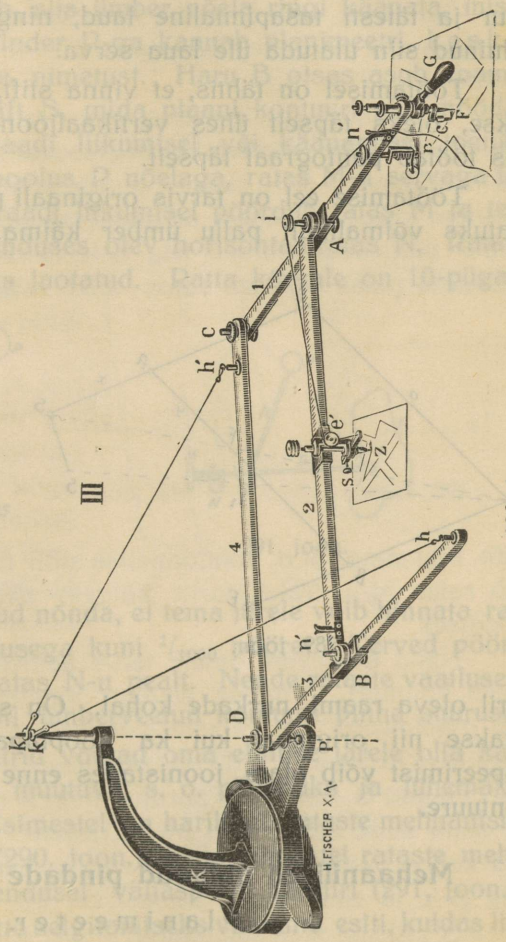
$$\frac{o}{k} = \frac{SP}{PF} = \frac{b}{b-x} = \frac{a}{a-y};$$

kust $\frac{o-k}{o} = \frac{b-b+x}{b}$;

$$\frac{o-k}{o} = \frac{a-a+y}{a};$$

$$x = \frac{b(o-k)}{o};$$

$$y = \frac{a(o-k)}{o}.$$



288. joon.

Märkus: Juhtumil, kui joonlaudade pügalate jaotus läheb P⟶B, C⟶S ja B⟶A suunas, tuleb pantograaf järgmise valemi järele üles seada:

$$x^I = PB = CA = b\frac{k}{o};$$

$$y^I = BF = a\frac{k}{o}.$$

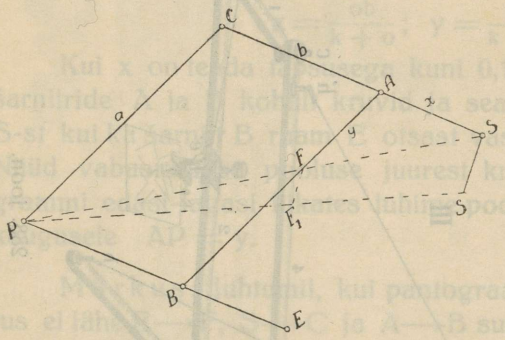
Rippuvate pantograafide heaks küljeks on nende abil saadav võrdlemisi suur täpsus. Ka võivad siin hädakorral ori-

ginaal ja koopia iselaudadel asuda, kuna poolus vinnaga kolmandal võib seista.

Ratastega pantograafi juures oli aga tarvilik võrdlemisi suur ja täiesti tasapinnaline laud, ning pantograafi osad ei tohtinud siin ulatuda üle laua serva.

Töötamisel on tähtis, et vinna stift, kuhu traadid kinnitatakse, oleks täpselt ühes vertikaaljoones poolusega. Ainult siis töötab pantograaf täpselt.

Töötamise eel on tarvis originaali paber nii seada, et stift ulatuks võimalikult palju ümber käima. Keskmiste plaanide juures peab ta ulatuma kogu plaani üles võtma, kuna suuremad plaanid tulevad osade viisi kopeerida. Nüüd seatakse stift järgemööda plaani nurkadesse (või plaani serval oleva raami nurkadesse) ja asetatakse koopia pliiatsi alla nõnda, et see oleks vastavate koopiapaberil oleva raami nurkade kohal. On see valmis, siis kinnitatakse nii originaal kui ka koopiapaberid laua külge, ja kopeerimist võib alata, joonistades enne välimisi, siis sisemisi kontuure.



289. joon.

Mehaanilised abinõud pindade arvutamiseks.

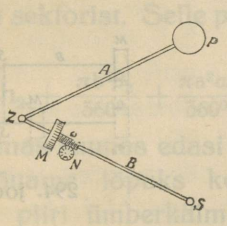
Planimeeter.

Praegusel ajal toimetatakse pindade arvutamist peamiselt mehaaniliste abinõude, n. n. planimeetrite abil. Polügooni sisemised kontuurid mõõdetakse planimeetriga, kuna polügooni üldpind arvutatakse koordinaatide abil. Kõige rohkem on seni tarvitusel olnud Amsler'i ja Coradi süsteemi planimeetrid.

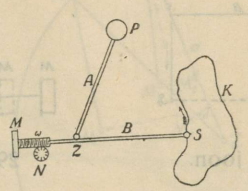
Amsleri planimeeter (290. joon.) koosneb kahest harust

Leiutet Jakob Amsleri poolt 1854.

A ja B, mis omavahel šarniir Z-ga ühendatud. Haru A otsas on terav nõel ja selle kohale üles seatud enam-vähem massiivne silinder. Selle silindri raskus vajutab nõela õrnalt paberisse, ja terve aparaat annab siis ümber nõela ringi käänata, mispärast ka nõel ühes silinder P-ga kannab planimeetri *kesk-punkti* ehk *pooluse* nimetust. Haru B otsas asub enam-vähem tõntsiotsaline stift S, mida plaani kontuuri piiri mööda edasi lükatakse. Aparaadi liikumisel või käänamisel toetub aparaat vastu paberit poolus P nõelaga, ratas M-u servaga ja stift S-u otsaga. Aparaadi liikumisel pöördub ratas M ja temaga vint w abil ühenduses olev horisontaalratas N. Ratas M-u serv on 100 osaks jaotatud. Ratta kõrvale on 10-püga-



290. joon.



291. joon.

lane noonius üles seatud nõnda, et tema järele võib hinnata ratas M-u pöördeid täpsusega kuni $^1/_{1000}$ pööret. Terved pöörded võib aga lugeda ratas N-u pealt. Nende rataste vaatlused määravad stift S-u abil ümberveetud kontuuri pinna suuruse.

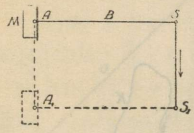
Amsler'i planimeetrid võivad oma ehituse järele olla kas muutumatu haru B või muutuva, s. o. pikemaks ja lühemaks seatava haru B-ga. Esimestel on harilikult rataste mehhanism šarniiri ja stifti vahel (290. joon.), kuna viimastel rataste mehhanism asub haru pikendusel väljaspool šarniiri (291. joon.).

Aparaadi põhimõtte selgitamiseks vaatame esiti, kuidas liigub ratas M planimeetri käänamisel, s. o. stift S-u edasinihutamisel. Ratas M on nõnda üles seatud, et ta on alati haru B teljega perpendikulaarne. Liigub stift perpendikulaarselt haru B teljele, siis pöördub ratas M takistamatult ja ratta serva trajektooria võrdub joon AA_1-ga, ehk temaga võrdse stifti trajektooriaga SS_1 (292. joon.). Kui meil on teada ratta serva

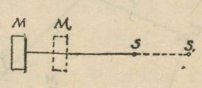
ümbermõõt ehk serva ringjoone pikkus, siis, korrutades seda arvu rataste mehhanismilt saadud pöörete arvuga täpsusega kuni $^1/_{1000}$ pööret, saame joon SS_1 pikkuse.

Kui aga stift S liigub haru B telje suunas, siis ratas M mingisugust pööret ei tee, ainult libiseb seisukoht M-st seisukohta M_1 (293. joon.).

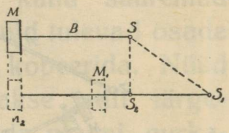
Kui stift S liigub mõnesuguses kaldsuunas SS_1, siis pöördub ratas, kuid võrdlemisi aeglasemalt. Näiteks (294. joon.), stifti liikumisel SS_1 suunas liigub ratas MM_1 suunas; see liikumine koosneb kahest liikumisest: esiteks ratta ja stifti liikumine perpendikulaarselt telg B-le ja teiseks telg B suunas. Esimese puhul pöörleb ratas täiel määral, kuna teise puhul



292. joon.



293. joon.



294. joon.

ääb liikumata, s. o. põikjoonelise stifti trajektooriale SS_1 vastab ratas M-u trajektooria kõigest perpendikulaarjoone SS_2 pikkuses.

Nüüd kujutleme omale terve aparaadi, mille poolus asub keset kontuuri. Võtame esialgu planimeetri muutuva haruga, või planimeetri, kus rataste mehhanism on asetatud väljapoole šarniiri (296. joon.). Stift S-u liikumisel (295. joon.) kontuuri punktist S punkt S_1-sse liigub šarniir punkt R-st punkti R_1-sse ja ratas M asub uude seisukohta M_1. Oletame nüüd, et liikumine sündis kahes osas: enne liikus stift ja ratas perpendikulaarselt telg B-le ja siis saadud seisust S^I_1 M^I_1 sama haru libisemisel seisu S^{II}_1 M^{II}_1 ja sealt käänamisel ümber šarniiri R_1 seisu S_1M_1. Kui trajektooriat SS_1 kujutleda võrdlemisi väiksena, siis ei teki säärase arvutamise juures mingit viga. Kontuur $SRZR_1S_1$ pind koosneb parallelogrammitaolisest nelinurgast $SS^{II}_1R_1R$, sektor $S_1S^{II}_1R_1$-st ja sektor RR_1Z-st. Selle kontuuri pind oleks:

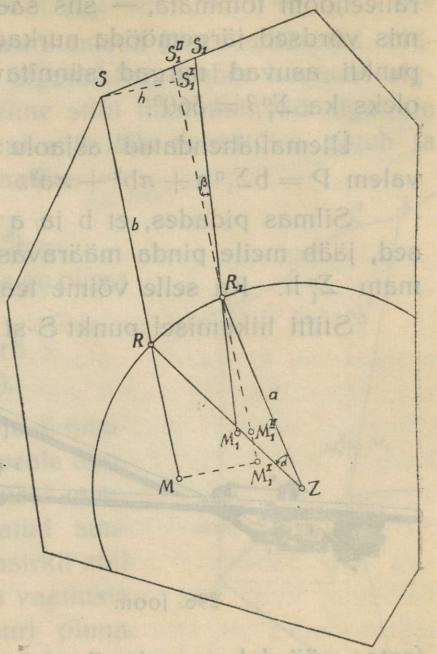
$$P_1 = bh_1 + \frac{\pi b^2 . \beta_1}{360^0} + \frac{\pi a^2 . \alpha_1}{360^0}, \text{ kus}$$

b — planimeetri haru B pikkus SR
h_1 — perpendikulaari pikkus paralleeljoonte SR ja $S^I_1R_1$ vahel ehk parallelogrammi kõrgus,
β_1 — nurk $S^I_1R_1S_1$ suurus kraadides,
α_1 — nurk RZR_1 suuruse kraadides.

Nõndasama stifti edasiliikumisel punkt S_1-st punkt S_2 saame uue kontuuri osa $S_1S_2R_2ZR_1$, mis jällegi koosneb ühest parallelogrammist ja kahest sektorist. Selle pind oleks:

$$P_2 = bh_2 + \frac{\pi b^2\beta_2}{360^0} + \frac{\pi a^2\alpha_2}{360^0}$$

Samas suunas edasi liikudes jõuame lõpuks kogu kontuuri piiri ümberkäimisel stiftiga uuesti algpunkt S-u. Seega annavad kõik üksikud väiksed kontuuriosa pinnad kogusummas mõõdetava kontuuri üldpinna.



295. joon.

$$P = \Sigma_1^n P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots P_n \text{ ehk}$$

$$P_1 = bh_1 + \frac{\pi b^2\beta_1}{360^0} + \frac{\pi a^2\alpha_1}{360^0}$$

$$P_2 = bh_2 + \frac{\pi b^2\beta_2}{360^0} + \frac{\pi a^2\alpha_2}{360^0}$$

$$\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots$$

$$P_n = bh_n + \frac{\pi b^2\beta n}{360^0} + \frac{\pi a^2\alpha n}{360^0}$$

$$P_1+P_2+\ldots P_n = b(h_1+h_2+\ldots h_n) + \frac{\pi b^2(\beta_1+\beta_2+\ldots\beta_n)}{360^0} + \frac{\pi a^2(\alpha_1+\alpha_2+\ldots\alpha_n)}{360^0}$$

$$P = \Sigma_1^n P = b\,\Sigma_1^n h + \frac{\pi b^2}{360^0}\,\Sigma_1^n\beta + \frac{\pi a^2}{360^0}\Sigma_1^n\alpha \ldots\ldots (I).$$

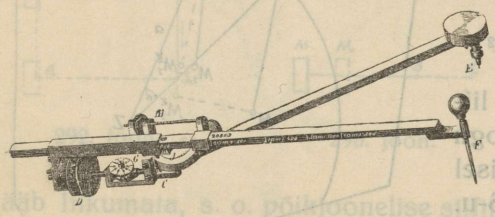
Stifti liikumisel liigub šarniir ringjoont mööda, nurgad α sünnitavad nurki ümber ühe punkti, seega on $\Sigma_1^n\alpha = 360^0$. Ühtlasi on ka nurkade β kogusumma 360^0.

Tõenduseks võime võtta väljaspool kontuuri mõnesuguse punkti ja läbi selle punkti joontele SR, S_1R_1, S_2R_2 j. n. e. paralleeljooni tõmmata, — siis saame ümber selle punkti nurgad, mis võrdsed järgemööda nurkadega β_1, β_2 j. n. e. Ümber ühe punkti asuvad nurgad sünnitavad aga summas 360^0, seega oleks ka $\Sigma_1^n\beta = 360^0$.

Ülemaltähendatud asjaolu tõttu muutub kontuuri pinna valem $P = b\Sigma_1^n h + \pi b^2 + \pi a^2$.

Silmas pidades, et b ja a on täpselt mõõdetavad suurused, jääb meile pinda määravasse valemisse ainult üks tundmatu $\Sigma_1^n h$. Ka selle võime teada saada.

Stifti liikumisel punkt S-st punkt S_1-sse, üle punkt S_1^I ja S_1^{II}, pöördub ratas M esiti täiel määral ilma libisemata seis M-st seis M_1^I-sse, siis libisedes ilma pöördeta seis M_1^I-st seis M_1^{II}, ja sealt stifti liikumisel S_1^I—S_1^{II}, vastab vastupidises suunas ratta liikumine $M_1^{II} \longrightarrow M_1$ (ratas pöördub tagasi, siin toimub ratta liikumine perpendikulaarselt teljele b ja seega on pööre täielik, ilma libisemata). Ratta üldine trajektooria M—M_1^I, ja M_1^{II}-st punkt M_1-sse, oleks t_1, mis rataste mehhanismi vaatluse järele on:



296. joon.

$$t_1 = MM_1^I + M_1^IM_1^{II} + (M_1^{II}M_1);$$

viimane suurus on negatiivne, sest joon $M_1^{II}M_1$ suund asub vastandsuunas joon MM_1^I-le ja ka ratta liikumine toimub siin teises suunas. Trajektooriale MM_1^I vastab parallelogrammi kõrgus h_1. Seega oleks ratta servalt loetav trajektooria stifti liikumisel S—S_1:

$$t_1 = h_1 - M_1^{II}M_1,$$

sest $M_1^IM_1^{II} = 0$. Suurus $M_1M_1^{II}$ on ringjoone osa, mille raadius r (= ratta M serva kaugus šarniir R-st) ja kaare pikkus vastab $\measuredangle \beta_1$.

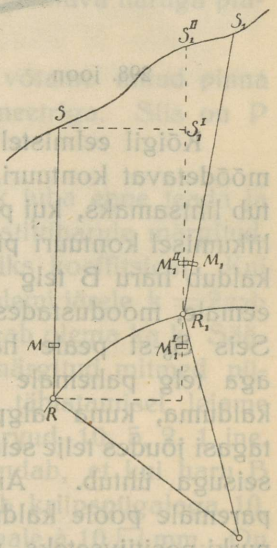
$M_1M_1^{II} = \frac{2\pi r}{360^0}\beta$. Seega oleks $t_1 = h_1 - \frac{2\pi r\beta_1}{360^0}$ ehk: $h_1 = t_1 + \frac{2\pi r}{360^0}\beta_1$;

nõndasama: $h_2 = t_2 + \frac{2\pi r\beta_2}{360^0}$ ja $\Sigma_1^n h = (t_1 + t_2 + \cdots + t_n) + \frac{2\pi r}{360^0}$ $(\beta_1 + \beta_2 + \cdots + \beta_n)$; $\Sigma_1^n h = \Sigma_1^n t + \frac{2\pi r}{360^0}\Sigma_1^n \beta = \Sigma_1^n t + 2\pi r$ . . . (II).

Tähistame $\Sigma_1^n t$ rataste mehhanismi järele määratud üldtrajektooria, stifti liikumisel algpunktist ümber kontuuri algpunktini. Kui vaatlust teha enne stifti liikumist, töö algul, ja see oleks ω_1 ja töö lõpul, kui stift jälle punkt S-u satub ja vaatlus oleks ω_2 ratta M raadius — γ, siis:

$\Sigma_1^n t = (\omega_2 - \omega_1)\, 2\pi\gamma$ ja $\Sigma_1^n h =$
$= (\omega_2 - \omega_1)\, 2\pi\gamma + 2\pi r$,— seega on pinna suurus

$$P = 2\pi\gamma b\,(\omega_2 - \omega_1) + 2\pi rb + \\ + \pi b^2 + \pi a^2 \ldots . \text{ (III)}.$$



297. joon.

Selles valemis on a, γ ja r muutumatud suurused. Ka b on peale aparaadi ülesseadmist, töö kestusel muutumatu suurus. Need nimetatud suurused võib nooniusega stangensirkli abil määrata, mille järele valemis vaatluste ω_2 ja ω_1 vahe järele kontuuri pinna suurus kindlaks määratakse. Kuid hulga lihtsam on talitada järgmiselt:

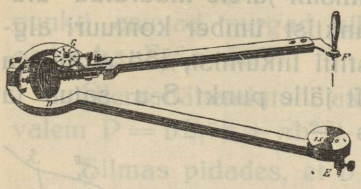
$k = 2\pi\gamma b$ (koeffitsient)
$c = 2\pi rb + \pi a^2 + \pi b^2$ (muutumatu suurus).

Seega on $P = k\,(\omega_2 - \omega_1) + c = kn + c$ . . . . (IV),
kus n on vaatluste vahe rataste mehhanismi järele.

k ja c määramiseks võtame kaks mittevõrdset ruutu või sõõri, millede pinnad geomeetriliselt määratud. Seame planimeetri pooluse keset kontuuri pinda ja teeme vaatlused. Saame kaks valemit, kus P ja $(\omega_2 - \omega_1)$ teada ja seega mõlemad otsitavad suurused k ja c võib määrata.

Juhtumil, kui planimeeter on muutumatu haruga, s. o. rataste mehhanism asub stifti ja šarniiri vahel, siis, nagu 297. joonisest näha, jääb püsima endine tõendus, ainult ratta trajektoorial on väike vahe. Nimelt pöördub ratas M täiel

määral kuni seis M_1^I-ni, siit libiseb ilma pöördeta seisu M_1^{II}-ni ja sealt jälle täie pöördega seis M_1-ni, liikudes samas suunas kui $M \to M_1^I$. Selle tõttu on siin $t = MM_1^I + M_1^{II}M_1 = h + \frac{2\pi r\beta}{360^0}$,



298. joon.

kust $h = t - \frac{2\pi r\beta}{360^0}$.

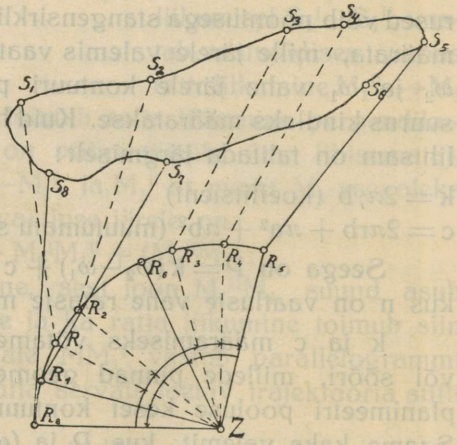
$$P = 2\pi\gamma b\,(\omega_2 - \omega_1) - 2\pi rb + \\ + \pi b^2 + \pi a^2 \ldots . \text{ (V)};$$

ka siin võib arvutada

$$P = k\,(\omega_2 - \omega_1) + c = kn + c,$$

kui k ja c nõndasama kui ennegi kindlaks määratakse.

Kõigil eelmistel juhtumitel asus planimeetri poolus keset mõõdetavat kontuuri. Valem ja ühtlasi pinna mõõtmine muutub lihtsamaks, kui poolus mahutada väljapoole kontuuri. Stifti liikumisel kontuuri piiri mööda, läbi punktide S_1, S_2, S_3 j.n.e., kaldub haru B telg esialgu ikka enam ja enam algsuunast eemale, moodustades paremat kätt asuvaid nurki β (299. joon). Seis S_6-st peale hakkab aga telg pahemale poole kalduma, kuna algpunkti tagasi jõudes telje seis algseisuga ühtub. Arvates paremale poole kaldumise nurki positiivseteks, tuleks pahemale poole kaldumine arvata negatiivseks. Kui telgedele S_nR_n tõmbame paralleeljooni läbi mõnesuguse punkti L, siis selgub, et positiivsete ja negatiivsete nurkade summad on võrdsed, — seega



299. joon.

$$\Sigma_1^n \beta = 0.$$

Seesama on maksev punkt Z-u juures tekkinud nurkade α kohta. Esialgu on nurkade kasvamine juhitud paremale poole (kuni R_5), pärast pahemalepoole (kui R_8), siis $R_8 \to R_1$ jällegi paremale

poole. Viimane seis ühtib esimesega. Nagu joonisest näha, on seejuures ka

$$\Sigma_1^n \alpha = 0.$$

Selletõttu muutub valem I pooluse väljaspool kontuuri asumisel

$$P = b\Sigma_1^n h = b\Sigma_1^n t + b\frac{2\pi r}{360}\Sigma_1^n \beta = b\Sigma_1^n t, \text{ sest } \Sigma_1^n \beta = \Sigma_1^n \alpha = 0;$$

$$P = b\Sigma_1^n t = b(\omega_2 - \omega_1)2\pi\gamma = kn \ldots . \quad (VI).$$

See valem on õige nii muutumatu kui ka muutuva haruga planimeetrite juures.

Koeffitsient k-d võib määrata, kui võtame antud pinna suurusega ruudu ja mõõdame selle planimeetriga. Siis on P ja n teada ja nende järele määratakse k.

Suuremalt osalt on planimeetritel k juba enne teada ja see arv kas planimeetri karbi kaanele või stiftiharule märgitud. Muutumatu haru B puhul on meil ainult üks koeffitsient. Kui aga stifti haru B pikkus b muutub, siis valemi järele $k = 2\pi\gamma b$ selgub, et mida suurem b, seda suurem peab olema ka k. Säärasel juhtumil on planimeetristifti harule märgitud mitmed pügalad. Näiteks meetermõõtude kohaselt tähistamisel leiame haru B peal kriipsud, millede kohal on arvud 10, 5, 2, 1 jne. Keset haru on märk □ mm — see tähendab, et kui haru B seada nõnda, ei planimeetri indeks ühtib kriipspügalaga 10, siis vastab iga nooniusepügal paberi pinnale à 10 □ mm. On aga indeks (kriips raami serval, millest kulgeb haru B) pügalaga 2 liidetud, siis vastab nooniusepügal, see on $^1/_{1\,000}$ ratta M pöördest, 2 □ mm. On plaani mõõt teada näiteks $^1/_{5\,000}$, siis võime ka arvutada mõõdetud kontuuri pinna suurust natuuras. Mõõdu juures $^1/_{5\,000}$, ehk 50 m ühes sm, vastab 1 □ sm paberil $50 \times 50 = 2\,500$ □ m natuuras ehk 0,25 ha. Kui nooniusepügal aga vastab 2 □ mm paberil, siis on temale vastav pinna suurus ha-des (mõõdu juures $^1/_{5\,000}$) . . . $0{,}25 \times$ $\times\, 0{,}02 = 0{,}005$ ha.

Teine näide: indeks ühtib pügalaga 10 mm ja plaani mõõt on $\frac{1}{10\,000}$, — siis vastab üks nooniuse pügal $\frac{100 \cdot 100}{10\,000} \cdot \frac{10}{100} =$ $= 0{,}1$ ha.

Kui koeffitsient k ha-des on määratud, siis, nooniusevaatluse vahesid n saadud arvu k-ga (0,1 või 0,005) korrutades, saame mõõdetavate kontuuride pinnad hektaarides.

Muutumatu haruga planimeetritel on koeffitsiendid otse hektaarides või tiinudes üles tähendatud. Näiteks on karbi sees tabel,

$^1/_{8\,400}$ . . . . k = 0,05 tiinu
$^1/_{4\,200}$ . . . . k = 0,0125 tiinu

Sülla- ja tiinudemõõdu kohaselt muutuva haru juures on pügalad stifti poolt alates:

I pügala kohal on: $\begin{cases} 0{,}02\ D\ (l'' = 100\ s.) \\ 0{,}005\ D\ (l'' = 50\ s.), \end{cases}$

s. o. mõõt 100 s. ühes tollis vastab nooniusepügalale 0,02 tiinu natuuras. Mõõdu juures $1'' = 25$ s. oleks siin k = 0,00125 s.

II pügala kohal on arv 1 □‴, s. o. ühele nooniusepügalale, mõõdu suurusest hoolimata, vastab 1 □ liin $= \frac{1}{100}$ □ tolli.

Mõõdu juures 50 s. tollis vastaks see

$$\frac{50 \times 50}{2\,400} \cdot \frac{1}{100} = \frac{1}{96}$$ tiinule.

III pügala kohal on: $^1/_{20}$ D (l'' = 100 s.).
$^1/_{80}$ D (l'' = 50 s.).

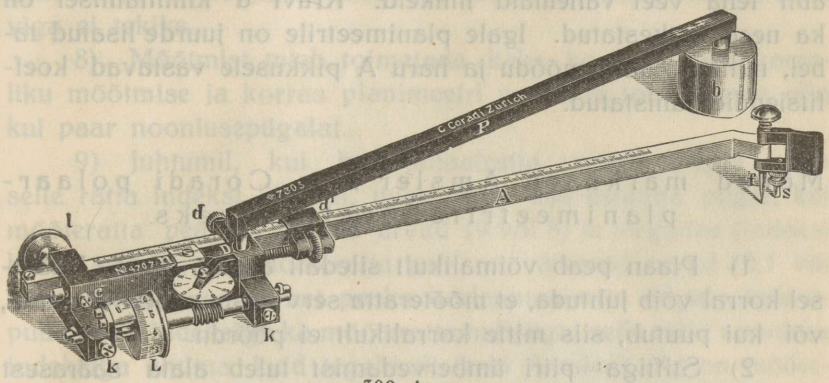
IV pügala kohal on: 0,0001 □ jalg, s. o. ühele nooniusepügalale vastab paberil $^1/_{10\,000}$ □ jalga, igasugu mõõdu juures.

Üheks suuremaks Amsler'i planimeetri puuduseks on see, et kui toetuspunktid, s. o. stift, ratta serv ja poolus enam-vähem ühes suunas asuvad, siis hakkab aparaat harilikult vankuma, mis toob kaasa vigu ratas M-u pöördeis ja eksitusi vaatlustes.

See puudus on kõrvaldatud Coradi planimeetri juures (300. joon.).

Coradi planimeetril on peale ratta L veel ratas l, mille serv puutub ka vastu paberit, seega on siin üks toetuspunkt rohkem. Pooluse haru P otsapost asub rataste mehhanismi raam D sees olevas pesas, täites šarniiri aset. Haru P võib

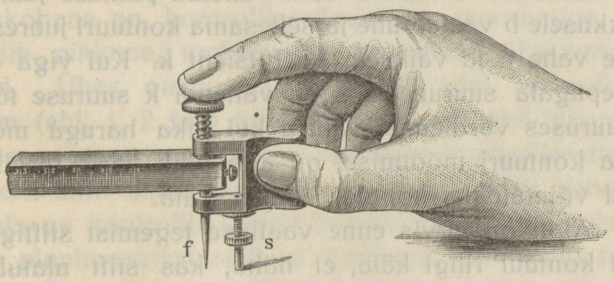
üles tõsta ja muust osast kergesti eraldada. Pooluse raskus b on mahutatud haru P alla (Amsler'i juures peal). Stifti juures toetub vastu paberit sileda, enam ümmariku otsaga, vedruga



300. joon.

varustatud tugi S, kuna stift f siin kõrval asub ja teravа otsaga natuke eemale jääb paberist (300. a joon.). Selle tõttu võib stifti ots siin teravam olla kui Amsler'i planimeetril, ja ümberkäimine kontuuri piiri mööda tuleb täpsem.

Ratas L-u ja horisontaalratta jaotus on siin seesama mis Amsler'i planimeetril. Ratas L-u ühetaolist vaba käiku



300. a joon.

võib vastava kruvi abil reguleerida, selleks tuleb aga enne kruvi k vabastada.

Planimeetristifti haru on siin harilikult millimeeterjaotusega ja raami pealmine serv noonius n-ga varustatud. Haru

A pikkuse muutmisel tuleb vabastada kinnituskruvid d ja d_1, mille järele haru A annab raami sees vabalt edasi-tagasi nihutada. Kruvi d kinnikäänamisel võib mikromeeterkruvi abil teha veel vähemaid nihkeid. Kruvi d kinnitamisel on ka need katkestatud. Igale planimeetrile on juurde lisatud tabel, milles plaani mõõdu ja haru A pikkusele vastavad koeffitsiendid tähistatud.

Mõned märkused Amsler'i ja Coradi polaarplanimeetrite tarvitamiseks.

1) Plaan peab võimalikult siledalt asuma laual. Vastasel korral võib juhtuda, et mõõteratta serv vastu paberit ei puutu, või kui puutub, siis mitte korralikult ei pöördu.

2) Stiftiga piiri ümbervedamist tuleb alata säärasest punktist, kus mõõteratas võimalikult aeglaselt liigub, see on enam libiseb, kui pöördub. Seda selleks, et raske on asuda lõpul täpselt samasse punkti, kust alustati, ja et rataste hõõrumise tõttu need natuke teisiti seisma jäävad kui alguses. Väikse liikumise juures on aga vaatluste vahe ja selle läbi sündinud viga vähem kui ratta kiire liikumise juures.

3) Sellesama põhimõtte järele tuleb väiksed kontuurid mõõta võimalikult muutuva haru vähema pikkuse juures, sest vahe pikkusele b vastab ühe ja sellesama kontuuri juures suurem vaatluste vahe n ja väiksem koeffitsient k. Kui viga on paari nooniusepügala suurune, siis on vähema k suuruse tõttu viga pinna suuruses võrdlemisi vähem kui pika haruga mõõtmisel. Suurema kontuuri mõõtmisel on aga pikk haru tarvilik, sest lühike ei võimaldaks kontuuri ümber käia.

4) Alati on tarvis enne vaatluse tegemist stiftiga pealiskaudselt kontuur ringi käia, et näha, kas stift ulatub igasse nurka. Kui ei ulatu, tuleb poolus ümber seada. Suured kontuurid mõõdetakse osade viisi.

5) Amsler'i planimeetri juures tuleb selle järele vaadata, et stiftiga kontuuri ümberkäimisel aparaat tasakaalu ei kaotaks, s. o. harude A ja B vahel ei sünniks mitte liiga terav või nüri nurk, kus kõik kolm toetuspunkti oleksid ühel joonel.

6) Pikkade sirgete joonte kaudu on soovitav stifti vedada joonlaua serva mööda.

7) Vedama peab aeglaselt, iseäranis alguspunktist väljaminekul ja töö lõpul, et kiire liigutuse juures rataste inertsi tõttu viga ei tekiks.

8) Mõõtmist tuleb toimetada kaks korda. Vahe korraliku mõõtmise ja korras planimeetri juures ei tohi suurem olla kui paar nooniusepügalat.

9) Juhtumil, kui horisontaalratta mõni pügal asub selle ratta indeksi lähedal, tuleb võtta kas eelmine pügal, kui mõõteratta peal on suured arvud (9 või 8) ja järgmine (indeksi kohal seisev), kui mõõteratta peal on väikesed arvud (0,1 või harva 2). Õiguse pärast peaks horisontaalratta pügala kokkupuutumisel indeksiga ka mõõteratta nullpügal selle ratta nooniuse indeksiga ühtima, kuid tegelikult (eriti Amsler'i pl.) on mõõteratta liikumise edasiandumine horisontaalratta väikse hammasratta kaudu suuremate või vähemate hüpetega seotud, mille tõttu siis pügalad horisontaalratta juures selle indeksiga ei ühti.

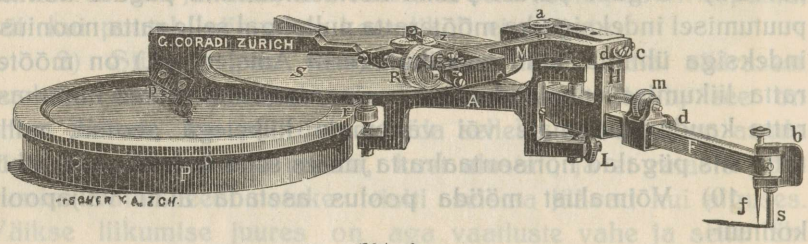
10) Võimalust mööda poolus asetada alati väljapoole kontuuri.

11) Vahetevahel tuleb planimeetrit kontrollida. Selleks joonestatakse paberile ruudud, mõõdetakse planimeetriga ja võrreldakse geomeetriliselt arvutatud ruutude pinnaga. Õige otstarbekohane on kontrolljoonlauakese tarvitamine. See on 8—10 sm pikkune, umbes ühe sm laiune, ühe mm paksune joonlaud. Ühes otsas on tal terav nõel ja sellest 2, 4, 6 . . . sm (ehk 1, 2 ja 3 tolli) kaugusel väiksed augud. Joonlaua teises otsas on kriips. Asetame kontrolljoonlaua auku planimeetri stifti otsa, tähistame joonlaua seisu paberil kriipsuga, mis on kontrolljoonlaua indeksi kriipsu pikendus, teeme vaatluse planimeetriratastelt ja tõmbame, stifti vastu joonlauda litsudes, sellega ühe ringi, kuni joonlaua indeks paberile tõmmatud kriipsuga ühtib, ning teeme vaatluse. Raadius on teada ja ühes sellega ka pind täpselt arvutatav (πR^2). Saadud suurust tuleb võrrelda rataste mehhanismilt loetud suurusega. Kui selgub, et planimeetril tähistatud koeffitsiendid ei vasta saadud arvudele, siis tuleb koostada uus tabel.

12) Juhtumil, kui polügooni üldpind täpselt teada (näiteks koordinaatide järele arvutatud), siis võib polügooni sisemiste kontuuride mõõtmisel A. Savitš'i järele järgmiselt talitada: Polügooni üldpind — P. Üldpolügooni planimeetriga mõõtes saadakse vaatluste vahe N. Sisemiste kontuuride vaatlused üksikult oleksid n_1, n_2, n_3 j. n. e. Sisemiste kontuuride pinnad oleksid lõplikult:

$$p_1 = \frac{P}{N} n_1; \quad p_2 = \frac{P}{N} n_2 \text{ j. n. e., kus}$$

koeffitsient $\frac{P}{N}$ ühe ja sellesama polügooni iga pinna juures on alaline ja teda selle tõttu eraldi iga polügooni kohta võib mää-



301. joon.

rata. Selle meetodi heaks küljeks on, et siin ka paberi kokkutõmbumisest (resp. väljavenimisest) tekkinud vead kõrvaldatakse.

13) Mida suurem on mõõdetav pind, seda väiksem on planimeetri mõõtmisel saadud absoluutne viga.

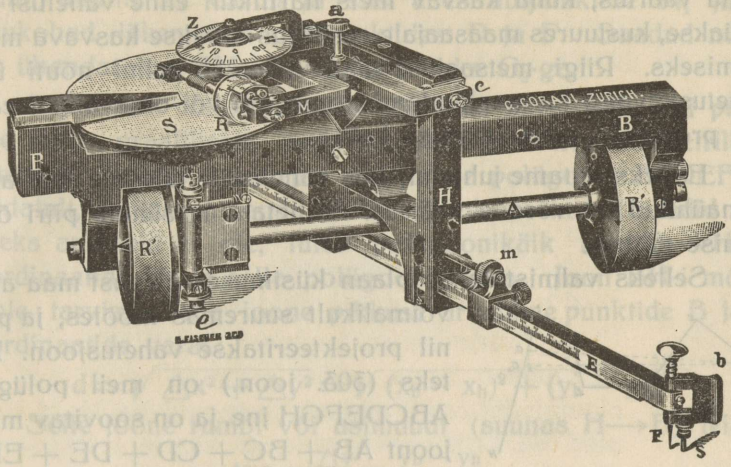
14) Vea suurus on 100 ha suuruse pinna kohta mõõtkava juures $^1/_{1000}$ keskmiselt umbes $^1/_2\%$.

15) Tekkinud viga, mis selgub kontuuri pindade summa võrdlemisel polügooni üldpinnaga, kaotatakse proportsionaalselt kontuuri pinna suuruste järele.

Planimeetriga pindade mõõtmine on õige kohane kõverjooneliste kontuuride juures. Ka muudel juhtumitel toimub mõõtmine kaunis kiiresti. Selle tõttu on planimeetrite tarvitamine igasuguste maamõõdutööde juures saanud möödapääsetamatuks.

Õige täpselt töötavad Coradi (301. joon.) ja Homann'i (302. joon.) ratasplanimeetrid, mis ennenimetatud polaarplani-

meetrist selle poolest lahku lähevad, et mõõteratta R serv liigub mitte paberil, vaid eraldi selleks määratud, aparaadile kinnitatud, suurema sõõri S pinnal. Seega kõrvaldatakse vead, mis tekivad paberi või laua mitte küllalt tasasest pinnast.



302. joon.

Piiride õiendamine ja maade vahetus.

Kaunis tihti tuleb metsaametnikkudel teotseda piiride õiendamise küsimusega, nimelt, kui riigimetsa piiril asuvad taluomanikud maade vahetuse sooviavaldustega esinevad. Juba Vene valitsuse aegu oli nendele soovidele vastutulekut märgata, ning harilikult tehti kohalikule metsaülemale ülesandeks esineda vahetuskavaga, mis 3 eksemplaris tuli valmistada. Loodetavasti saab, kui mitte praegu, siis lähemas tulevikus, metsaametnikkudel rohkesti tööd sel alal olema, kus osalt piiride lihtsustamiseks, osalt paremate tingimuste loomiseks teede ja kraavide rajamisel vahetused möödapääsetamatud.

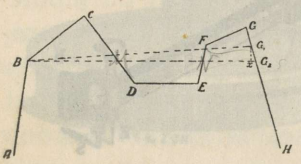
Esimene küsimus vahetuste ja piiride õiendamiste puhul on maade hindamine, mille järele otsustatakse, kas vahetuse juures tuleb ha ha vastu anda, kui maapinna väärtus ühesugune,

või vastasel korral tuleb maapinna suurust arvata pöördvõrdeliselt tema väärtusele.

Maapinna väärtuse kohta mõõduandev on puhas sissetulek ühe pinnaühiku pealt (puhtkasu rublad, kus hindamise andmed olemas). Metsamaa hindamisel tuleb arvata ainult maapinna väärtus, kuna kasvav mets harilikult enne vahetust ära müüakse, kusjuures maasaajale eesõigus antakse kasvava metsa ostmiseks. Riigi metsaaluse maa vahetuse puhul nõuti ühes vahetuskavaga ka maahindamiskomisjoni või omavalitsuseasutise protokolli maa väärtuse kohta.

Esiteks võtame juhtumi, kus vahetusele tulevate maa-alade pinnaühikul on võrdne väärtus. Vahetamine sünnib piiri õiendamise mõttes.

Selleks valmistatakse plaan küsimuses-olevast maa-alast, võimalikult suuremas mõõtes, ja plaanil projekteeritakse vahetusjoon. Näiteks (303. joon.) on meil polügoon ABCDEFGH jne. ja on soovitav murdjoont AB + BC + CD + DE + EF + + FG + GH muuta osalt sirgjooneks, nõnda et punkt B jääks endisele kohale, kuna punkt G joone GH suunas edasi-tagasi võiks nihkuda. Tõmbame läbi punkt B sirgjoone BG_1, mis antud polügoonile tükk MNED-d juurde lõikab ja nõnda, et see silma järele äralõigatud tükkide BCM ja NGG_1 pindade summaga võrdne paistab. Nüüd mõõdame plaanil kas geomeetriliselt või planimeetriga üksikute tükkide suurused, saame näiteks BCM = 382 m², MDEN = 520 m² ja $NFGG_1$ = 80 m², seega MDNE — (BCM + $NFGG_1$) = 520 — (382 + 80) = 58 m². Et juurde lõigatud rohkem 58 m², siis tuleks saadud polügooni ABG_1H küljest uue joonega kolmnurk ära lõigata, mille pind oleks 58 m². Kolmnurga alus BG_1 on plaanilt teada (64 m), kõrgus määratakse järgmiselt: $58 = \frac{64\,h}{2}$; $h = \frac{116}{64} = 1{,}81$ m. Ehitame punkt G_1-st perpendikulaari x joonele BG_1 mille pikkus oleks 1,81 meetrit. Saadud punktist x perpendikulaar xG_2-t tõmmates saame joon xG_2-e, mis paralleelne joon BG_1-le, seega ka kolmnurga BG_1G_2



303. joon.

kõrgus 1,81. Punkt G_2 on otsitav ja tuleks uue piiri rajamisel sirgjoonega (sihiga) ühendada punkt B-ga. Suurust GG_2 plaanilt võttes võime seda natuuras üles tähendada. Lagedas maastikus võib sihijoone lõpp-punktide B ja G_2 järele sisse ajada. Võsa või metsaga kaetud maapinna juures tuleks aga enne plaanil mõõta $\sphericalangle CBG_2$ ja siis alles abipunktide M_1 ja N_1 seisukohad lähematest piiripunktidest D ja F. Saadud nurga abil ühendatakse BM siis N_1 ja lõpuks G_2-ga.

Täpsemalt võiksime seda küsimust lahendada, kui punkt G_2-e mitte graafiliselt, nagu eelpool, vaid trigonomeetriliselt arvutame. Selleks kujutleme omale osa polügooni BCDEFGH eraldatult, arvutame nende kõikide punktide koordinaadid (kui selleks andmeid ei ole, tuleb polügoonikäik teha B⟶H) ja koordinaatide järele selle polügooni pinna. Joon BH-i mõõta ei ole tarvis. Selle joone pikkuse arvutame punktide B ja H koordinaatide varal:

$$d = \sqrt{\triangle x^2 + \triangle y^2} = \sqrt{(x_b - x_h)^2 + (y_b - y_h)^2}.$$

Selle joone rumbi või asimuudi (suunas H⟶B) leiame

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\triangle y}{\triangle x} = \frac{y_b - y_h}{x_b - x_h},$$

kusjuures positiivne lugeja näitab, et rumb on NO või SO suunas, negatiivne — NW või SW suunas. Positiivne nimetaja aga näitab, et rumb on NO või NW suunas, negatiivne — SO või SW suunas.

Kui rumb teada, võib d lihtsamalt määrata:

$$d = \frac{\triangle x}{\cos\alpha} = \frac{x_b - x_h}{\cos\alpha}.$$

Joon GH-i asimuut oli teada (ilma selleta ei saaks koordinaate arvutada), joon HB asimuut oli arvutatud — α_m. Viimasest arvust esimest lahutades saame sisenurga suuruse n.

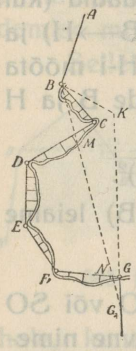
$$\alpha_m - \alpha_n = n.$$

Polügoon BCDEFGH-i pind oli S. Selle polügooni kolmnurgaks muutmisega jääks pind ikka S, üks külg BH oleks arvutatud d, üks nurk oleks arvutatud n; seega on kerge saada külje G_2H suurust, meeles pidades, et $S = \frac{BH \times G_2H}{2} \sin n$, kus $G_2H = \frac{2S}{\sin n \cdot HB}$.

Kui punkt G_2 on arvutatud, siis võime arvutada ka $\measuredangle BG_2H$:

$$\frac{BH - G_2H}{BH + G_2H} = \frac{tg\left(\frac{G_2 - \beta}{2}\right)}{ctg\frac{n}{2}},$$

kus peale selle $G_2 + B = 180^0 - n$. Arvutatud joont G_2H pikkusest GH lahutades ja saadud suurust GG_2 mõõtes, saame punkt G_2 looduses. Asetame sinna teodoliidi ja ehitame selle abil joon G_2H-le nurk n-u, missuguses suunas joont läbi metsa ajades jõuame punkt B-sse. Kui sisseaetud siht punkt B-sse välja tuleb, siis on sellega töö ühtlasi kontrollitud.



304. joon.

Punkt H-i asemele võib võtta mõne teise punkti joon HG-l või selle pikendusel. Nurk BG_2H-i arvutamine võib koordinaatide abil sündida nagu eelpool nurk n-u kohta kirjeldatud.

Kõverjoonelise kontuuri BCDEFG vahetamisel toimub kava projekteerimine graafilisel teel, planimeetri abil pindade summat BCM ja NGG_1 pind MDEFN-ga võrreldes ja siis joon BG_1-t siia- või sinnapoole nihutades, kas graafilise arvutamise teel või planimeetriga proovides.

Täpsemaks arvutamiseks ehitame natuuras sirgjoonelised abijooned BC, CD, DE, EF ja FG, millede koordinaadid teodoliidiga polügoonkäigul saadud andmete järele arvutame (304. joon.). Abijoontel mõõdetakse ekkeri abil kõverjoone ja abijoonte vahel olevate maaribade pind. Käesoleval juhtumil — kolmnurgaga arvutamisel punkt H-d võtta ei saa, sest joon HB lõikaks olemasoleva polügooni piiri läbi. Seepärast pikendame (paberil) joon GH-i mõne kindla arvu a (200—500 m) võrra, kuni punkt K-ni, nii et joon BK asuks väljaspool polügooni. Mõeldud punkti K koordinaadid leiame kui punkt G koordinaatidele juurdekasvusid joon GH-i kaudu (vastupidises suunas) pikkusele a vastavalt juurde lisaksime. Näit., kui punkt G koordinaadid oleksid: $x_g = -386{,}2$ m; $y_g = +140{,}5$ m; joon GH-i rumb — SW 18°30′; siis oleks joon HG ja GK rumb NO: 18°30′, punkt K kaugus punkt G-st — 300 m, seega

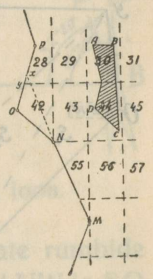
$\triangle x = +284{,}5$; $\triangle y = +95{,}2$ ja punkt K koordinaadid oleksid:

$$x_k = -101{,}7;\ y_k = +235{,}7.$$

Nüüd arvutatakse joon KB rumb ja pikkus ja siis $\measuredangle$ BKG suurus. Punktide BCDEFGK koordinaatide järele saab alusjoontest moodustatud polügooni pinna S_1 teada, mida ekkeri andmeil saadud ribade pindade liitmise ja lahutamise teel tuleb parandada. Kõverjoone ja mõeldavate joonte BK ja GK moodustatud pind oleks S.

Seega joon $KG_2 = \frac{2S}{BK \sin \measuredangle BKG}$.

Lahutades pikkus KG_2-st joon GK-d (300 m) saame GG_2, mida natuuras võime mõõta. Kolmnurga BKG_2 arvutamisel leitakse $\measuredangle$ BG_2K, mis teodoliidiga natuuras leitud, ja võib sihi kuni B-ni läbi ajada. (Juhtumil, kui antud kõver kontuur lõikaks joon GH-i pikendust, võiks punkt K võtta joon AB pikendusel.



305. joon.

Maatükkide vahetamiseks näide (305. joon.): Metsaserval asuval talul on keset metsa üks heinamaatükk ABCDE, mille suurus 14,6 ha ja mille puhas sissetulek ha-lt — 800 senti. Taluomanik soovib seda tükki mõne metsaserva vastu ümber vahetada, nii et tema krunt asuks ühes tükis. Vahetamisel metsaservast tükke välja eraldades tuleb hoiduda teravanurksete soppide tekkimisest. Välja eraldada võiks mõne kolm- või nelinurgana väljaulatuva nurga. Õhtupoolset metsaserva võimalikult mitte puutuda, ehk kui siit anda vahetamiseks, siis tingimusega, et kasvav mets siin mitte korraga maha ei raiutaks, vaid uue metsa serva kaitseks ja ettevalmistamiseks kümne või koguni paarikümne aasta kestusel jalale jääks, kusjuures vahetust nõudja kasvava metsa peab ära ostma. Vahetust metsa huvides toetada siis, kui metsavalitsusele üleantavat tükki tõesti võib metsastada. Tuleb alati selle järele valvata, et ühe sopi õiendamisega ei tekiks uus veel teravam või sügavam sopp.

Peamõte ja -soov vahetusel endisel ajal oli, et kroonu-

valla talud koondataks võimalikult ühte ja et metsamassiivist kaoksid vähemad heinamaatükid, mis valvet raskendavad.

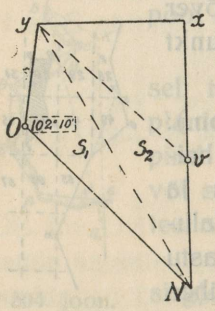
Käesoleval juhtumil (305. joon.), kus vahetuseks antav tükk tuleb tahes või tahtmata õhtuservast lõigata, on kõige sündsam koht 42. kvartaali piirides. Maapinna puhas sissetulek on siin ha kohta 1 000 senti.

Seega tuleks anda keset metsa asuva heinamaatüki vastu

$$\frac{14{,}6 \times 800}{1\,000} = 11{,}68 \text{ ha}$$

Eraldades kolmnurka küljega $b = \frac{NW : 50^0 10'}{448{,}4}$ saame teise külje pikkuse punkt O punkt P suunas:

$$a = \frac{2.11{,}68 \cdot 10\,000}{448{,}4 \sin 102^0 10'} = \frac{2.11{,}68 \cdot 10\,000}{448{,}4 \cos 12^0 10'} = 532{,}9 \text{ m},$$



306. joon.

missugune pikkus punkt O-st mõõdetakse ja otsitav punkt Z leitakse. Peale selle arvutatakse trigonomeetrilisel teel (nagu eelpool piiri õiendamisel) kolmnurga üksikud elemendid ja nurk, millises suunas teodoliidiga punkt N juurest võtta sihi algus punkt Z-le.

Kui soovitakse neljanurkset kuju anda, näiteks ainult 42. kv. piirides, siis mõõdame joone Oy (kuni kv. sihini), arvutame esiti abikolmnurga yoN pinna (306. joon).

Selle pinna lahutame üldantavast pinnast, saame pind S_2-e, mis tuleb juurde lõigata.

Otsitava punkti V kauguse punkt N-st saame, kui natuuras mõõdame nurk ONx ja arvutame kolmnurga S_1 pinna järele külg yN-u ja nurk ONy. Siis on kolmnurgas yvN teada pind, külg ja nurk yNx selle külje juures (kui nurkade ONx ja ONy vahe) pinna valemi järele võib leida teise otsitava külje NV.

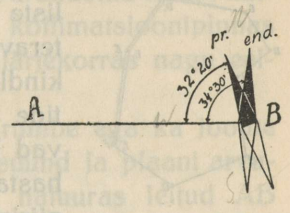
Piiride uuendamine.

Tihti on piirimärgid ära kadunud ja rajad kinni kasvanud, sest endiste piiride rajamisest on meil keskmiselt juba 40 aastat möödas. Plaani järele on võimalik piirimärke uuesti

üles seada endistesse kohtadesse ja sihid lahti raiuda. See juures võivad olla järgmised juhtumid:

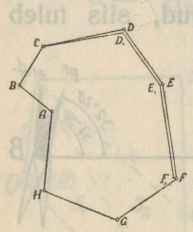
1. juhtum. Natuuras on alal hoidunud üks piirjoon, mille mõlemal pool otsas ka piiripunktid olemas, see on, kas kupitsakohad selged, või ristikivid olemas. Plaanil on piirjoonte mõõdud ja rumbid tähistatud.

Esimeses järjekorras tuleb kindlaks teha, missugusele joonele plaanil vastab natuuras olev joon. Selleks tuleb joone pikkus ja rumb mõõta ja võrrelda plaanil tähistatutega. On aga plaanil mitu seesugust joont, siis tuleb abiks võtta plaanil tähistatud ja natuuras selle joone läheduses leiduvaid asju; näiteks oja, teed, majad j. m. ja nende järele orienteerides plaanil õige joon välja valida. On see sündinud, siis tuleb määrata magnetnõela kõrvalekaldumine. Selleks tuleb leitud joone võimalikult täpselt bussooli abil mõõdetud rumb võrrelda plaanil tähendatud rumbiga. Näiteks, kui natuuras leidsime antud AB-joonel NW : 32°20′ ja plaanil oli NW : 34°30′, siis on magnetnõela põhjaots kaldunud vahepeal ida poole 2°10′ võrra. Sel puhul tuleks natuuras praegu mõõdetavate rumbide saamiseks kõik plaanil tähendatud rumbid, mis asuvad NW ja SO suunas, 2°10′ võrra vähendada ja rumbid, mis on plaanil NO ja SW suunas, 2°10′ võrra suurendada. Kui magnetnõela kõrvalekaldumine oleks olnud lääne poole (näit. endine rumb NO : 25°30′ praegu NO : 23°), siis tulevad kõik NO ja SW suuna rumbid vähendada ja NW ja SO suuna rumbid suurendada (307. joon.). Kui rumbid on parandatud, seatakse teodoliit leitud joone AB lõpul punkt B kohale üles, juhitakse vernjeeri null limbi nulliga ühte, kinnitatakse alidaad ja juhitakse pikksilma optiline telg limbi käänates punkt A peale, kinnitatakse limb, vabastatakse alidaad ja viimast käänates seatakse vernjeer nõnda, et ta näitaks vahet 360° ja sisenurga vahel (kui limbi jaotus läheb pahemalt poolt paremale) või otse sisenurka, kui limbi jaotus läheb paremalt poolt pahemale. Sisenurk võetakse plaanilt või arvutatakse rumbi järele.



307. joon.

Võib ka teisiti talitada, kui teodoliidi limb ei liigu. Siis võib vaatlust teha esiti tagasi punkt A peale ja, saadud vaatlusest sisenurga suurust lahutades, anda alidaadile säärane seisukoht, et saadaks vernjeerilt arvutatud vahe vaatluse A ja sisenurga vahel. Nüüd seatakse läbi pikksilma vaadates saadud suunas sihitikud üles, võimalikult kaugemale aparaadist, ja võrreldakse ühtlasi ka teodoliidil saadud rumbi enne plaani järele parandatud rumbiga. On kooskõla olemas, siis aetakse siht sisse, mõõdetakse plaanilt võetud joone BC pikkus (308. joon.); saadud punkti kohal või selle lähemas ümbruses tuleb siis otsida endist kupitsakohta või ristikivi. Olgu tähendatud, et kui pealmaa olev tulp on ära mädanenud, siis on ikkagi maa sees olev tulba alumine ots terve. Kui me kupitsataoliste küngaste keskel sorides leiame mõne teravaks tahutud vaia või postiotsa, võime kindlad olla, et piiripunkt on leitud. Kui postide asemel on ristikive tarvitatud, siis tulevad kõik lähedal olevad kivid samblast puhastada ja vaadata, kas neist mõni mitte piiriristiga ei ole märgitud. Kui piirimärk punkt C juures leitud, siis seatakse antud punkti kohale teodoliit üles, juhitakse pikksilm tagasi, esiti B peale, siis vaatluse $B + 360^0$ ja sisenurga C vahe peale. Saadud suunas aetakse sisse joon CD, mille kaudu plaanilt võetud joon CD mõõdetakse ja saadud punkti kohal endist piirimärki otsitakse. Kui juhtub, et piirimärki ei ole leida, seatakse teodoliit mõõdetud punkti D_1 kohale üles, mõõdetakse punkt E_1, otsitakse siit; kui ei leita, seatakse teodoliit väljamõõdetud punkti E_1 kohale ja mõõdetakse punkt F_1. Punkt F-i läheduses leiti endine piirimärk. Kõrvalekaldumine väljamõõdetud F_1 ja endise piirimärgi F vahel ei tohi rohkem olla kui $\frac{1}{200}$ uuesti sisseaetud joonest, see on $\frac{CD+DE+EF}{200}$. Kui viga on lubatav, parandatakse punktide D_1 ja E_1 seis paralleeljoonte meetodi järele (308. joon.). See on punkt E_1 joone F_1F suunas rumbile $\frac{F_1F\,(CD+DE)}{CD+ED+EF}$ võrra edasi nihutatud ja punkt D sessamas suunas $\frac{F_1F \cdot CD}{CD+DE+EF}$ võrra edasi tõstetud. On vead



308. joon.

kõrvaldatud, seatakse teodoliit punkt F kohale ja jätkatakse tööd. Oli aga kõrvalekaldumine lubatavast suurem, ei saa parandusi D_1 ja E_1 kohal teha, vaid tuleb viga üles otsida, kusjuures soovitav on sihti punkt F rumbi järele tagasi ajada punkt E suunas ja siit D suunas.

b) Plaanil on joonte mõõdud, kuid rumbe ega sisenurki ei ole, meridiaan on aga üles tähendatud.

Säärasel korral tuleb malli abil, meridiaani aluseks võttes, rumbid mõõta täpsusega kuni 10′—15′ ja neid, joon AB rumbi natuuras mõõtmisega magnetnõela kõrvalekaldumise võrra täiendada. Piiri uuendamine ette võtta teodoliidi bussooli abil, punkt B kohta aparaati üles seades ja alidaadi käänates, kuni bussooli vabastatud nool joon BC parandatud rumbi näitab, siis alidaad kinnitada ja pikksilma kollimatsioonipinnas siht sisse ajada. Muud tööd teha selles järjekorras nagu eelmisel juhtumil.

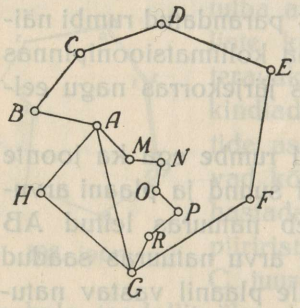
c) Plaanile ei ole üles tähendatud rumbe ega ka joonte mõõtusid. On olemas ainult meridiaani suund ja plaani arvuline mõõtkava. Säärasel juhtumil tuleb natuuras leitud AB pikkus sirkliga plaanil mõõta, saadud arvu natuuras saadud arvuga võrrelda, arvutada mõõduühikule plaanil vastav naturaalmõõt. Näiteks plaanil leidsime joone AB pikkuse 3,77 sm. Selle joone mõõt natuuras 386,4 m. Seega vastab 1 sm paberil $\frac{386{,}4}{3{,}77} = 102{,}5$ m. On see vahekord teada, siis võib teiste joonte mõõtusid meetrites teada saada, sirkliga joonte pikkust plaanilt vaskmõõdule kandes ja saadud arvu 102,5-ga korrutades. Säärase talitusviisiga on kõrvaldatud paberi aastate kestusel tekkinud väljavenimine või kokkutõmbumine. On kõik jooned plaanil mõõdetud, siis uuendatakse piir nõnda, nagu see sündis eelpool punktide a ja b all kirjeldatud juhtumitel.

2. juhtum. Natuuras leiti kaks piiripunkti A ja G, kuid nad ei asu ühel piirjoonel.

a) Punkt A on punkt G-st näha ja võimalik joon AG-d mõõta.

Mõõdetakse joon AG ja määratakse bussooli abil tema praegune rumb. Joon AG pikkuse, tema rumbi ja muude sise-

miste asjade asukoha järele otsitakse plaanil punktidele A ja G vastavad a ja g. Bussooliga mõõdetud AG rumbi ja plaanil meridiaani abil võetud rumbi ag järele määratakse magnetnõela kõrvalekaldumine endisest, plaanile vastavast seisukohast ja parandatakse plaanil kõik teised rumbid. Kui plaanil rumbid puuduvad, siis tulevad nad plaani meridiaani järele transportiiri abil määrata. Parandatud rumbi AB järele aetakse bussooli abil joon AB sisse, otsitakse punkt B ja kui see leitud, siis jätkatakse tööd punkt C suunas juba sisenurkade järele, kui need plaanil olemas. Puuduvad aga nurgad, või nende järele arvutatud rumbid, plaanil, siis tuleb tööd punkt B juurest punkt C suunas bussooli abil teha ja ka edasi bussooli tarvitada.



309. joon.

b) Punkt A-st ei ole punkt G näha, mis harilik juhtum on metsarikkal maal.

Seesugusel korral (309. joon.) tuleb polügoonkäik teha teodoliidiga punkt A-st punkt G-sse, olemasolevaid sisemisi sihte, kraave, teid ja enam hõredat metsa selleks tarvitada, näiteks AM, MN, NO, OP, PR ja RG. Selle polügoonkäigu järele punktide M, N, O, P, R ja G koordinaate arvutades, võib alguspunktide A ja G koordinaatide järele joon AG pikkuse ja tema rumbi arvutada seda joont AG otse mõõtmata ja sisse ajamata. Kui joon AG pikkus ja rumb on teada, toimub piiri uuendamise töö nõnda, nagu eelpool punkt 2 b-s ette nähtud.

3. juhtum. Natuuras on leitud kõigest üks ainus piiripunkt.

a) Peale piiripunkti on natuuras leida mõni muu sisemise kontuuri punkt, mis ka plaanil tähistatud, näit. kivihoone, kivisild, järsk käänak maanteel või ojal j. n. e.

Säärasel korral plaani sisemise kontuuri järele orienteerides ja polügoonkäiku leitud piiri ja sisemise kontuuri punkti vahel tehes, saame plaanil ja natuuras ühe joone, mille abil määratakse magnetnõela kõrvalekaldumine ja täpne plaani

mõõtkava, mis paberi muutmise tõttu plaani arvulisest mõõtkavast võib lahku minna. Edasi sünnib töö nagu eelmises punktis.

b) On leida ainult üks piiripunkt. Sisemised punktid ei ole plaanile tähendatud. Siin on kaks juhtumit.

Plaan on geograafilise meridiaani järele joonestatud ja plaanile geograafilised rumbid üles tähendatud, või plaan on küll magnetmeridiaani järele joonestatud, kuid plaanile on magnetnõela kõrvalekaldumine geograafilisest meridiaanist tähendatud. Sel korral tuleb päikese või tähtede järele geograafiline meridiaan natuuras tähendada ja praegune magnetnõela kõrvalekaldumine geograafilisest meridiaanist määrata. Nende andmete varal võib arvutada joonte magnetrumbid käesoleval silmapilgul.

Kui plaanil olevad rumbid on parandatud, siis võib piiri uuendamisele asuda, bussooli leitud piiripunkti üles seades ja sihti edasi ajades, nagu see punkt 1-es kirjeldatud.

c) Kui plaanil on magnetrumbid tähendatud, kuid magnetnõela kõrvalekaldumise kohta märkust ei ole, siis tuleb naabruses olevate kruntide kaardid võtta, mis küsimuses oleva koha plaaniga ühel ajal tehtud, ja nende plaanide abil, kas naaberkohtade piirijoonte või sisemise situatsiooni joonte järele määrata parandus, mis tolleaegsete rumbide kohta tuleks teha, et praeguse aja magnetrumbe saada.

4. juhtum. Küsitaval kohal ei ole alal ühtki piirimärki.

a) Kohaplaanil on sisemises situatsioonis üles tähendatud asjad, mis praegu veel natuuras leida. Näiteks, savist kelder ja sellest 150 m kaugusel asuv paekivist sild üle oja. Nende kahe sisemise punkti järele määratakse rumbide parandused ja kaardi mõõdud, otsitakse lähem piiripunkt üles ja selle järele ka teised, nõnda, nagu see punkt 1-es kirjeldatud.

b) Piiripunkte ei ole leida, ja sisemise situatsiooni punktest ei ole ka ühtegi alal hoidunud. Sel juhtumil tuleb mõni suurem kaart, näiteks valla või mõisa plaan, abiks võtta ja selle plaani abil naabri piiridest, kui mõni piiripunkt veel leida, piiriuuenduse tööd alata kuni küsitava krundi piirini.

Vene valitsuse aegiste määruste järele kaevati piiripunktide ülesseadmisel peale kupitsa piirijoont mööda auk ühe sülla kaugusele piiripunktist piiri õiges suunas edasipoole, kusjuures muld pidi pillutama mõlemale poole augu äärele. Seesuguste aukude järele on kerge piiriposti asukohta kätte saada. Ainult neil juhtumitel, kui naaberkrunt enne välja mõõdetud ja seal piiripostid ja augud tehtud, jäid uuemal mõõtmisel selle rajal uued märgid panemata. Seda asjaolu tuleb silmas pidada, kui piirimärke endiste kroonumetsade ja läinud sajandi lõpul rajatud kroonuvalla kohtadel tuleb uuendada. Siin peab tähendama, et lõplik juriidilise iseloomuga piiri uuendamine võib sündida ainult sellekohaste volitustega maamõõtjate poolt, kes Vene valitsuse ajal kohtuministeeriumile allusid. Metsaametnikud ja kohaomanikud võivad ajutisi piirimärke panna, kuid neil märkidel on rohkem majanduslik kui juriidiline tähtsus. Piiri uuendamisel, seni kui sisseaetud joon veel küsitav, tuleb esialgu sihi raiumisel võimalust mööda jämedamad ja kallimad puusordid puutumata jätta. On aga sihi otsad kindlates punktides ja endised piirimärgid üles leitud, siis võib ka piirisihti ennast tarvilikus laiuses (metsas 6 m) puhastada.

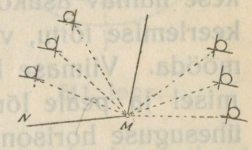
Geograafilise või õige meridiaani tähendamine.

Selleks võetakse teodoliit, mis vertikaalrattaga ja okulaaril ettekruvitava tumeda klaasiga varustatud. Vaiksel, selgel päeval seatakse teodoliit hommikul enne kella 8 üles mõnesuguses punktis M (310. joon.) ja tehakse vaatlus esiti mingile umbes paarisaja m kaugusele ülesseatud punktile N-le (82° 18′). Nüüd juhitakse niitide rist päikese peale nõnda, et horisontaalniit ühtuks päikese alumise servaga ja vertikaalniit päikese parema servaga. Tehakse vaatlus horisontaal- (145° 55′) ja vertikaalrattalt (26° 25′) ja tähendatakse tabelisse. Vaatlusi korratakse iga veerand tunni järele umbes kella poole 10-ni. Peale seda muutub päikese kõrgus ajaga vähe ja vaatlused ei ole küllalt täpsed.

Peale lõunat natuke enne kella $^1/_2 3$ ($2^1/_2$ tundi enne keskpäeva lõppesid vaatlused) juhitakse vertikaalratas kella $^1/_2 10$ aegu vertikaalrattal saadud vaatlusele (37° 40′), ja alidaadi vabastades ning käänates, kuni päikese alumine serv jälle okulaari

Enne lõunat			Peale lõunat			Horisontaal vaatluste summa	Horisontaal vaatluste poolsummast	Keskmine aritmeetiline
Aeg	Vaatlus vertikaalrattal	Vaatlus horisontaalrattal	Aeg	Vaatlus vertik.-rattal	Vaatlus horisontaal-rattal			
8,00	26° 25′	145° 53′	4,04	26° 25′	290° 37′	436° 30′	218° 15′	218° 14′ 54″ ehk 218° 15′
8,15	28° 27′	148° 59′	3,49	28° 27′	287° 30′	436° 29′	218° 14′ 30″	
8,30	30° 30′	152° 15′ 1/2	3,34	30° 30′	284° 13′	436° 28,5′	218° 14′ 15″	
8,45	32° 45′	155° 42′	3,19	32° 45′	280° 48′	436° 30′	218° 15′	
9,00	34° 32′	159° 23′	3,04	34° 32′	277° 07′	436° 30′	218° 15′	
9,15	36° 30′	163° 25′	2,50	36° 30′	273° 06′	436° 31′	218° 15′ 30″	
9,30	37° 40′	165° 33′	2,36	37° 40′	270° 57′	436° 30′	218° 15′	

horisontaalniiti lõikab ja vertikaalniit seejuures päikese pahemat serva (310. joon.). Kinnitatakse alidad, tehakse vaatlus horisontaalrattal (270° 57′). Siis juhitakse vertikaalratta vernjeer kell 9,15 vastavale päikese kõrgusele (36° 30′) ja alidaadi käänates oodatakse, kuni päike satub niitide risti pealmisse paremasse nurka. Nüüd kinnitatakse alidaad ja tehakse vaatlus (273° 06′) horisontaalrattal. Nõnda korratakse kuni viimase madalama kõrguseni (26° 25′). Nüüd juhitakse alidaad veelkord punkt N-u, et selgusele jõuda, kas limb on liikumata. Kui kahele ühesugusele päikese kõrgusele enne ja peale lõunat tehtud vaatluste summa poolitada, saame keskpunktile, s. o. meridiaanile vastava vaatluse. See väide põhjeneb asjaolul, et päike on kõige kõrgemal (kulmineerub), meridiaani lõunasuunas läbi lõigates. Enne ja peale kulmineerumist sünnib tema tõus ja vajumine korrapäraselt ellipsitaolist joont mööda. Ühele ja samale horisontaalnurgale enne ja peale kulmineerumist vastavad ka ühesugused päikese kõrgused.



310. joon.

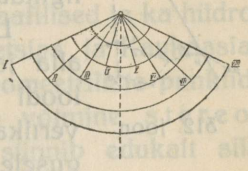
Meridiaani asukohta oleks võinud ka kahe vaatluse järele (üks enne, teine peale lõunat) määrata, kuid säärasel korral on kerge eksida. Vigade kõrvaldamiseks on soovitav rida vaatlusi. Võrdsetele kõrgustele vastavatest horisontaalnurkade

poolsummadest keskmist aritmeetilist võttes, saame õige meridiaani pealelõunasuunas tehtud vaatluse. Vaatlus meridiaani põhjasuunale on 180° võrra suurem (398° 15′ ehk 38° 15′). Kui vaatlustest punkt N peale lahutada arvutatud vaatluse meridiaani põhjaotsale, siis saame teada joon MN-u õige asimuudi (82°18′ — 38°15′ = 42°03′). Punktid M ja N tulevad varustada alaliste märkidega, sest joon MN-u järele on kerge igasuguse lähedaloleva polügooni õiget ehk geograafilist rumbi arvutada. Seks on ainult tarvis joon MN-u antud polügooniga mõnesuguse instrumentaalkäiguga siduda. Ka võib joon MN-u magnetrumbi bussooliga mõõtes magnetnõela kõrvalekaldumist geograafilisest meridiaanist määrata.

Teodoliidi kollimatsioonivea kõrvaldamiseks on soovitav teha vaatlusi kaks korda, esimesel päeval vertikaalratast pikksilmast paremat kätt hoides, teine päev, pikksilma üle seniidi käänates, vertikaalratast pikksilmast pahemat kätt asetades. Keskmine mõlema päeva keskmistest on vaatlus meridiaani lõunaotsale. Kuid ka seda vaatlust tuleb parandada, sest päikese nähtav asukoht muutub mitte üksnes maakera ümber telje keerlemise tõttu, vaid ka maakera liikumisel päikese ekliptikat mööda. Viimase liikumise tõttu on päike kevadel alalisel tõusmisel ja peale lõunat relatiivselt kõrgemal kui enne lõunat ühesuguse horisontaal- või kellanurga juures. Sügisel on asi ümberpööratult. Selle viimase liikumise tõttu tuleb iga üksiku saadud meridiaani, lõunaotsa vaatlusele parandus k juurde lisada, mille suurus on $k = -\frac{t \cdot \triangle \delta}{\cos\varphi \sin 1^{\prime}}$, kus t on minutite arv aja järele, mida saame, kui vaatluste vaheaja pooleks jagame. $\triangle \delta$ on päikese kõrguse muutumine ühe minuti kestusel ekliptikal liikumise tõttu. Nurk φ on koha geograafiline laiusekraad. 15 t tähendab aja ümberarvutamist nurgaks, sest 1 tund on 15° ja 1′ aja järele on 15′ ringi järele. Kuni jaanipäevani on parandus negatiivne, peale seda aga positiivne, juhtumil, kui limbi jaotus läheb pahemalt poolt paremale. Jaanipäeva aegu tehtud vaatlustel on parandus oma absoluutse suuruse järele kõige väiksem ja võib teda ka jätta tähele panemata.

Meie kodumaa geograafilise laiuse juures on parandus k maikuul umbes 5 minutit.

Kui geograafilise meridiaani määramine toimub *taevatähtede* järele, siis jääb maakera ekliptikal liikumise tõttu sündinud viga k ära. Okulaar jääb ilma musta klaasita, kuid objektiivi juurde tuleb asetada peegel, mis niitide risti valgustaks, lähedale asetatud lambi valgust heites. Õhtul, veel valges, seatakse teodoliit sissetaotud vaia kohale üles ja tehakse vaatlus punkt N-le. Nüüd juhitakse pikksilm bussooli abil ligikaudu meridiaanile lõuna suunas. Vaatlusi tuleb teha õige madalal kulmineeruvate tähtede peale. Tähti umbes $^1/_4$ tundi (ligikaudu 4°) enne kulmineerumist niitide risti tabades, kinnitatakse alidaad ja tehakse vaatlus horisontaalrattalt. Jättes siis pikksilma vertikaalsuunas endisele kõrgusele, vabastatakse alidaad ja teda käänates oodatakse (umbes $^1/_2$ tundi), kuni sama täht satub uuesti niitide ristile. Uue ja endise vaatluse poolsumma annab meridiaani seisu. Nüüd valitakse jälle mõni teine täht ja vaatluse järg kordub. Ühe öö jooksul võib 6—8 tähega vaatlusi teha ja neist vaatlustest saadud meridiaani asukohtadest võtta keskmine. Muidu sünnib kõik nagu päikese järele mõõtmisel. Kui on karta, et teodoliit, teda hommikuni kohale jättes, võib paigalt liikuda, siis tuleb juba öösel meridiaan tähistada, vernjeeri arvutatud keskmisele vaatlusele asetades, töölist laternaga 200 m kaugusele saates ja temale märku andes laternat ühes latiga meridiaani suunas üles seada.



311. joon.

Ligikaudu võib meridiaani tähistada, kui tasasel maapinnal ühest punktist pinguletõmmatud nööri abil rida kontsentrilisi ringe maapinnale tõmmata ja siis keskpunkti kohale täpselt vertikaal-latt üles seada nelja pinguletõmmatud traadi abil nõnda, et lati tipu vari hommiku kella 8 aegu ulatuks kõige suurema ringini. Tähistatakse terava vardaga see koht, kus lati tipu vari ringil asub. Niisama enne kui ka peale lõunat (311. joon.). Ühel ja selsamal ringjoonel asuvate punktide kaugust üksteisest pooleks jagades (I—VIII, II—VII, III—VI

ja IV—V), saame rea punkte, mis meridiaani suunas peaksid asuma üht joont pidi. Vaatlusi võib paari päeva kestusel korrata ja lõplik meridiaanijoon sealt võtta, kus saadud joonte poolituspunktid kõige tihedamalt asuvad. Saadud joon sisaldab eelpoolkirjeldatud viga päikese liikumisest ekliptikal.

Ilma teodoliidita võib taevatähtede järele geograafilist meridiaani tähistada umbkaudu Põhjanaela järele. Seejuures tekib viga 1—2 kraadi võrra, sest Põhjanael ei asu mitte täpselt maakera naba suunas, vaid keerleb ümber naba. Põhjanael kulmineerub, see on läheb läbi meridiaani just selsamal silmapilgul, kui ta asub ühes vertikaalpinnas Suure Vankri teise tähega (φ), tiisli otsast arvates. [Põhjanaela leiame kui Suure Vankri välise külje tähtedest (α ja β) võtame suuna ülespoole (α suuna) ja selles suunas kanname Vankri otsa pikkuse (α ja β vahe) ligikaudu viis korda.]



312. joon.

Laseme loodnööri kuskilt kõrgemalt kohalt alla ja et ta tuule käes vähem kõiguks, asetame loodi mõnesugusesse veenõusse. Nüüd asume vertikaalselt seisva nööri taha paari sammu kaugusele, et määrata silmapilku, mil Põhjanael koos Suure Vankri φ tähega vertikaalsuunas nööriga kattuvad. Paarikümne meetri kaugusel ootab tööline lati külge kinnitatud laternaga, et Põhjanaela kulmineerumisel, antud märgu järele vertikaalnööri ja kulmineeruvate tähtedega ühes suunas latt üles seada. Korraliku töö juures ei ulatu viga üle ühe minuti. Ülemaltähendatud meridiaani määramist võib teha sept.-, okt.-, nov.- või dets.-kuul, kuna muul aastaajal kulmineerumine sünnib päeval.

Triangulatsioon.

Suuremal maa-alal ettevõetud maamõõdutööde juures jaotatakse mõõdetav maa-ala kolmnurkadeks, millede küljed 3—20 km pikad. Kolmnurkade tippudesse seatakse kaugele silma paistvad märgid ja nende kolmnurkade tippude koordinaadid määratakse õige täpselt. Sisemise situatsiooni mõõtmine toimub kolmnurkade raamides. Seega kõrvaldatakse vigade üle-

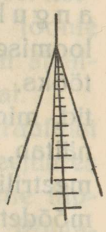
kandmine mõõdetava maa-ala ühest servast teise. Säärane kolmnurkade võrk kannab *trigonomeetrilise* ehk *triangulatsioonivõrgu* nime. Maamõõtmistööd selle võrgu loomiseks ja arvutamiseks nimetatakse *triangulatsiooni*tööks. Nimetus trigonomeetriline võrk, trigonomeetrilised punktid, mida sagedasti sõna triangulatsioon asemel tarvitatakse, näitab, et kolmnurkade punktide arvutamine toimub trigonomeetrilisel teel, kus kõigest ühe ainsa kolmnurga üks külg mõõdetakse ja selle järele, kolmnurkade tippudes nurki mõõtes, kõikide teiste kolmnurkade elemendid arvutatakse. Mõõdetud joon kannab *baasi* nime.

Vastand trigonomeetrilisele võrgule on *polügonomeetriline* võrk, kus punktide arvutamiseks nii nurgad kui ka punktide vahel olevad jooned mõõdetakse.

Esimest korda on triangulatsiooni põhimõtet tarvitanud Snellius Hollandis aastal 1617. Triangulatsioonipunktide najale on rajatud praegu igasugused topograafilised ja ka hüdrograafilised mõõtmised. Austrias, Helveetsias ja Kaukaasias toimus koguni metsade mõõtmine trigonomeetriliste punktide abil. Aeroplaanidelt maastikkude plaanile võtmine *stereofotogramm*-meetrilise meetodi järele sünnib edukalt siis, kui pildile ülesvõetav koht sisaldab triangulatsioonivõrgu paar punkti.

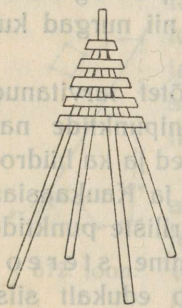
Triangulatsioonikolmnurkade külgede suurus oleneb sellest, kui täpset tööd nõutakse. Mida rohkem nõutakse peenusi, seda tihedam peaks olema võrk, seda vähemaks muutuvad kolmnurkade küljed, seda suuremaks muutub kolmnurkade arv ja neis ettevõetud mõõtmised ja arvutamised. Paistab, et seejuures töö muutub liiga raskeks ja toob kaasa eksimiste võimalusi. Tõepoolest on aga asi teisiti: tiheda, väikeseküljelise võrgu juures on alati suuremate külgedega võrk. Suuremate kolmnurkade arv, millede küljed 20—30 kilomeetrit, on väike. See on nõndanimetatud I järgu võrk. Nurgad neis kolmnurkades mõõdetakse täpsusega kuni 1″. Punktide arvutamine toimub õige täpselt. Punktide kohale, mis valitakse võimalikult kõrgematele küngastele, ehitatakse harilikult 20—50 m kõrgused tornid ehk signaalid.

Selle I järgu võrgu sisse rajatakse II järgu võrk, mille külgede pikkus 8—12 km. II järgu △-ades mõõdetakse nurki täpsusega 10″—20″, ka arvutamine on lihtsam kui I järgu võrgul. II järgu kolmnurkadesse on asetatud III järgu võrk, kus kolmnurga küljed 3—5 kilomeetri pikkused, ning mõõtmine ja arvutamine veel lihtsamad. Vead, mis tekivad väikestes kolmnurkades, väljapoole II järgu punkte ei kandu ja kui II järgu punktides mõni väike kõrvalekaldumine sünnikski, siis hävib see viga lähemas I järgu punktis.



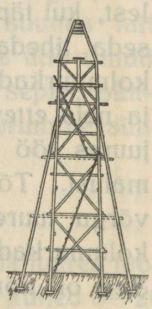
313. joon.

Neil juhtumitel, kus trigonomeetriline punkt on asetatud kõrge mäe otsa, kust niikuinii kaugele näha ja kus teodoliiti otsekohe maa peale võiks üles seada, ehitatakse punkti kohale 6—15 m kõrgune lihtpüramiid palkidest, millede ülemiste otste vahelt välja asetatakse vertikaalne vai (313. joon.). Et püramiid ja vaia tipp kaugelt (üle 10 km) paremini oleksid näha, siis lüüakse püramiidi pealmine osa laudadega ära (314. joon.).



314. joon.

Juhtumil, kui maapinnalt teisi punkte näha ei ole ja teodoliit tuleks 4—10 m kõrgusele tõsta, ehitatakse topeltpüramiidid, milledest välimine kõrgem ja määratud selleks, et antud punkt teistest punktidest oleks näha, kuna lühem, sisemine, mis välimisest täitsa lahus, on määratud teodoliidi paigutamiseks. Vaatlusi tegev maamõõtja asub seejuures platvormil, mis välise püramiidi külge kinnitatud nõnda, et vaatluste aegu mingisugust aparaadi kõikumist ei oleks.

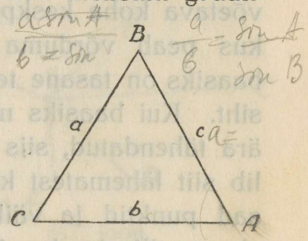


315. joon.

Kui aparaati on tarvis veel kõrgemale tõsta, siis ehitatakse nõndanimetatud liht- või liitsignaalid. Esimeste juures võib aparaati maast 12—15 m kõrgusele paigutada. Seejuures asetatakse aparaat sisemisele püramiidile, mis välise püramiidi külge kinnitatud selle alumises osas nõnda, et välimise kõiku-

mine ei mõju sisemisse (315. joon.). Välimise püramiidi otsa ehitatakse veel väike püramiid, mis mujalt punktidest tehtavate vaatluste jaoks määratud. Täielikkude signaalide juures on välimine püramiid kokku jätkatud tugedest, mille tõttu ehitus muutub kaunis keeruliseks.

Detailse triangulatsiooni ülesandeks on mensulitööde jaoks toetuspunkte anda. Seejuures võib olla kaks juhtumit: 1) toetuspunktideks on võetud ainult trigonomeetrilised punktid, või 2) osa punkte on trigonomeetriliselt, osa graafiliselt saadud. Viimasel juhtumil määratakse punkti asukoht mensulil graafiliselt. Esimesel juhtumil peab rajatav trigonomeetriline võrk tihedam olema kui viimasel. Nimelt peab mensulilaual iga 10—15 sm tagant üks toetuspunkt asuma, või 1 sm = 100 m mõõtkava puhul peaks iga kolmnurga külg ligikaudu 1 km pikk olema. Eelpool, mensulitööde käsitlemisel toonitasime, et ristlõike järele punkt seda õigem määratakse, mida rohkem omavahel loodjoones suunad sellele määratavale punktile võetakse.



316. joon.

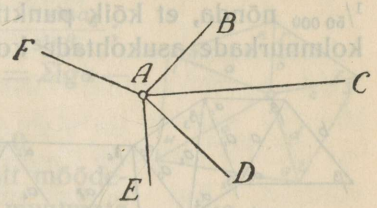
Kolmnurkade arvutamisel on soovitav ka suuremate, ligi 60^0 suuruste nurkadega opereerida: $a = \frac{b \sin A}{\sin B}$; $c = \frac{b \sin C}{\sin B}$, kus b on mõõdetud baas, A, B ja C mõõdetud nurgad, a ja c otsitavad küljed. Nagu näeme, sünnib otsitavate külgede määramine sin abil. Sin-suuruste võtmisel logaritmide tabelist saame seda vähema vea, mida lähemal on nurga suurus 90^0-le. Nimelt oleks ühe minuti suuruse vea tõttu viga logaritmi mantissi viiendates märkides: 30^0 nurga juures 22; 60^0 nurga juures 7; 80^0 nurga juures 2 ja 85^0 nurga juures 1. Selle tõttu sünniks külg a määramine kõige õigemini, kui nurk A ja nurk B oleksid ligi 90^0 suured. Kuid seejuures jääks külg C määramine puudulikuks. Kui soovime määrata külgi ühesuguse täpsusega, siis peaksid ka nurgad võimalikult võrdsed olema. Sellele nõudele vastab korrapärane külgvõrdne kolmnurk. Teiseks, korrapäraste kolmnurkade pind on võrd-

lemisi suurem kui teiste, neile võrdse perimeetriga kolmnurkades. Tarvitades korrapäraseid kolmnurki ühe ja sellesama maksimaalse kauguse juures punktide vahel, väheneb seetõttu kolmnurkade ja ühtlasi ka punktide arv. Väheneb töö, kuid töö headus kasvab.

Esimene asi, mis triangulatsioonitööde juures tuleb ette võtta, on maastiku topograafiliste omaduste selgitamine koha peal ettevõetud uurimiste või rekognostseerkäikude abil. Maamõõtja, kes väikse bussooli ja binokliga varustatud, valib siin baasi ja kolmnurkade tippude kohad. Baas peab asuma ülesvõetava koha keskpaigas, võimalikult tasasel pinnal, ja ta pikkus peab võrduma kavatsetud kolmnurga küljega. Kohane baasiks on tasane tee, suurema kraavi serv või mõni heinamaasiht. Kui baasiks mõni sünnis koht leitud ja plaanil ligikaudu ära tähendatud, siis asub maamõõtja esiti baasi ühte otsa, valib siit lähematest kõrgustikkudest kolmnurga tippudeks sündsad punktid ja väikse taskubussooli abil tähendab need oma skemaatilisele plaanile. Sedasama teeb ta ka baasi teises otsas. Siit asub ta kõige lähemasse kolmnurga tipuks valitud punkti ja otsib ümbruskonnas uusi kõrgustikke, mis kolmnurkade tippudeks võiksid olla, ja tähendab nende peale võetud rumbid oma algplaanile. Valides kolmnurga tippudeks kõrgustikke, tuleb selle järele valvata, et saadud kolmnurkadel ükski nurk ei oleks alla 30 kraadi, ega ka ulatuks üle 150°. Ühelt kõrgustikult järgemööda teistele edasi liikudes tähistab maamõõtja kõikide punktide asukohad. Järgmine töö seisab selles, et väljavalitud punktide kohale märgid üles seatakse. Detailse triangulatsiooni juures on märkideks 6—10 m pikkused vaiad, millede tippu valge, valge-must või mõnda muud värvi lipp asetatakse. Ka ehitatakse mõni lihtpüramiid. Peale märkide ülesseadmist asutakse baasi mõõtmisele. Detailse triangulatsiooni juures tuleb baas teraslindiga miinimum 3 korda mõõta ja kui vahed lubatavad, siis kolmest mõõtmisest keskmine aritmeetiline võtta.

Kui baas oli kohalikkude tingimuste tõttu mitte keskpaigas, vaid mõõdetava maa-ala ühel serval, siis tuleb teisel serval veel kontrollbaas valida. Kui baasi mõõtmisel selgub, et

joonel on kalle, siis tuleb kaldenurki mõõta iga silmapaistva muudatuse juures maapinna kallakuses. Õige künklise ja ebatasase iseloomuga maastikul peab eklimeetriga iga lindi pikkuses kallet mõõtma. Peale baasi mõõtmist asutakse kolmnurkade tippudesse nurkade mõõtmisele. Nurkade mõõtmiseks tarvitatakse väikest teodoliiti. Nurkade mõõtmisel korratakse 3—4 korda vaatlusi, kusjuures iga kord vaatlusi teha pikksilma 2 seisu juures (vertikaalratas paremal ja pahemal pool). Näiteks (317. joon.): punkt A kohal tehakse vaatlus (v. r. paremal pool) enne punkt B peale, siis C peale, siis D, E, F ja lõpuks uuesti B peale, et näha, kas limb on kohalt liikunud. Nüüd käänatakse pikksilm üle seniidi (v. r. pahemale poole) ja korratakse vaatlusi. Üksikute vaatluste vahed ühe ja sellesama punkti peale minutites kujutavad kahekordset kollimatsiooniviga. Selle vea suurus peab iga üksiku punkti juures enam-vähem ühesugune olema. Kollimatsioonivea suurust on vaatluste kontrolliks tarvis arvutada. Sellega lõpeb I rida vaatlusi. Nüüd vabastatakse limb ja käänatakse teda umbes 60^0 võrra (kui 3 korda vaatlusi tehakse) või 45^0 võrra (kui 4 korda vaatlusi tehakse) ja tehakse II rida vaatlusi sessamas järjekorras nagu esimest korda j. n. e.



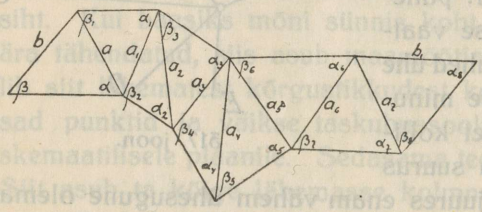
317. joon.

Enne, kui aparaadiga kohalt ära minna, tuleb järele vaadata, kas mõõdetud nurkade juures iga vaatluste rea järele kooskõla olemas. Detailse triangulatsiooni juures võib aparaadi ülesseadmiseks lati (kolmnurga tipu märk) ajutiselt kõrvaldada ja teodoliiti sentrida lati augu keskkoha järele. Ka võib teodoliiti lati lähedusse üles seada, kuid siis tuleb peale harilikkude vaatluste veel vaatlus teha kõrval asuva lati keskjoonele ja mõõta õige täpselt kaugus aparaadi sentrist latini. Nende andmete järele võib pärast parandusi teha ehk nõndanimetatud nurkade sentrimist ette võtta. (Selle kohta järgneb kirjeldus.)

Esimese punkti juures, s. o. baasi otsal, mõõdetakse peale

nurkade ka geograafiline asimuut, kas päikese või taevatähtede järele. Selle asimuudi järele arvutatakse kõikide teiste sihtide direktsionaalsed nurgad (ehk sihitusnurgad. — Richtungs-Winkel). Direktsionaalse nurga üheks küljeks on antud joon, kuna teiseks küljeks on joon, mis paralleelne esimeses punktis võetud meridiaanile. Säärane nurga mõiste on tarvitusele võetud sellepärast, et triangulatsiooni juures suuremate maa-alade tõttu meridiaane omavahel paralleelseks arvata oleks ekslik.

Peale nurkade mõõtmist asutakse kameraaltööle. Esimeses järjekorras valmistatakse suuremas mõõdus ($^1/_{10\,000}$ kuni $^1/_{50\,000}$ nõnda, et kõik punktid peale mahuksid) üldine skeem kolmnurkade asukohtade kohta, kus jooned transportiiriga tõmmatakse vastavalt mõõdetud nurkadele. Baas märgitakse paksu joonega. Kolmnurgad, kus kõik kolm nurka mõõdetud — peente sirgjoontega, kolmnurkades, kus kõigest 2 nurka mõõdetud — märgitakse vastavad sihid poolest saadik punktiiriga. Punktiirilõikega tekitatud punkt määratakse ristlõike meetodi järele. Saadud joonestusel tehakse lõplik △ valik ja määratakse arvutamise järjekord.



318. joon.

Selle järele toimub nurkade sentrimine, s. o. paranduste arvutamine juhtumitel, kui teodoliiti ei olnud võimalik täpselt kolmnurga tippu üles seada.

Peale sentrimist võetakse ette võrgu õiendamine ehk vigade tasandamine. Võrgu õiendamise all tuleb mõista säärase kogu paranduste arvutamist, millede arvestamisega võrk kõikidele geomeetrilistele tingimustele vastaks, nii nurkade kui ka külgede suhtes.

Nõuded nurkade suhtes: Igas üksikus kolmnurgas peab nurkade summa olema 180°, kolmnurkade tekitatud polügoonis aga 180°(n—2).

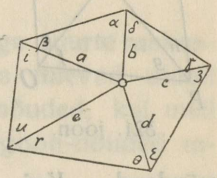
Baasi nõude suhtes tekib küsimus siis, kui peale ha-

riliku baasi b veel kontrollbaas b_1 mõõdetud. On olemas (318. joon.):

$$b : a = \sin\alpha : \sin\beta$$
$$a : a_1 = \sin\alpha_1 : \sin\beta_1$$
$$a_1 : a_2 = \sin\alpha_2 : \sin\beta_2$$
$$a_2 : a_3 = \sin\alpha_3 : \sin\beta_3$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$a_6 : a_7 = \sin\alpha_7 : \sin\beta_7$$
$$a_7 : b_1 = \sin\alpha_8 : \sin\beta_8$$

Neid baase üksteisega korrutades saame

$$\frac{b.a.a_1.a_2.a_3.a_4a_5a_6.a_7}{a.a_1.a_2.a_3.a_4.a_5.a_6.a_5.b_1} = \frac{\sin\alpha\sin\alpha_1\sin\alpha_2 \ldots \sin\alpha_8}{\sin\beta\sin\beta_1.\sin\beta_2 \ldots \sin\beta_8};$$



319. joon.

logaritmides saame: $\lg b - \lg b_1 = \Sigma\lg\alpha - \Sigma\lg\beta$ ehk

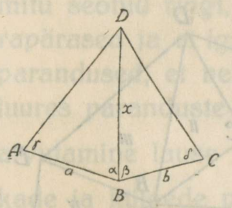
$$\Sigma\lg\alpha - \Sigma\lg\beta - \lg b + \lg b_1 = 0.$$

Et baasid on mitu korda täpsemalt mõõdetud kui nurgad, siis tuleb b ja b_1 muutmata jätta ja parandusele võtta ainult nurga suurusi.

Polügooni nõuded võib üles seada siis, kui rida kolmnurki sünnitavad mitmenurkse kuju, ühinevad seejuures oma tippudega ühes punktis ja igal kahel kõrvuti asujal on ühine külg (319. joon.). Säärasel korral on õige lause:

$$\lg\sin\alpha + \lg\sin\gamma + \lg\sin\varepsilon + \lg\sin\eta + \\ + \lg\sin\iota - \lg\sin\beta - \\ - \lg\sin\delta - \lg\sin\tau - \lg\sin\theta - \lg\sin\mu = 0,$$

mille me saaksime, kui võtaksime lause $\frac{a.b.c.d.e}{b.c.d.e.a} = 1$, mis alati õige ja seaks külgede suhte asemele sin suhted.



320. joon.

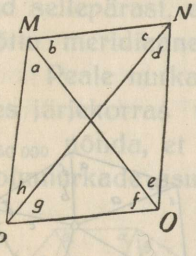
Ristlõigete juures, kui määratavale punktile D-le on tehtud kolmest kohast vaatlused, saame nõude (320. joon.): $\lg\sin\gamma + \lg\sin(\beta+\delta) - \lg\sin(\alpha+\gamma) - \lg\sin\delta + \lg a - \lg b = 0$.

Tõenduseks $\frac{x}{a} = \frac{\sin\gamma}{\sin[180^0-(\alpha+\gamma)]}$ ja $\frac{x}{b} = \frac{\sin\delta}{\sin[180^0-(\beta+\delta)]}$

$$x = \frac{a\sin\gamma}{\sin[180^0-(\alpha+\gamma)]} \quad x = \frac{b\sin\delta}{\sin[180^0-(\beta+\delta)]}; \quad \frac{a\sin\gamma}{\sin(\alpha+\gamma)} = \frac{b\sin\delta}{\sin(\beta+\delta)};$$

$\frac{a \sin\gamma \sin(\beta+\delta)}{b \sin(\alpha+\gamma) \sin\delta} = 1$, kus logaritmides saame: $\lg a + \lg \sin\gamma + \lg \sin(\beta+\delta) - \lg b - \lg \sin(\alpha+\gamma) - \lg \sin\delta = 0$.

Kui lause ei võrduks 0-ga, siis võib parandada üksikult nurga suurused α, β, γ ja δ, kuid nõnda, et nurgad $\alpha+\beta$ summas ei muutuks, vaid võrduksid endiselt teiste eelmiste kolmnurkadega seotud nurga B-ga. Ka külgi a ja b ei või ristlõike arvutamisel enam parandada.

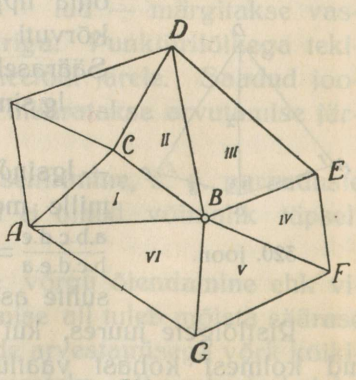


321. joon.

Diagonaali nõuete suhtes on (321. joon.):

$\lg \sin C + \lg \sin(f+e) + \lg \sin a - \lg \sin(a+b) - \lg \sin d - \lg \sin f = 0$.

Tõepoolest on: $\frac{MP}{PN} : \frac{PN}{OP} : \frac{OP}{NP} = 1$, mis on alati õige, sest lause pahempoolses osas on murru nimetaja ja lugeja omavahel võrdsed. Kui joonte suhte asemele võtta vastasolevate nurkade sin suhte, silmas pidades, et $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$ ehk $\frac{a}{b} = \frac{\sin A}{\sin B}$ j.n.e., saame $\frac{\sin c}{\sin(a+b)} \cdot \frac{\sin(f+e)}{\sin d} \cdot \frac{\sin a}{\sin f} = 1$ ehk logaritmides: $\lg \sin c + \lg \sin(f+e) + \lg \sin a - \lg \sin(a+b) - \lg \sin d - \lg \sin f = 0$.



322. joon.

Ringi nõuded tekivad siis, kui me △ arvutamisel moodustame neist seotud ringi, kus me lõpuks määratava punktiga kontrolliks uuesti alguspunkti määrame (322. joon.). Kui esimese antud punkti koordinaadid võrduvad lõpuks, reast △ läbi minnes sellesama punkti arvutatud koordinaatidega, siis on tingimus täidetud. Näiteks: kui AB on kindel joon (baas või mõni suurema võrgu joon) ja punktide A ja B koordinaadid muutumatud suurused, siis arvutame I △ ACB punkti C koordinaadid, siis II △ C ja B järele punkt D; siis III △

D ja B järele E; IV △B ja E järele F; V △B ja F järele G ja VI △ kontrolliks B ja G järele uuesti A.

Arvutamisil saadud punkti A koordinaadid peavad võrduma punkt A kohta antud koordinaatidega. Kui nurkade suurused oleksid absoluutselt täpselt arvutatud, siis oleksid ülemal ettetoodud laiused ka alati õiged olnud, see on, viga oleks nulliga võrdunud. Tegelikult võrdub aga nii baasi kui ka diagonaalide ja polügooni lause kõrvalekaldumine △b või △d-ga. Saadud kõrvalekaldumine peab üksikute nurkade vahel nõnda ära jaotatama, et tehtud paranduste abil nurgad kõigile nõudeile vastaksid.

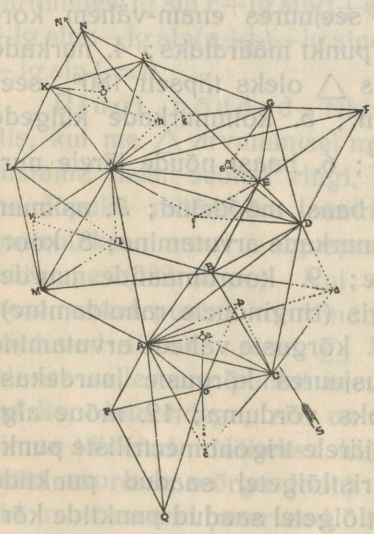
Säärane paranduste tegemine on aga õige suurte raskustega seotud. Detailse triangulatsiooni juures tulevad ainult nurkade ja ringi nõuded täita, või ka baasi nõuded, kui meil kahe joone pikkus teada. Diagonaal- ja polügoon-nõuded rahuldatakse ainult esimese järgu võrgus.

Kameraaltööde järjekord detailse triangulatsiooni puhul on: 1. manuaalide ümbertöötamine ja nurkade arvutamine täpsusega 1 minut; 2. üldplaani valmistamine kolmnurkadest transportiiri abil; 3. kolmnurkade valik, et nad sünnitaksid ühe või mitu seotud ringi, et nad oleksid seejuures enam-vähem korrapärased ja et igas △-s üks uus punkt määrataks; 4. nurkade parandused, et nende summa igas △ oleks täpselt 180^0, seejuures paranduste täpsus 0, 1 min.; 5. kolmnurkade külgede arvutamine lause järele $b = \frac{a \sin \beta}{\sin \alpha}$; 6. baasi nõude järele nurkade ja külgede parandus, kui 2 baasi mõõdetud; 7. asimuutide ehk õigem direktsionaalsete nurkade arvutamine; 8. koordinaatide juurdekasvu määramine; 9. koordinaatide juurdekasvude parandamine seotud ringis (ringinõuete rahuldamine); 10. koordinaatide arvutamine; 11. kõrguste vahede arvutamine eraldi igas △ iga külje kohta, kusjuures kõrguste juurdekasvude summa igas △ nulliga peaks võrduma; 12. mõne algpunkti antud absoluutse kõrguse järele trigonomeetriliste punktide kõrguste määramine; 13. ristlõigetel saadud punktide koordinaatide arvutamine; 14. ristlõigetel saadud punktide kõrguste arvutamine.

Näiteid (on võetud prof. Pomerantsev'i loengute järele).

Manuaali kuju.

Vaatluste järjekord	Vaadeldava asja nimetus	I pikksilma seis vern. $^1/_2$	II pikksilma seis vern $^1/_2$	I — II (kahekordne kollimats. viga	$^1/_2$ (I + II)	Nurgad	Märkused Keskmised mitmekordsed vaatlus.
		2. juunil 1923. Vaatepunkt A-st.					
	P	0° 45′ 22° 37′	180° 44′ 39′	— 0′,5	0° 41′,2		
I	h	148° 6′ 0′	228° 5′ 0′	+ 0′,5	148° 2′,7	147° 21′,5	
	P	199° 35′ 50′	19° 38′ 30′	— 1′,5	199° 33′,2	51° 30′,5	
	S	224° 27′ 23′	44° 30′ 23′	— 0′,5	224° 26′,2	24° 53′	
	P	0° 45′ 37′	0° 44′ 39′	— 0′,5			
II	P	—	—	—			



Võrgu ülestähendamine transportiiri abil.

Kolmnurkade valik.

325. joon.

Kolmnurk. nr. nr.	Kolmnurga nimetus	Alus	Määratav punkt	Kolmnurk. nr. nr.	Kolmnurga nimetus	Alus	Määratav punkt
1	ABC	baas AB	C	9	IKL	IK	L
2	BCD	BC	D	10	ILM	IL	M
3	BDE	BD	E	11	IMA	IM	A
4	EDF	ED	F	12	MAB	MA	B
5	EFG	EF	G	13	KHN	HK	N
6	EGI	EG	I	14	ACO	AC	O
7	GIH	GI	H	15	AOP	AO	P
8	IHK	IH	K	16	POQ	PO	Q

Kolmnurgad 1—11 moodustavad ringi, kolmnurgad 11 ja 12 on kontrolliks, et ringi nõudeid teostada. Peale ringi on kaks kõrvalrida, nimelt esimene — △ B üksinda ja teine rida 14, 15 ja 16 kolmnurgad.

Kolmnurkade arvutamine.

Kolmnurk. nr. nr.	Nurga nim.	Nurga suurus, mõõtmise järele	Parandus	Parandatud nurk	Nurga sin log	Vastava külje nim.	Vastasolev a külje log	Märkused	
Baas AB = 617,61 meetrit (log = 2,79072)									
1	C	53°18′,9	+ 0′,1	53°19′,0	$\bar{1}$,90415	AB	2,79072	CB	CA
	B	66°38′,4	+ 0′,2	66°38′,6	$\bar{1}$,96287	CA	2,84944	2,79072	2,79072
	A	60° 2′,2	+ 0′,2	60° 2′,4	$\bar{1}$,93771	CB	2,82428	$\bar{1}$,93771	$\bar{1}$,96287
		179°59′,5						0,09585	0,09585
		+ 0,5						2,82428	2,84944
2	D	43°10′,2	— 0′,6	43° 9′,6	$\bar{1}$,83508	CB	2,82428	BD	CD
	B	97°50′,4	— 0′,6	97°49′,8	$\bar{1}$,99593	DC	2,98513	2,82428	2,82428
	C	39° 1′,2	— 0′,6	39° 0′,6	$\bar{1}$,79897	BD	2,78817	$\bar{1}$,79897	$\bar{1}$,99593
		180° 1′,8						0,16492	0,16492
		— 18						2,78817	2,98513

I kolmn. $BC = \text{baas.}\frac{\sin A}{\sin C}$; $AC = \text{baas.}\frac{\sin B}{\sin C}$;

II kolmn. $BD = \frac{BC \sin C}{\sin D}$; $CD = \frac{BC \sin B}{\sin D}$.

Nurkade parandusel jaotatakse viga ühetasa nurkade vahel, kuid täpsusest 0,1 minutit detailse triangulatsiooni juures üle astuda ei ole tarvis. Et küljed ainult koordinaatide juurdekasvude arvutamiseks tarvilikud, siis on üksnes nende logaritmide arvutamisega tegemist, kuna külgede eneste pikkused ainult erikordadel arvutatakse.

Direktsionaalsete nurkade arvutamine (vaat. △ asetus)

Asimuut B⟶A . . .	253°14′,7	Direkts. C⟶B . . .	6°36′,1
∠ ABC (△ 1) . . .	66°38′,6	∠ BCD (△ 2) . . .	39° 0′,7
Direkts. B⟶C . . .	186°36′,1	Direkts. C⟶D . . .	45°36′,8
∠ CBD (△ 2) . . .	97°49′,8		
Direkts. B⟶D . . .	88°46′,3	Direkts. D⟶B . . .	268°46′,3
∠ EBD (△ 3) . . .	32°25′,3	∠ BDE (△ 3) . . .	78°52′,6
Direkts. B⟶E . . .	56°21′	Direkts. D⟶E . . .	347°38′,9

Koordinaatide juurdekasvu arvutamine:

	±	BA	±	BC	±	BD	±	BC	j. n. e.
lg cosz	—	$\bar{1}$,45982	—	$\bar{1}$,99711	+	$\bar{1}$,33115	+	$\bar{1}$,74360	
lgd	+	2,79072	+	2,82428	+	2,78817	+	2,81065	
lg sinz	—	$\bar{1}$,93116	—	$\bar{1}$,06057	+	$\bar{1}$,99990	+	$\bar{1}$,92035	
lg△x	—	2,25054	—	2,82139	+	1,11932	+	2,55425	
lg△y	—	2,77188	—	1,88485	+	2,78807	+	2,73100	
△x	—	178,05	—	612,81	+	13,16	+	358,30	
△y	—	591,40	—	76,71	+	513,86	+	588,27	

Kui △-gad moodustavad seotud ringi, näiteks △ ABC, BCD, BDE, EDF, EFG, EGI, GIH, IHK, IKL, ILM, IMA ja MAB, kusjuures viimastest kahest △ IMA määrab kontrolliks uuesti punkt A suuruse ja △ MAB punkt B suuruse ja kui algussuurused olid X_A ja Y_A, siis peab teiste △-ade kaudu saama needsamad x_A ja y_A, ehk $\Sigma\Delta x$ ja $\Sigma\Delta y = 0$. Kui aga vahed on $\Sigma\Delta x = \delta x$ ja $\Sigma\Delta y = \delta y$ ja niisama punkt B kohta algus-

suuruse ja △ kaudu saadud ümberarvutamistel $\Sigma\Delta x = \delta^1 x$ ja $\Sigma\Delta y = \delta^1 y$, siis on tarvis esimene viga kaotada punktide C, D, F, E ja I vahel ja teine viga punktide M, L, K, H ja G vahel. Ehk teiste sõnadega öeldes: me kujutame esiti seotud ringi (polügooni) ACDFEIA ja teeme koordinaatide juurdekasvudes parandused, nagu piiripunktide koordinaatide juures.

Siinjuures on punkt A koordinaadid arvatud muutumatuiks suurusiks. Teine polügoon on lahtine punktide F ja B vahel üle GHKLM. Siin kujutleme esimese polügooni järele arvatud suurust F muutumatuks, niisama ka koordinaatide suurusi punkt B kohta, ja teeme juurdekasvude parandusi kõikide vahepealsete joonte kohta.

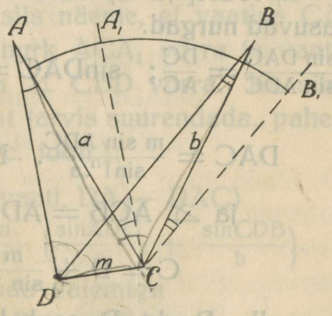
Kui △-ad asuvad osalt üksikult, siis peab vaatama, et igas kolmnurgas külgede juurdekasvude summa koordinaatide telgede järele võrduks nulliga. (Kuid peab meeles pidama, et siin juurdekasvud üldpolügooni ümberkäimise suunas tulevad võtta.)

Kui koordinaatide juurdekasvud on parandatud, siis võib koordinaadid arvutada.

Punktide kõrguste arvutamine merepinnast sünnib, nagu seda tahhimeetrilise loodimise juures eelpool kirjeldatud. Selleks peab aga kas baasi juures või mõnes muus punktis võrk enne kindlaks määratud kõrgusega seotama.

Jaama või aparaadi seisu sentrimine.

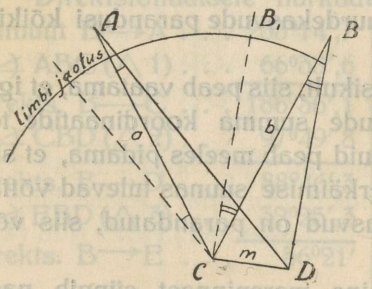
Juhtumil, kui teodoliiti ei saa punkt C kohale üles seada, tuleb aparaat punkti lähedale asetada, kuhugi teise punkti D (324. joon.). Selle tõttu ei saa me mõõtmisel mitte tarvismineva nurk ACB suuruse, vaid ∢ ADB suuruse. ∢ ADB järele võib aga ∢ ACB arvutada, kui on teada joonte AC, CB ja DC pikkused, ning peale ∢ ADB ühtlasi veel nurk ADC. Joon DC-d peab mõõdetama õige suure täpsusega (sm-tes, või koguni, kui võimalik, mm-tes).



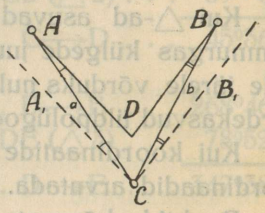
324. joon.

Selle küsimuse lahendamisel vaatame 4 juhtumit:

I. Punkt D asub nii joon AC-st kui ka joon CB-st pahemal pool (324. joon.). Kujutleme mõttes, et punkt D-st aparaat üle tõstetaks punkt C-sse nõnda, et aparaadil punkt D-s saadud suunad vaadatavate asjade peale (DA ja DB) jääksid paralleelseteks endisele seisule, s. o. $\measuredangle A_1CB_1 = \measuredangle ADB$. Siis näeme, et punkt C-st punkt A-le tehtud vaatlus peaks vaatlusest DA $\measuredangle ACA_1$ võrra vähem olema (teodoliidi limbi jaotus läheb peri päikest) ja vaatlus CB vaatlus DB-st $\measuredangle BCB_1$ võrra. Kui



324. a joon.



324. b joon.

punkt D asub mõlemast suunast pahemal pool, siis tuleb mõlemaid vaatlusi vähendada.

Seega $\measuredangle ACB$ = (vaatlus DB − $\measuredangle B_1CB$) − (vaatlus DA − $\measuredangle ACA_1$) = vaatlus DB − vaatlus DA + $\measuredangle ACA_1$ − − $\measuredangle B_1CB = ADB + \measuredangle DAC - \measuredangle DBC$, sest $\measuredangle DAC = \measuredangle ACA_1$ ja $\measuredangle DBC = \measuredangle BCB_1$ kui sisemised risti vastas asuvad nurgad.

$\frac{\sin DAC}{\sin ADC} = \frac{DC}{AC}$; $\sin DAC = \frac{m \sin ADC}{a}$ väikese nurga DAC tõttu on $\sin DAC = \measuredangle DAC \sin 1''$

$DAC = \frac{m \sin ADC}{\sin 1''.a}$. Niisama oleks $DBC = \frac{m \sin BDC}{\sin 1''.b}$

ja $\measuredangle ACB = ADB + \frac{m \sin ADC}{\sin 1'' a} - \frac{m \sin BDC}{\sin 1'' b}$;

$$C = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin ADC}{a} - \frac{\sin BDC}{b}\right).$$

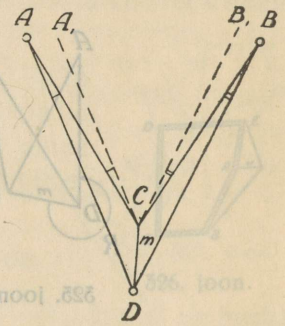
II. Punkt D asub kummastki joonest, AC ja CB, paremal pool (324. a joon.). Mõttes aparaati punkt D-st punkt C-sse

üle kandes, nii et võetud suunad DA ja DB jääksid paralleelseks oma endisele seisule, näeme, et vaatlus CA peaks vaatlus DA-st $\measuredangle A_1CA$ võrra suurem olema ja vaatlus CB vaatlus DB-st $\measuredangle B_1CB$ võrra, — seega, kui punkt on võetud paremale poole jooni, siis tulevad vaatlused suurendada.

$$ACB = (\text{vaatl. } DB + B_1CB) - (\text{vaatl. } DA + A_1CA), \text{ ehk}$$

$$C = D + CBD - CAD = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin BDC}{b} - \frac{\sin ADC}{a}\right).$$

III. Punkt D on võetud joon CA-st paremal ja joon CB-st pahemal pool (324. b joon.). Punkt D-st aparaati üle kandes punkt C-sse leiame, et punkt C-st tehtud vaatlus punkt A peale peaks nurk A_1CA võrra suurem olema kui vaatlus DA ja punkt B-le vaatlus CB peaks vähem olema vaatlusest DB nurk BCB_1 võrra. Seega tuleb paremat kätt oleva joone vaatlus suurendada, pahemat kätt oleva joone vaatlus vähendada.



324. c joon.

C = (vaatlus DB — DBC) — (vaatlus DA + CAD) = (vaatlus DB — vaatlus DA) — DBC — CAD.

$$C = D - \frac{m}{\sin 1''}\left(\sin\frac{BDC}{b} + \sin\frac{ADC}{a}\right).$$

IV. Punkt D asub joon AC-st pahemal ja joon CB-st paremal pool (õigem joonte pikendustest). Kui mõttes aparaati punkt D-st punkt C-sse üle kanda, siis näeme, et vaatlus CA peaks vaatlus DA-st vähem olema nurk ACA_1 võrra ja vaatlus CB vaatlus DB-st suurem olema $\measuredangle$ CBD võrra. Ka siin on paremat kätt oleva joone vaatlust tarvis suurendada, pahemat kätt olevat — vähendada (324. c. joon.):

$$C = (\text{vaatl. } DB + CBD) - (\text{vaatl. } DA - DAC)$$

$$C = D + CBD + DAC = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin ADC}{a} + \frac{\sin CDB}{b}\right).$$

Neid nelja juhust võib kõiki ühtlustada valemiga

$$C = D + \frac{m}{\sin 1''}\left[\frac{\sin(R + D)}{b} - \frac{\sin R}{a}\right],$$

kus R on punkt D juures võetud $\measuredangle$ suunast DC paremale poole kuni suunani DA.

Tõendused.

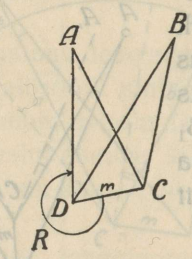
I juhtum (325. joon.).

$$\sin ADC = \sin(360^0 - R) = -\sin R$$

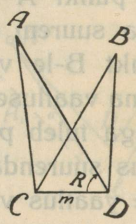
$$\sin BDC = \sin\left[360^0 - (R + D)\right] = -\sin(R + D)$$

$$C = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\sin\frac{ADC}{a} - \sin\frac{BDC}{b}\right) =$$

$$= D + \frac{m}{\sin 1''}\left[\frac{\sin(R + D)}{b} - \frac{\sin R}{a}\right].$$



325. joon.



325. a joon.

II juhtum (325. a joon.).

$$\sin CDA = \sin R$$

$$\sin CDB = \sin(R + D)$$

$$C = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin BDC}{b} - \sin\frac{ADC}{a}\right) =$$

$$= D + \frac{m}{\sin 1''}\left[\frac{\sin(R + D)}{b} - \frac{\sin R}{a}\right].$$

III juhtum (325. b joon.).

$$\sin ADC = \sin R;$$

$$\sin BDC = \sin\left[360^0 - (R + D)\right] = -\sin(R + D);$$

$$C = D - \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin BDC}{b} + \frac{\sin ADC}{a}\right) =$$

$$= D + \frac{m}{\sin 1''}\left[\frac{\sin(R + D)}{b} - \frac{\sin R}{a}\right].$$

IV juhtum (325. c joon.).

$$\sin ADC = \sin(360^0 - R) = -\sin R;$$

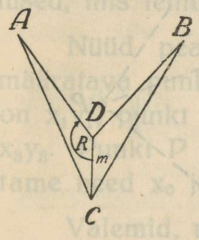
$$\sin BDC = \sin(R + D - 360^0) = \sin(R + D);$$

$$C = D + \frac{m}{\sin 1''}\left(\frac{\sin ADC}{a} + \frac{\sin CDB}{b}\right) =$$

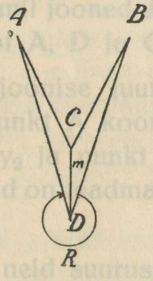
$$= D + \frac{m}{\sin 1''}\left[\frac{\sin(R + D)}{b} - \frac{\sin R}{a}\right].$$

Triangulatsiooni juures, kus pikkusi AC ja CB ei mõõdeta, tuleb neid esialgu $\measuredangle D$ järele arvutada ja siis pärast parandused teha.

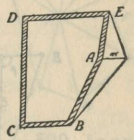
Ülemal ettetoodud valemit võib kasutada mitte üksnes triangulatsiooni juures, vaid ka harilikul polügoonkäigul, näi-



325. b joon.



325. c joon.



326. joon.

teks, kui tuleb üles võtta kivimüür või hekiga ümbritsetud aed (326. joon.).

Siin võib aparaati igas punktis väljapoole üles seada ja siis paranduste abil sisenurki mõõta.

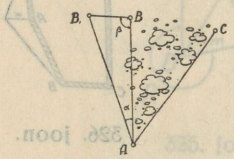
Metsas, kus piirjoon võsa või okstega kaetud ja naabruses olev põld, heinamaa või karjamaa lage, võib aparaadi seada väljapoole nurka, nurgad D ja R mõõta ja ka joon m, kuna a ja b harilikult mõõdetakse.

Signaali sentrimine.

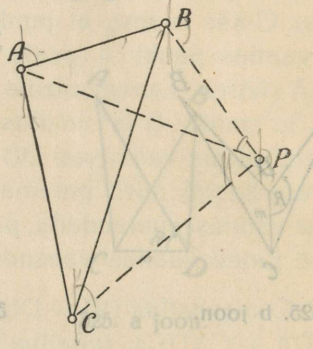
Jaam või teodoliidi asukoht on punkt A, kust punkt C on näha, punkt B aga mitte. Küll on näha punkt B läheduses asuv punkt B_1. Punkt B_1-st on näha B ja A. Mõõtes $\measuredangle B_1AC$, võib seda vähendada $\measuredangle B_1AB$ võrra, mille suuruse saame järgmiselt (327. joon.): $\frac{\sin B_1AB}{m} = \frac{\sin BB_1A}{AB}$; $\sin B_1AB =$

$= m \frac{\sin BB_1A}{AB}$; väikse nurga tõttu võib võtta $\measuredangle B_1AB \sin 1'' =$
$= m \frac{\sin BB_1A}{AB}$; $B_1AB = m \frac{\sin BB_1A}{\sin 1'' AB}$; $BAC = B_1AC - m \frac{\sin BB_1A}{\sin 1'' AB}$

Seda valemit võib tarvitada ka metsas piiri mõõtmisel kui üks siht on kinni kasvanud ja võimalik ei ole ajapuudusel teda kohe lahti raiuda, kuna naabermaa on lage heinamaa. Juhtumil, kui joon AB mõõtmist võimatu teostada, tuleb joon AB_1 mõõta ja tema pikkus arvata joon AB pikkuseks, kui mõlemad $\measuredangle BB_1A$ ja B_1BA on ligikaudu 90^0. On see aga



327. joon.



328. joon.

teisiti, $\measuredangle B_1$ on märksa suurem või vähem $\measuredangle B$-st ja kaldub mitme kraadi võrra kõrvale 90^0-st, siis võib $\measuredangle B_1AB$ arvutada järgmiselt:

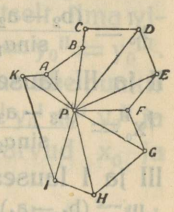
$\frac{tg(\beta - \alpha)}{ctgB_1} = \frac{AB_1 - m}{AB_1 + m}$ ja $\beta + \alpha = 180^0 - \beta_1$, kus $\beta = B_1BA$; $\alpha =$
$= B_1AB$ ja $\beta_1 = BB_1A$.

Ettepoole võetud ristlõigete arvutamine.

Kui on teada kolme punkti A, B ja C (328. joon.) koordinaadid ja on tarvis teada punkt P koordinaadid, mille peale ülemalnim. punktidest vaatlusi tehtud, siis võib siin P koordinaadid arvutada $\triangle$ ABP ja $\triangle$ ACB abil, kusjuures punkt P-s asuvad nurgad punktide B, A ja C juures mõõdetud nurkade järele arvutatakse, kuid see arvutamine ei ole küllalt täpne.

Õigem on punkt P arvutamist toimetada, nagu allpool järgneb:

Säärane arvutamisviis on ühtlasi tarvitusel ka polügoonimeetrilise võrgu täiendamisel sisemiste toetuspunktidega. Nimelt, kui polügooni AB . . . . JK ümberkäimisel on tehtud sisemisele toetuspunktile P (329. joon.) rida vaatlusi, siis tarvis neist vaatlustest kõrvaldada kõik need, mis lähevad ligikaudu meridiaani suunas, näit. BP, HP, CB, sest nende tarvitamisel tekivad cos-logaritmides liiga suured vead. Ka liiga teravaid nurki sünnitavad suunad tarvis kõrvaldada. Kõige soovitavamad oleksid antud juhtumil jooned AP, DP ja GP, ehk vaatlused, mis tehtud punktidest A, D ja G.



329. joon.

Nüüd peatame 328. joonise juures ACB määratava punktiga P. Punkt A koordinaadid on x_1y_1, punkt B omad x_2y_2 ja punkt C omad x_3y_3. Punkt P koordinaadid on teadmata, tähistame need x_0 ja y_0-ga.

Valemid, mis seovad neid suurusi, on:

$tg\alpha_1 = \frac{y_0-y_1}{x_0-x_1}$; $tg\alpha_2 = \frac{y_0-y_2}{x_0-x_2}$; ja $tg\alpha_3 = \frac{y_0-y_3}{x_0-x_3}$, kus α_1 on punkt A-st punkt P-le võetud asimuut, α_2 on asimuut B $\longrightarrow$ P ja α_3 on asimuut C $\longrightarrow$ P. (Need saame lauseist: $y_0-y_1 = \Delta y = d\sin\alpha$; $x_0-x_1 = \Delta x = d\cos\alpha$. Kui esimest lauset jagada teisega, saame $\frac{y_0-y_1}{x_0-x_1} = \frac{d\sin\alpha}{d\cos\alpha} = tg\alpha$). Neist kolmest lausest järgneb:

$$\left.\begin{aligned} x_0\sin\alpha_1 - x_1\sin\alpha_1 &= y_0\cos\alpha_1 - y_1\cos\alpha_1 \\ x_0\sin\alpha_2 - x_2\sin\alpha_2 &= y_0\cos\alpha_2 - y_2\cos\alpha_2 \\ x_0\sin\alpha_3 - x_3\sin\alpha_3 &= y_0\cos\alpha_3 - y_3\cos\alpha_3 \end{aligned}\right\}$$

ehk tundmatuid suurusi vasakule üle kandes saame:

(I) $x_0\sin\alpha_1 - y_0\cos\alpha_1 = x_1\sin\alpha_1 - y_1\cos\alpha_1$
(II) $x_0\sin\alpha_2 - y_0\cos\alpha_2 = x_2\sin\alpha_2 - y_2\cos\alpha_2$
(III) $x_0\sin\alpha_3 - y_0\cos\alpha_3 = x_3\sin\alpha_3 - y_3\cos\alpha_3$

Kolm viimast lauset annavad arvutamisel õ suurust x_0 ja õ suurust y_0 kohta, milledest teatud seaduste järele tuleb võtta keskmised. Arvutamisel kaotame esiti y_0, lauseid paariviisi

grupeerides, y_0 koeffitsiente võrdseteks tehes ja üht lauset teisest lahutades.

$$x_0 \sin\alpha_1 \cos\alpha_2 - y_0 \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 = x_1 \sin\alpha_1 \cos\alpha_2 - y_1 \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 ;$$

$$-x_0 \sin\alpha_2 \cos\alpha_1 + y_0 \cos\alpha_2 \cos\alpha_1 = -x_2 \sin\alpha_2 \cos\alpha_1 + y_2 \cos\alpha_2 \cos\alpha_1$$

$$x_0(\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2\cos\alpha_1) = x_1\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - y_1\cos\alpha_1\cos\alpha_2 - x_2\sin\alpha_2\cos\alpha_1 + y_2\cos\alpha_2\cos\alpha_1$$

$$x_0 = \frac{x_1\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - y_1\cos\alpha_1\cos\alpha_2 - x_2\sin\alpha_2\cos\alpha_1 + y_2\cos\alpha_2\cos\alpha_1}{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2\cos\alpha_1}.$$

Seda võib arvutada, kuid on soovitav anda valemile teine kuju. Kui tähendame $x \sin\alpha = a$ ja $y \cos\alpha = b$, siis on:

$$x = \frac{a_1\cos\alpha_2 - b_1\cos\alpha_2 - a_2\cos\alpha_1 + b_2\cos\alpha_1}{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2\cos\alpha_1};$$

ümber grupeerides saame:

$$x_0^{I} = \frac{(b_2 - a_2)\cos\alpha_1 - (b_1 - a_1)\cos\alpha_2}{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2\cos\alpha_1} = \frac{(b_2 - a_2)\cos\alpha_1 - (b_1 - a_1)\cos\alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}.$$

II ja III lausest saame analoogiliselt:

$$x_0^{II} = \frac{(b_3 - a_3)\cos\alpha_2 - (b_2 - a_2)\cos\alpha_3}{\sin\alpha_2\cos\alpha_3 - \sin\alpha_3\cos\alpha_2} = \frac{(b_3 - a_3)\cos\alpha_2 - (b_2 - a_2)\cos\alpha_3}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)}.$$

III ja I lausest saame:

$$x_0^{III} = \frac{(b_1 - a_1)\cos\alpha_3 - (b_3 - a_3)\cos\alpha_1}{\sin\alpha_3\cos\alpha_1 - \sin\alpha_1\cos\alpha_3} = \frac{(b_1 - a_1)\cos\alpha_3 - (b_3 - a_3)\cos\alpha_1}{\sin(\alpha_3 - \alpha_1)}.$$

y_0 arvutamisel võtame paariviisi endised lausud ja hävitame x_0, tema koeffitsiente paariviisi võrdseteks tehes.

Näiteks I ja II lause annaksid:

(I) $x_0 \sin\alpha_1 \sin\alpha_2 - y_0\cos\alpha_1 \sin\alpha_2 = x_1\sin\alpha_1 \sin\alpha_2 \sin\alpha_1 - y_1\cos\alpha_1 \sin\alpha_2$,

(II) $-x_0\sin\alpha_2 \sin\alpha_1 + y_0\cos\alpha_2 \sin\alpha_1 = -x_2\sin\alpha_2 \sin\alpha_1 + y_2\cos\alpha_2 \sin\alpha_1$

$$y_0(\cos\alpha_2 \sin\alpha_1 - \cos\alpha_1\sin\alpha_2) = x_1\sin\alpha_1 \sin\alpha_2 - y_1\cos\alpha_1 \sin\alpha_2 - x_2\sin\alpha_2\sin\alpha_1 + y_2\cos\alpha_2\sin\alpha_1.$$

$$y_0^{I} = \frac{a_1\sin\alpha_2 - b_1\sin\alpha_2 - a_2\sin\alpha_1 + b_2\sin\alpha}{\cos\alpha_2 \sin\alpha_1 - \cos\alpha_1 \sin\alpha_2} = \frac{(b_2 - a_2)\sin\alpha_1 - (b_2 - a_1)\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

analoogiliselt $y_0^{II} = \frac{(b_3 - a_3)\sin\alpha_2 - (b_2 - a_2)\sin\alpha_3}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)}$,

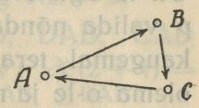
$$y_0^{III} = \frac{(b_1 - a_1)\sin\alpha_3 - (b_3 - a_3)\sin\alpha_1}{\sin(\alpha_3 - \alpha_1)}.$$

Valemid on võrdlemisi lihtsa väljanägemisega. y juures: järgmiste b ja a vahe korrutatud punktile vastava asimuudi sin-ga, miinus punktile vastavate b ja a vahe korrutatud järgmisest punktist võetud asimuudi sin-ga, kõik jagatuna käesoleva ja järgmise asimuutide vahe sin-ga.

Siin peab kujutlema, et punktid sünnitavad ringi.

x juures on valem nõndasamuti ehitatud, kuid lugejas ei korrutata mitte sin, vaid cos-ga. Valemi järele suuruste arvutamine nõuab aga palju vaeva, sest lauseid on võimatu logaritmida, tuleb arvutamist teha osade viisi.

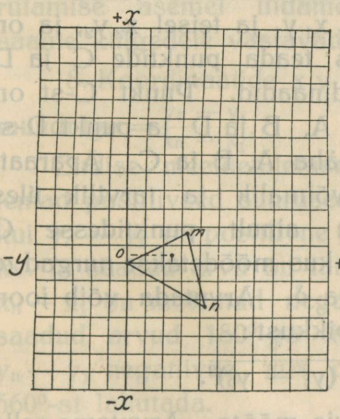
Direktsionaalnurgad α või asimuudid saame järgmiselt: antud asimuudi AB-ga liidame nurk BAP ja saame direktsionaal-$\measuredangle$ α_1 (suuna punkt A⟶P). Antud direktsionaalnurgast B⟶A lahutades $\measuredangle$ ABP, saame direktsionaalnurga B⟶P = α_2. Antud direktsionaalnurga CB-ga liites BCP, saame direktsionaal-$\measuredangle$ C⟶P = α_3.



330. joon.

Oleks nurkade mõõtmisi toimetatud absoluutselt ilma vigadeta, siis oleks $x_0^I = x_0^{II} = x_0^{III}$, niisama ka $y_0^I = y_0^{II} = y_0^{III}$. Tõepoolest sünnib aga alati väike vahe. Me saame ühe punkti asemele kolm P^I, P^{II} ja P^{III} koordinaatidega $x_0^I\ y_0^I\ x_0^{II}\ y_0^{II}$ ja $x_0^{III}\ y_0^{III}$. Arvatavad kõige õigemad keskmised arvud x_0 ja y_0 kohta saame järgmiselt:

Võtame ruudulise või millimeeterpaberi ja valime sellel ordinaatide ja abstsisside teljed XX ja YY. x_0^I ja y_0^I kujutame 0 või viime esimese saadud punkti koordinaatide aluspunkti, tema ordinaati ja abstsissi nende suuruste võrra vähendades (331. joon.). Mõttes võime kujutleda, et abstsisside ja ordinaatide teljed on edasi tõstetud, esimene — x_0^I ja teine — y_0^I võrra. Selle tõttu tulevad ka x_0^{II} ja x_0^{III} vähendada x_{0I} võrra ja y_0^{III} ning y_0^{II} vähendada y_0^I võrra, või teiste sõnadega — tuleb võtta $x_0^{II} - x_0^I$ ja $y_0^{II} - y_{0I}$ ning $x_0^{III} - x_0^I$ ja $y_0^{III} - y_0^I$ ja saadud vahed koordinaatidena peale kanda. Et saadud koordinaatide vahed ühe meetri piirides asuvad, siis võib vigade kolmnurga joonistust suurtes mõõtudes teha $^1/_{100}$ või $^1/_{200}$. Kui kõik paberil saadud 3 punkti omavahel ühendada, siis saame

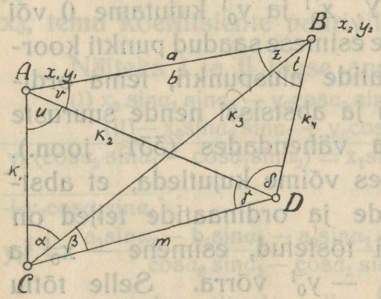


331. joon.

vigade kolmnurga. Kolmnurga külgede suunad: on, mn ja on peavad võrduma ligikaudu α_1, α_2 ja α_3, mis tõenduseks on, et arvutamisel suurt viga ei ole sündinud. Kolmnurga külgede suundi telg ·XX-st tuleb proovida transportiiri abil. Ei ole kooskõla olemas, tuleb arvutamised uuesti läbi vaadata. On ta aga olemas, tuleb keset vigade kolmnurka üks punkt p valida nõnda, et ta asuks lähemal nüri- või täisnurgale ja kaugemal teravnurgast. Meie näite juures peab p lähemal olema o-le ja m-le ja võrdlemisi kaugemal punkt n-st. Saadud punkt p-st perpendikulaare tõmmates XX- ja YY-teljele, saame Δx ja Δy, see on arvatavad punkt P koordinaadid juhtumil, kui koordinaatide teljed on $-x_0^I$ ja $-y_0^I$, võrra edasi nihkunud. Kui aga teljed kujutleda endises seisus, siis on punkt P koordinaadid $\Delta x + x_0^I$ ja $\Delta y + y_0^I$.

Trigonomeetrilise võrgu täiendamine abipunktidega.

Hansen'i võte (332. joon.). Olemas on 2 trigonomeetrilist punkti A ja B, millede koordinaadid teada: esimese $x_1 y_1$ ja teisel $x_2 y_2$, ja on tarvis teada punktide C ja D koordinaadid. Punkt C-st on näha A, B ja D ja punkt D-st on näha A, B ja C. Aparaati on võimalik ja tarvilik üles seada ainult punktidesse C ja D, kus mõõdetakse nurgad α, β, γ ja δ. Arvutada võib joon AB pikkust:



332. joon.

$$a = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}.$$

1. Joon CD pikkust ei ole tarvis mõõta. Arvutame selle esiti mõnesuguseks pikkuseks m (näide 1).

2. Pikkus m-u ja nurkade $(\alpha + \beta)$ ning γ järele võib arvutada $\triangle$ACD, nimelt selle küljed k_1 ja k_2 ning $\measuredangle$CAD = u.

3. Pikkuse m ja $\measuredangle\beta$ ning $\measuredangle(\gamma + \delta)$ järele arvutatakse $\triangle$CBD, nimelt $\measuredangle$CBD = t ja küljed k_3 ja k_4.

4. Saadud pikkuste k_1 ja k_3 järele ning $\measuredangle \alpha$ järele arvutatakse $\triangle$ ABC, nimelt $\measuredangle$ ABC ja $\measuredangle$ CAB, s. o. z ja (u+v) ja külg AB, mille tõeline suurus a meil on teada, mis aga arvutamisel annab meile suuruse b.

5. Külgede k_2 ja k_4 ning $\measuredangle \delta$ järele arvutame $\triangle$ DAB: $\measuredangle$ DAB ja $\measuredangle$ ABD, s. o. v ja (z + t) ning külg AB = b.

6. Nüüd tuleb võrrelda kolmnurkade CAB, DAB, CAD CBD elemente: esiti $b = b_1$; $\underset{\triangle ABC}{\measuredangle}(u+v) - \underset{\triangle CAD}{u} + \underset{\triangle DAB}{v}$; $\underset{\triangle DAB}{\measuredangle}(z+t) = z + t$.
$\triangle CAB \quad \triangle CBD$

Kooskõla peab olema, vastasel korral ei ole arvutamine toimunud õieti.

Külgede k_1, k_2, k_3 ja k_4 absoluutseid suurusi ei ole tarvis arvutada, vaid ainult nende logaritmid.

7. Tõelikku suurust a jagades arvutamisel saadud b-ga, saame $\frac{a}{b}$, millega tulevad korrutada kõik küljed k_1, k_2, k_3 ja k_4, et saada tõelikke suurusi AC, AD, BC ja BD jaoks. Korrutamise asemel liidame k logaritmidega ($\lg a - \lg b$), — saame külgedele vastavad tõelikud logaritmid.

8. Koordinaatide x_1y_1 ja x_2y_2 abil arvutame joon AB asimuudi $tg\alpha = \frac{y_n - y_1}{x_n - x_1}$.

Endise meeldetuletuseks: kui $y_n - y_1$ ja $x_n - x_1$ on mõlemad positiivsed suurused, siis asub nurk I kvadrandis $0-90^0$; kui $y_n - y_1$ on positiivne ja $x_n - x_1$ negatiivne, siis asub nurk II kv. ja saadud arvu on tarvis 180^0-st lahutada. Kui $y_n - y_1$ ja $x_n - x_1$ on mõlemad negatiivsed, siis on III kv. ja tarvis on saadud arvud 180^0-ga liita. Kui $x_n - x_1$ on positiivne ja $y_n - y_1$ negatiivne, siis on IV kv. ja on tarvis saadud arv 360^0-st lahutada.

9. Liites joon A⟶B asimuudiga nurk v, saame suund AD asimuudi ehk direktsionaalnurga; dir.-$\measuredangle$ A⟶B liites (v+u), saame dir.-nurga A⟶C suuruse.

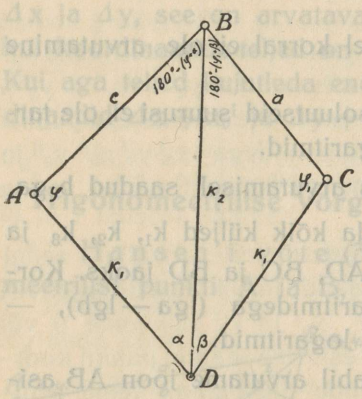
Dir.-nurga A⟶B-ga liites 180^0, saame dir.-nurga B⟶A; lahutades sellest z, saame dir.-nurga B⟶C ja lahutades dir.-nurgast B⟶C nurk t, saame dir.-nurga B⟶D.

10. Arvutatud tõelikkude külgede k pikkuste ja neile vastavate direktsionaalnurkade järele arvutatakse koordinaatide juurdekasvud.

11. Punkt A koordinaatidega x_1y_1 liites k_1 ja k_2-le vastavad Δx ja Δy, saame punktide C ja D koordinaadid.

12. Kontrolliks liidame x_2y_2-ga k_3 ja k_4-le vastavad Δx ning Δy ja saame jällegi C ja D koordinaadid.

Ülemaltähendatud lahendamisviis on võimalik, kui punktid C ja D asuvad ühel pool joon AB-d.



333. joon.

Pⱡotenot'i ülesande lahendamine.

On olemas kolm punkti (333. joon.), mille koordinaadid teada ja mis kõik punkt D-st näha. Punkt D koordinaatide arvutamiseks on tarvis mõõta ainult nurki α ja β. Ülesande lahendamine ei ole võimalik üksnes siis, kui kõik neli punkti ABCD asuvad ühel ringjoonel, mis aga väga harva võiks ette tulla.

Joonte pikkused AB ja BC saame teada valemist

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Joonte AB ja BC dir.-nurgad saame valemist:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Meie ülesanne seisab seega ainult nurkade φ ja φ_1 nurkade teadasaamises. On meil need teada, siis võime kergesti arvutada dir.-nurki A⟶D, B⟶D ja C⟶D ning △ ADB ja CBD külgede AD, BD ja CD pikkusi.

Nurkade φ ja φ_1 arvutamise järjekord:

$$\frac{C}{k_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi}; \quad \frac{a}{k_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \varphi_1}; \quad k_2 = \frac{C \sin \varphi}{\sin \alpha} = \frac{a \sin \varphi_1}{\sin \beta},$$

kust $\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_1} = \frac{a \sin \alpha}{c \sin \beta_1}$; arvutades parempoolset külge tgM, saame

$\frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_1} = \frac{\operatorname{tg} M}{1}$; proportsiooni ümber moodustades:

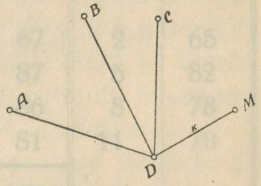
$\frac{\sin\varphi + \sin\varphi_1}{\sin\varphi_1 - \sin\varphi} = \frac{1 + \operatorname{tg} M}{1 - \operatorname{tg} M}$; $\frac{\sin\varphi_1 + \sin\varphi}{\sin\varphi_1 - \sin\varphi} = \operatorname{tg}(45 + M)$, sest $\operatorname{tg} 45^0 = 1$, ja trigonomeetriast teame, et nurkade summa tg on üldine lause.

$\operatorname{tg}(a + b) = \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$ selle tõttu $\operatorname{tg}(45^0 + M) = \frac{\operatorname{tg} 45^0 + \operatorname{tg} M}{1 - \operatorname{tg} 45^0 \operatorname{tg} M} = \frac{1 + \operatorname{tg} M}{1 - \operatorname{tg} M}$.

Edasi sin summat ja sin vahet ümber moodustades saame

$\frac{2 \sin \frac{\varphi_1 + \varphi}{2} \cos \frac{\varphi_1 - \varphi}{2}}{2 \sin \frac{\varphi_1 - \varphi}{2} \cos \frac{\varphi_1 + \varphi}{2}} = \operatorname{tg}(45^0 + M)$; $\frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 - \varphi}{2}} = \operatorname{tg}(45^0 + M)$;

$\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 - \varphi}{2} = \operatorname{tg} \frac{\varphi_1 + \varphi}{2} \operatorname{ctg}(45^0 + M)$. Suurust $\operatorname{ctg}(45^0 + M)$ on võimalik arvutada; ka suurust $\operatorname{tg} \frac{\varphi_1 + \varphi}{2}$ on võimalik arvutada, sest $\varphi_1 + \varphi = 360^0 - (\alpha + \beta) - \beta$, kusjuures B on dir.-nurkade B⟶A ja B⟶C vahe. Neid dir.-nurki ehk asimuute arvutatakse aga koordinaatide vahe järele, nagu eelpool nimetatud. Seega annab parempoolne külg arvutada ja me saame $\varphi_1 - \varphi$ suuruse teada, ühtlasi on teada $\varphi_1 + \varphi$, kust me siis üksikult φ_1 ja φ leiame ja $\triangle$ ABD ja $\triangle$ BDC arvutame külgede k_1, k_2 ja k_3 pikkused ning nende juurdekasvud koordinaatide telje järele ja lõpuks ka punkt D koordinaadid.



334. joon.

Hansen'i ja Potenot'i ülesannete lahendust on kasulik tarvitada ka piirimärkide või endiste äralagunenud signaalikohtade ülesotsimisel. Üldse on soovitav, et piiripunktid osaltki oleksid seotud trigonomeetrilise võrguga.

Kui on olemas trigonomeetrilised märgid A, B ja C, millede koordinaadid meil teada, ja on tarvis leida punkt M, mille koordinaadid arvutatud samade koordinaattelgede järele, millede kaudu meil ka A, B ja C on teada. Ligikaudse asukoha võib kaardi järele määrata ja selles raioonis teodoliidi üles

seada kuhugi punkti D nõnda, et punktid A, B ja C oleksid näha punkt D-st (334. joon.). Potenot'i ülesande lahendamisega määrame punkt D koordinaadid; need oleksid x_d ja y_d. Otsitava punkti koordinaadid on teada: x_m ja y_m. Seetõttu M kaugus punkt D-st on $k = \sqrt{(x_m - x_d)^2 + (y_m - y_d)^2}$ ja otsitava joone suund ehk dir.-nurk tg $(D \longrightarrow M) = \frac{y_m - y_d}{x_m - x_d}$.

Arvutatud dir.-nurgast $D \longrightarrow M$ lahutades dir.-nurka $D \longrightarrow C$, saame nurk CDM suuruse.

Nüüd juhime punkt D kohale ülesseatud teodoliidi esiti punkt C-le, teeme vastava vaatluse ω, liidame selle nurk CDM-ga ja juhime pikksilma nõnda, et vernjeeril saaksime vaatluse $(\omega + CDM)$. Selles suunas mõõdame arvutatud suuruse k ja leiame otsitava punkti M.

Lisad.

Näide kuivatuskraavi projekteerimiseks ja muldkeha arvutamiseks ühes siia kuuluvate märkustega.

Kraavi projekteerimine.

Piketi nr.	Jaam	Kaugus m	Vaatlus mm	Vaatejoone kõrgus mm	Relatiivne kõrgus		Projekt-joone kõrgus sm	Kraavi sügavus sm
					mm	sm		
0			2100	2100	0			
0			1428		672	67	2	65
1	I.	40	1230		870	87	5	82
2		40	1236		864	86	8	78
3		40	1292		808	81	11	70
3			1237	2045	—	—		
4	II.	40	1190		855	86	14	72
5		40	1218		827	83	17	66
6		40	1163		882	88	20	68
6		22	1122	2004	—			
6a	III.		973		1031	103	21	82
7		18	1234		770	77	23	54
8		40	1162		842	84	26	58

Märkus: Vaatluste ja relatiivse kõrguse arvutamine on käsitletud lk. 227 ja 228.

Pikett nr. 0_I-ks on võetud vana kraavi põhi, kuhu juhitakse uus projekteeritav kraav. Võrreldes uue kraavi kõrgustega, peab vana kraavi põhi madalamal asuma, ja seepärast võetakse vana kraavi põhja relatiivseks kõrguseks 0. On soo-

vitav, et uue kravi projekteerimiseks selle põhi, pikett nr. 0 kohal, paari sm võrra kõrgem võetaks kui vana kraavi põhi.

Uue kraavi põhja relatiivne kõrgus pikett nr. 0 kohal on seega 2 sm. Siit edasi peab kraavi põhi iga piketi vahel, see on iga 40 m kohta tõusma 3 sm võrra. Seega on kraavi põhja relatiivne kõrgus pikett nr. 1 juures 5 sm, nr. 2 juures 8 sm, nr. 3 juures 11 sm jne.

On meil maapinna, s. o. pikettide eneste relatiivne kõrgus teada ja kraavi põhja relatiivne kõrgus arvestatud, siis saame arvutamise teel kraavi sügavuse, kui maapinna ja kraavi põhja relatiivse kõrguse vahe.

Märkus: Kraavipõhja tõus resp. lang kõigub 0,05 ja 0,1 % vahel, s. o. iga 100 m kauguse kohta tõuseb kraavi põhi vanast kraavist uue suunas vaadates 3—10 sm võrra, mis vastab 2—4 sm suurusele tõusule iga 40 m ehk pikettide vahe kohta. Ühe ja sama kraavi juures peab lang protsentuaalselt arvates esinema võimalust mööda muutumatu suurusena. Vähemal kui 0,05 % suurusel langul on vee ärajooks raskendatud ja kraavid ummistuvad liiga ruttu. Ainult teede kuivatamiseks ehitatud teedeäärsetel kraavidel on vähem lang.

Vee kiirus peakraavis peab olema suurem kui kõrvalkraavides, sest vastasel korral settiks peakraavis kõrvalkraavi kaudu välja uhutav peen liiv ja muda.

Kuivatuskraavides on veekiirus 0,2—1 m sekundis; mida peeneteralisem pinnas, seda vähem peab olema lubatav maksimaalne kiirus. Meie kergetel liivasavistel pinnastel on lubatav kiirus 0,5 m sekundis.

Kraavi muldkeha arvutamisel tuleb teada järgmist:

1) Kraavi läbilõike pind arvutatakse kui trapetsi väli.

2) Kraavi põhja laius (trapetsi alus) kõigub meie kuivatuskraavide juures 0,40—0,60 m. Parvetuskraavidel on see 1—2 m. Põhja laius oleneb kraavi ülesannetest. Kuivatuskraavidel, millede sügavus 1 m ümber, on kõige soodsamaks põhja laiuseks 0,40 m. Vähema laiuse juures ummistuks kraav iga vette langeva oksakese läbi, mis kraavis kergesti risti kinni jääb. Suurema põhjalaiuse juures aga heinastub kraavi põhi.

Muldkeha arvutamine.

Piketi №	Piketide vahe	Kraavi sügavus	Põhja laius	Pealt laius	Ristlõike pind m^2	Mulla kubatuur m^3	Märkusi
	meetrites						
0		0,65	0,40	1,70	0,6825		
	40					33,6580	
1		0,82	0,40	2,04	1,0004		
	40					38,4160	
2		0,78	0,40	1,96	0,9204		
	40					33,8080	
3		0,70	0,40	1,80	0,7700		
	40					31,5280	
4		0,72	0,40	1,84	0,8064		
	40					30,1200	
5		0,66	0,40	1,72	0,6996		
	40					28,6800	
6		0,68	0,40	1,76	0,7344		
	22					19,0828	
6a		0,82	0,40	2,04	1,0004		
	18					13,5720	
7		0,54	0,40	1,48	0,5076		
	40					21,5200	
8		0,58	0,40	1,56	0,5684		
						250,3848	

3) Kraavi külgede ehk pervede kalle määratakse kui suhe pervealuse külje projektsiooni horisontaalsele tasapinnale ja kraavi sügavuse vahel (a : h).

Harilikult võetakse pervekaldealuseks kraavi sügavuse mõõt; säärasel korral on suhe a : h = 1. Kõrgetel liivamaadel tõuseb see suhe 2-ni. Rasketel savimuldadel ja rabades võib see suhe langeda kuni $^2/_3$—$^1/_2$.

4) Kraavi pealtlaius c võrdub kraavi põhja laiusega, millele juurde arvatud kahekordne perve kaldealus

$$c = b + 2a$$

5) Kraavi läbilõike pind võrdub trapetsi pinnaga

$$G = \frac{c+b}{2} h.$$

Harilikult võetakse $h = a$, siis on

$$G = \frac{b+h+h+b}{2} h;$$

$$G = (b + h) h.$$

6. Muldkeha maht arvutatakse iga piketi vahe kohta eraldi

$$M_1 = \frac{G_0 + G_1}{2} \cdot l_1$$

$$M_2 = \frac{G_1 + G_2}{2} \cdot l_2$$

Kui pikettide vahe l on kogu ulatuses üks ja sama suurus (40 m), siis on

$$M = (G_{\frac{0}{2}} + G_1 + G_2 \ldots + G_{n-1} + G_{\frac{n}{2}}) \cdot l$$

Kui aga on olemas abipikett, siis tuleb peapikettide järele eelmise valemi abil arvutatud maht parandada. Näiteks, kui on pikett nr. 6 ja 7 vahel abipikett 6a, mille kohal kraavi läbilõike pind G_α, siis on parandus

$$\Delta m = \frac{1}{2} [G_\alpha \cdot l - G_6 (l - l_1) - G_7 (l - l_2)],$$

kus l_1 on kaugus pikett 6 ja 6a vahel, ja l_2 kaugus pikett 6a ja 7 vahel.

Üldine muldkeha maht on seega

$$M = M_1 + \Delta m,$$

kus M_1 on peapikettide järele arvutatud muldkeha.

Üleval ettetoodud näite juures on

$$M = (0{,}34125 + 1{,}0004 + 0{,}9204 + 0{,}7700 + 0{,}8064 + + 0{,}6996 + 0{,}7344 + 0{,}5076 + 0{,}2842)\, 40 + \frac{1}{2} (1{,}0004 \cdot 40 - - 0{,}7344 \cdot 18 - 0{,}5076 \cdot 22) = 250{,}3848 \text{ m}^3.$$

Kui kahe teineteisele järgneva peapiketi m ja n vahel on rohkem kui üks abipikett, millede läbilõike pinnad on G_α, G_β ja G_γ ja pikettide vahed l_1, l_2 ja l_3, kus $l_1 + l_2 + l_3 = l$, siis on parandus

$$\Delta m = \frac{G_m + G}{2} \cdot l_1 + \frac{G_\alpha + G_\beta}{2} \cdot l_2 + \frac{G_\beta + G_\gamma}{2} \cdot l_3 - \frac{G_m + G_n}{2} \cdot l.$$

Siin käsitletud valemite tarvitamist tuleb soovitada kui kontrollvõtet kraavi muldkeha arvutamisel.

Mullatööde arvutamiseks on tööde normide määrustiku (Урочное положение), § 30 antud normid, mis siin meetrimõõdule ligikaudselt ümber arvutatud.

Kraavide kaevamisel, millede sügavus kuni 1,5 m ja pealtlaius vähemalt 1,5 m, läheb muldkeha iga kantmeetri väljatõstmiseks:

a) Kobedal või liivasel pinnasel 0,10 tööpäeva

b) Mättaga kaetud või kerge kruusaseguga pinnasel 0,15—0,20 tööpäeva.

Märkus: Siia kuulub ka prügi ja laastudega segatud pinnas.

c) Tiheda kiltsavi, raske kruusa, kändudega kaetud ja juurtega läbikasvanud turba- või muudel pinnastel, mis osalt kõblaste ja kirvestega lahutatav, 0,30—0,40 tööpäeva.

d) Kõvaks kuivanud savi-, põllukivirikkal kruusa- ja külmunud pinnasel, mis kangide ja kõblaste abil lahutatav, 0,50—0,60 tööpäeva.

Harilikkude metsa kuivatuskraavide kaevamine maksab à 30—40 snt. kantmeeter.

Vabariigi Valitsuse poolt 21. oktoobril 1927. a. vastu võetud

Maamõõtmise ja maakatastri plaanide valmistamise juhtnöörid.

1. Maakatastri plaanide valmistamiseks maakorralduse, hindamise ja kinnistamise otstarbel tehtavad maamõõdu tööd jagunevad osadesse:

a) piiride märkimine ja mõõtmine,

b) situatsiooni mõõtmine,

c) mõõduandmete ümbertöötamine, plaanile kandmine ja plaani valmistamine.

Raudteedele võõrandatavad maa-alad mõõdetakse ja valmistatakse katastriplaanid teedeministeeriumi poolt kinnitatud juhtnööride järgi.

Piiride märkimine ja mõõtmine.

2. Piirimaade märkimise ja mõõtmise juurde kutsutakse piirimaade omanikud või valdajad. Nende mitteilmumine ei takista piiride mõõtmist ja märkimist.

3. Olemasolevate piiride mõõtmisel jäetakse puutumata koha peal olevad kinnistatud üksuste ristikivid ja peale selle ka mittetäpsel planeerimisel pandud ristikivid, kui viimased vastavad maakorralduse seaduse („R. T." nr. 23 — 1926 a.) § 30 lisa nõuetele või kui ristikiviks on suur looduslik kivi. Vastasel korral uuendatakse piirimärgid ülemaltähendatud seaduse kohaselt.

Märkus 1. On eelmisel mittetäpsel planeerimisel endise ringpiiri õigel joonel vahe-piirimärgid asetatud õigest joonest kõrvale üle 25 sm, tuleb neid piirijoonele ümber paigutada nii, et planeerimisel loodud vahejooned ei muutuks.

Märkus 2. Liidetavate üksuste sisepiirid tähistatakse ajutiste piirimärkidega.

4. Endiste puupostide asemele pannakse igal võimalusel ristikivid või betoonmärgid:

Iga maatüki ringpiirile peab võimalust mööda paigutama kaks ristikivi või betoonmärki.

Betoon-piirimärgi kuju on neljatahuline tüvipüramiid, mille alumine pind on 50×50 sm, ülemine pind — 30×30 sm ja kõrgus 40 sm. Märgi sees on raudtraadist karkass ja ülemise pinna keskkohast läheb märgi sisse vähemalt 20 sm pikkune raudpulk või jäme nael, mille ülemine ots oleks pinnaga tasa. Betoonmärk püstitatakse maasse niisama nagu ristikivi.

Märkus. Erilistel juhtumistel, näiteks raudtee riba mõõtmisel, alevikkude ehitusplatside piiritamisel, võib tarvitada ka teisi vastupidavaid piirimärke rauast, malmist jne., mis plaanile ära märgitakse.

5. On piiril sirgjoon üle 750 m pikk, asetatakse vahepeal seaduslikud piirimärgid nii, et iga 500 meetri peale tuleks vähemalt üks märk. Mägisel maal asetatakse piirimärgid nii lähestikku, et ühe märgi juurde püstitatud 4 meetri pikkune tähis teise märgi juurest näha oleks.

Märkus. Maakorralduse eeltöödel ei tehta ringpiiri mõõtmisel ülaltähendatud vahemärke, sest et järgneval tükeldamisel võivad pikad piirijooned lühikesteks muutuda. Kuid peale tükeldamiskava loodusse kandmist tuleb see § täita.

6. Ristikivide asetamisel tuleb alati arvestada kivi vajumist, sellepärast tarvis kõval maal kivi ülemine külg 10 sm maapinnast kõrgemale asetada, märjal maal aga kõrgemale ja soomaal tarvis enne kupits valmistada, nii et see vajumise järele umbes 10 sm soopinnast kõrgem oleks, selle sisse asetada ristikivi, nii et ülemine külg vajudes kupitsaga ühetasaseks jääks. Soomaadel lüüakse kupitsa ümber vaiad ja need põimi takse hagudega.

7. Ajutiselt piirimärgilt ei nõuta kindlat kuju, aga ta peab vastama otstarbele. Kui märki väheseks ajaks tarvis on, siis lüüakse tugevasti maa sisse vähemalt 8 sm jämedune puuvai ja tehakse selle juurde maa sisse märgid, mis kindlustavad vaia koha leidmist selle kadumisel. Ku märk pikemat aega peab kestma, tuleb ta teha suurem ja varustada kupitsaga. Ajutisele piirimärgile võib anda ka kindla piirimärgi kuju, kui oodata on, et ta kinnitamise järele kindlaks piirimärgiks muutub.

8. On piiriks kiviaed, kindel vall või muud sellesarnast, siis pannakse piirimärgid ainult suuremate käänakute peale või käänakute lähedale, üles võttes piiri magistraaljoonte abil.

9. Kui mõnesugused takistused ei võimalda piirinurki teodoliidiga mõõta ja piirimärke asetada (hooned on peale ehitatud), siis pannakse piirimärgid eemale ja piir mõõdetakse magistraaljoonte abil. Tihedalt täis ehitatud kohtades, kus ehitusplatside piirid läbipääsematud, mõõdetakse piirid magistraaljoonte abil, kindlustades piirimärkidega magistraaljoonte käänakud ja asetades iga vaba maaüksuse nurga peale piirimärgi.

10. On piiriks kraav, oja, jõgi ja kindel tee, või läheb piir niisuguseid kohti mööda, kus võimata on piirikäänakutele märke asetada, pannakse märgid eemale ja piir võetakse üles magistraaljoonte abil.

11. On piiriks kahemeetriline või laiem kraav, oja või maantee, siis võetakse üles mõlemad kaldad või ääred ja ka oja keskel olevad saared. On laius alla 2 meetri, siis võetakse üles ainult keskkoht. On aga piiriks suurem veekogu, üle 20 m laiune jõgi, järv jne., siis asetatakse magistraaljooned kahele poole veekogu igal kaldal asuva maaüksuse jaoks eraldi. Ühise mõõtmise juures seotakse mõlema kalda magistraaljooned trigonomeetriliselt.

12. Magistraaljooned määratakse nii: 1) et perpendiklid mitte üle 50 meetri ei ulatuks, s. o. võimalikult piiri lähedale, teodoliidiga pandud abijoone pikkus võib olla kuni 100 m, 2) et magistraaljoontele asetatud piirimärkide alalhoidumine kindlustatud oleks ja 3) et piirimärgid maaharimist ei takistaks. Viimase otstarbe saavutamiseks võib piirimärgid paigutada maa alla.

Magistraaljoonte ristikividel raiutakse risti otsad kinni.

13. Piirijoontel, mis loodusliku piirini välja tulevad, asetatakse piirimärgid: 1) kui magistraaljoon on samal pool looduslikku piiri, kus kirjeldatud piirjoon, magistraaljoonele, kus ka piirinurk mõõdetakse; 2) kui magistraaljoon on teisel pool looduslikku piiri, siis tegelikule piirile; magistraaljoonele, kus piirinurk mõõdetakse, tehakse maa-alune märk. Sel juhtumil on lubatud ka magistraaljoont teisele poole looduslikku piiri kanda.

14. Ei ole mõnesuguse takistuse (hooned, aiad, ilupuud j. m.) tõttu võimalik piirijoont vahetult mõõta, mõõdetakse see abijoontega ja arvutatakse trigonomeetriliselt. Sellejuures peab silmas pidama, et piirijoon sama täpsusega arvutatud oleks nagu vahetu mõõtmisega.

15. Piirimaade omavahelised piirimärgid, mille peal mõõdetava maaüksuse ringpiir käänakuid ei tee, märgitakse mõõtmise juures täpselt ära. On ülaltähendatud märgid kadunud, või nende asukohad vaieldavad — jäetakse nad märkimata.

16. Piirijoonte mõõtmise juures märgitakse väliraamatus kõik piirijoonest üleminevad või joont puutuvad teed, kraavid, jõed, ojad, kõlvikute vahejooned ja muu situatsioon. Teed, mis uuesti rajatakse või mille laius ja asukoht kindel, kui nad ennemalt ei ole märgitud kraavidega, kiviaedadega jne., märgitakse piirijoonel teemärkidega s. o. vähemalt 50 kg kividega, mille peale 15 sm pikk ja 0,5 sm sügav joon raiutakse tee suunas, ristteedel nurk, mille harud kahe tee suunas. Ei ole kive vähemalt 3 km kauguses olemas, tehakse väiksed kupitsad.

17. Kõik piirijooned mõõdetakse teraslindiga kaks korda edasi ja tagasi meetrites. Mõõteandmed märgitakse üles täpsusega kuni 0,05 m, kusjuures kahe mõõtmise vahe „d“ võib olla (S — on joone pikkus meetrites): kõval lagedal maal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{4\,S + 0.005\,S^2},$$

keskmisel maal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{6\,S + 0.0075\,S^2},$$

mägisel, metsa- ja soomaal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{8\,S + 0.01\,S^2}.$$

Joone pikkuseks loetakse kahe mõõtmise keskarv, täpsusega kuni 0,1 m. Kõrgeväärtuslikkude väikeste maatükkide ringpiirid mõõdetakse täpsusega 0,01 m.

Märkus. 1 meeter = 0,46870 sülda.

18. Piirijoontel mõõdetakse kalded 3° alates.

19. Loodusliikkude piiride mõõtmisel tarvilikud magistraaljooned mõõdetakse samasuguse täpsusega kui piirijooned. Loodusliku piiri ülesmõõtmise jaoks võetakse niipalju mõõtmisi, et nende järgi võimalik oleks piiri täpselt plaanile kanda ja piiri- ning magistraali vahelise maa-ala pinnasuurust arvutada.

20. Perpendiklid magistraaljoonelt loodusliku piirini püstitatakse ekkeriga või täpsema nurgamõõtjaga ja mõõdetakse ruletiga või kaugusemõõtjaga.

21. Piirinurgad (ka magistraaljoonte käänakud) mõõdetakse vähemalt 1-minutilise teodoliidiga vertikaalringi mõlemal seisakul.

22. Plaani orienteerimiseks võetakse iga plaani jaoks vähemalt kaks magnetrumbi või arvutatakse tõelik meridiaan päikese, tähtede või trigonomeetrilise võrgu andmete järgi.

23. Ei ole mõnesuguste takistuste tõttu võimalik ühe joone otstel olevaid piirinurki otsekohe mõõta, mõõdetakse võimalikult lühem ja vähem nurga arvuga polügoon, mille järgi piirinurgad trigonomeetriliselt arvutatakse. Polügooni mõõtmisel piirinurkades peab välja tulema nõutud täpsus.

24. On kuskilt piiripunktist trigonomeetrilise võrgu või mõned muud kindlad punktid näha ja võimalik piire nende külge siduda, tuleb seda teha. Üksuste lahusolevad maatükid seotakse üksteisega, kui nende vahekaugused ei ole üle 1 km.

25. On ringpiir suur, tuleb seda diagonaalkäikudega kaheks või mitmeks polügooniks jagada, nii et igas polügoonis ei oleks üle 20 nurga.

26. Piiride mõõtmisel tehakse akt, milles maavaldajad ja piirimehed tunnistavad, et piirid on mõõdetud, kas planeerimisel kindlaks määratud või koha peal olevate endiste piiride ja piirimärkide järgi. Piiritamisel maakorralduse seaduse §§ 33, 48, 51 alusel peetakse piiriprotokolli, mille vorm juhtnööride juurde lisatud.

27. Piirimõõtmise juures saadud andmed märgitakse üles väliraamatusse, mis peab sisaldama vasakul leheküljel tabeli, kus lahtrites on märgitud seisu ja suuna punktide numbrid, nurkade mõõtmise andmed kahe nooniuse või mikroskoobi järgi, andmete keskarvud, lõplikud nur-

kade suurused, joonte asimuudid, pikkused ja kalded ning märkused. Parem lehekülg peab sisaldama piiri joonestust ühes ülesmõõdetud situatsiooniga. Joonestusel peavad märgitud olema punktide numbrid ja mõõtude keskmised suurused.

Situatsiooni mõõtmine.

28. Piirijoonte mõõtmise juures võetakse üles kõik piiriäärne situatsioon.

29. Situatsioon võetakse üles kas teodoliidiga polügoonkäikude, polaarmeetodi, lõigete ja paralleelsihtide abil või (mägistes kohtades või keerulise situatsiooni puhul) mensulil kippreegli abil. Vähema tähtsusega situatsiooni polügoonkäike lubatakse teha ühekordse nurkade ja joonte mõõtmisega. Situatsiooni mõõtmise täpsus hoonete, kindlate teede, kraavide ja kiviaedade mõõtmisel on 1 m, muude kontuuride jaoks 3 m.

30. Tähtsamad polügoonkäigud märgitakse väliraamatusse niisama nagu ringpiir; vähema tähtsusega polügoonkäike on lubatud kanda ainult joonestusse, mis peab sisaldama ka kõiki mõõteandmeid. Niisama märgitakse ka joonestuses polaarmeetodi ja lõigete abil ülesvõetud situatsioon. Paralleelsihtide abil ülesvõetud situatsiooni ülesmärkimiseks on lubatud tarvitada erilisi joonestuslehti.

31. Peale arvude ja mõõdetava maa joonestuse peab väliraamat sisaldama ka kõiki plaani lõplikuks valmistamiseks tarvilikke andmeid, näiteks: maakohtade nimetusi, teede suundi j.n.e. Joonestus olgu võimalikult ilmakaarte järgi orienteeritud, nii et väliraamatus põhi (Nord) ülespoole oleks.

32. Kõik mõõtmise juures saadud andmed peavad nii selgesti üles märgitud olema, et nende järgi iga maamõõtja vabalt plaani võib teha.

33. Situatsioonina võetakse üles kõik kõlvikud, hooned, teed, kraavid, aiad j. m. Heina-, karja- ja metsamaal võetakse üles kuivad, märjad ja soosed, lagedad, põõsastega ja puudega kaetud maad. Metsas märgitakse koosseis. Peale selle märgitakse üles ka mäetipud, järsakud j.n.e.

34. Mensulil mõõtmise aluseks peab olema: kas koordinaatide järgi planšetile kantud piiripolügoon ja kontrollkäigud või trigonomeetriline piiripolügooniga seotud võrk.

Mõõduandmete ümbertöötamine, plaanile kandmine ja plaani valmistamine.

35. Mõõduandmete ümbertöötamine, plaani andmete arvutamine ja plaanile kandmine, kuni piiripunktide koordinaatide arvutamiseni peab tehtama samas asukohas, kus välitööd tehtud olid. Ka on soovitav plaanile kandmist pliiatsis samal kohal teha, et tarbekorral võiks mõõduandmeid kontrollida.

36. Lubatav vahe teoreetilise ja mõõdetud nurkade summa vahel võib olla ringpiiri mõõtmisel kuni 1,5 $\sqrt{n}$, situatsioonikäikudel 4 $\sqrt{n}$, kus n on mõõdetud nurkade arv. Sidumise juures võib üht ringpiirinurka parandada kuni 1,5 min.

37. Kui piiri mõõtmise juures on tarvitatud diagonaalkäike, jagatakse üldpiiripolügoon osapülogoonidesse, kusjuures igas polügoonis mõõdetud nurkade summa ei tohi teoreetilisest summast rohkem lahku minna, kui 1,5 $\sqrt{n}$, kus n on mõõdetud nurkade arv. Nurkade summa taandatakse (seotakse) igas polügoonis teoreetilise summani, arvestades sealjuures naabruses asuvaid polügoone.

38. On rida lühikesi ringpiirijooni seotud pika diagonaaliga, siis võetakse ringpiirinurkade asemele diagonaaljoonenurgad. Lühikeste piirijoonte nurgad taandatakse (seotakse) diagonaalkäiguga, kusjuures nurkade summa võib teoreetilisest summast lahku minna $4\sqrt{n}$.

39. Piiri-, tähtsate polügoonkäikude- ja trigonomeetrilise võrgu punktide jaoks arvutakse välja koordinaadid, mille abil punktid plaanile kantakse. Koordinaatidevõrk joonestatakse sinise tušiga või neutraaltindiga. Üks X-telg kandku märki NS.

40. Ei ole ringpiir trigonomeetrilise võrguga seotud ega tõelikku meridiaani arvutatud päikese või tähtede abil, orienteeritakse plaan magnetilise meridiaani järele, alates piirijoonte asimuutide arvamist joonest, mille asimuut mõõdeti headel tingimustel.

41. Juurdekasvud koordinaatide jaoks arvutatakse täpsusega kuni 0,01 m (kaks korda), kusjuures igas polügoonis sidumatus — d juurdekasvudes võib olla polügooni pikkuse — S juures meetrites:

I järk tasasel kõval maal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{4\,S + 0.005\,S^2},$$

II järk keskmisel maal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{6\,S + 0.0075\,S^2},$$

III järk mägisel, soo- ja metsamaal

$$d \leqslant 0.01\sqrt{8{,}S + 0.01\,S^2}.$$

42. Kui sidumatus d on lubatav, tuleb see juurdekasvude peale proportsionaalselt polügoonijoonte pikkustele ära jagada. Kui on mitu polügooni, siis ühiselt ära jaotada.

Mitme polügooni nurkade ja juurdekasvude sidumiseks valmistatakse vastav skeem.

43. Koordinaadid arvutatakse 0,1 m täpsusega. Väikeste ja kõrgeväärtuslikkude maatükkide juures kuni 0,01 m.

44. Kui lühikeste piirijoonte mõõtmise juures on tarvitatud diagonaale, siis tuleb lühikeste piirijoonte punktid koordinaatide arvutamisel esialgu välja jätta ja pärast eraldi arvutada.

45. Üksuste pinnasuurus arvutatakse koordinaatide järgi või trigonomeetrilisel teel kuni 0,001 ha. Kõrgeväärtuslikkude maa-alade pinnasuurus arvutatakse ruutmeetrites.

46. Üksiku maatüki pinnasuurus, mis arvutatud üldplaani koordinaatide võrgu järgi, ei tohi lahku minna üle 1 : 1000 sama maatüki pinnast, mis arvutatud ainult selle maatüki mõõteandmete järgi.

47. Loodusliku piiri ja magistraaljoonte vaheline pinnasuurus arvutatakse geomeetrilisel teel välimõõteandmete järgi.

48. Kõlvikute pinnad mõõdetakse planimeetriga planimeetri mõlemas seisakus ja pinna suuruseks võetakse keskarv. Vahe kõlvikute pinnasuuruste summa ja matemaatiliselt saavutatud üldpinnasuuruse vahel ei või suurem olla kui 1/300.

49. Kõik algplaanid valmistatakse riidele kleebitud plaanipaberil mõõdus 1 : 2000. Kõrgeväärtuslikkude ja väikeste maa-alade plaanid valmistatakse mõõdus: 1 : 1000 või 1 : 500. Suuremate kui 10 ha maatükkide plaane lubatakse valmistada mõõdus 1 : 4000.

50. Plaanide suuruse alammäär on 25×37 ja ülemmäär 100×150 sm. Suurte üksuste plaanid ja mitme üksuse üldplaanid, mis ei mahu eelnähendatud maksimaalse suurusega lehele, valmistatakse mitmel lehel, kusjuures suurte üksuste maa-ala jaotatakse osadesse kas sirgjooneliselt plaani lehtede äärjoonte järgi, või mõne kindla situatsioonijoone järgi. Üldplaanjaotatakse lehtedesse maaüksuste piiride järgi.

51. On plaan mitmel lehel, siis valmistatakse üldskeem mõõdus 1 : 20000. Kõrgeväärtuslikkude ja väikeste maatükkide jaoks mõõdus — 1 : 10000. Üldskeemil tähendatakse piirid, sidumispunktid ja -jooned, üksuste numbrid ja teedevõrk.

52. Piiripunktid tähendatakse plaanil ringiga, triangulatsioonipunktid — kolmnurgaga, maapealsed musta ja maa-alused punase tušiga.

Ristikivid tähendatakse ⊙ märgiga,
kupitsad — ⊙ märgiga,
ajutised piirimärgid — ◯ märgiga,
teekivid — ⊗ märgiga.

53. Teodoliidiga mõõdetud situatsioon kantakse plaanile välimõõteandmetel. Mensuliga mõõdetud situatsioon kantakse üle kopeerimise teel.

54. Kindlad piirid ja selged kontuurid, hooned, kraavid ja jõed jne. tähendatakse plaanil mustade joontega; vaidluse all olevad piirid, magistraaljooned, looduses mitteselged kontuurid tähendatakse musta punktiiriga. Looduslikud piirid märgitakse punase punktiiriga.

55. Piirimõõduandmed, nurgad, asimuudid, joonepikkused ja koordinaadid kirjutatakse plaanil eritabelisse võimaluse korral plaani parempoolsel ülemisel nurgal. On tabel väga suur, siis paigutatakse ta erilehele või kaustikusse, mille kohta plaanile märkus tehakse.

56. Eksplikatsioon kirjutatakse plaanil võimalikult vasakul äärel all nurgas.

57. Piiripunktide numbrid ja magistraaljoonte perpendiklid ja nende alused, piirijoonte osad, kui joon lisapiirimärkidega on jaotatud, ja teede ülekäigud piirist kirjutatakse plaanile.

58. On plaanil mõnes kohas jooni ja situatsioone nii tihedalt, et eelmises paragrahvis tähendatud andmed ära ei mahu, joonestatakse tarviline plaaniosa suuremas mõõdus plaanilehel vabale kohale ja kirjutatakse andmed sinna.

59. Jagamise teel saadud krundid nummerdatakse järjekordselt ja varustatakse vastava nimega. Igast mõisast lahutatud üksustel on oma numeratsioon.

60. Kui krunt seisab koos mitmest maatükist, siis käivad nad ühe ja sama numbri alla, kusjuures lisatükid märgitakse eriliteratega, näiteks 21a, 21b, 21c jne. Kruntide literad ja numbrid kirjutatakse musta tušiga.

61. Piirimaade kirjelduses, mis tehakse vastava piiri juurde, tähendatakse naabri krundi nimi, number ja missugusest mõisast eraldatud.

62. Kontuuride pinna suurused kirjutatakse nende keskele karmiintušiga: väikeste kontuuride suurused kirjutatakse nende kõrvale.

63. Kirjad plaanil tehakse selged ja asetatakse nii, et nad ilma plaani pööramata oleksid kerged lugeda.

64. Plaani pealkirjas, mis võimalust mööda asetatakse plaani ülemisse vasakpoolsesse nurka (mitmelehelisel plaanil esimesele lehele), tähendatakse: a) maakond, vald, mõis, hüpoteegi üksus, millest plaanil tähendatud maaala eraldatud, missuguse juriidilise iseloomuga maast on ta eraldatud ja plaanistatava krundi nimetus; b) millal, kelle poolt ja missuguse meridiaani järele plaan valmistatud.

65. On plaan mitmel lehel, tähendatakse iga lehe vasakpoolsesse ülemisse nurka väljaspool raami maatüki nimetus, lehe number ja märkus, mitmel lehel plaan on tehtud.

66. Piirid värvitakse kitsa punase viiruga väljaspool piirijoont. Riigi piir värvitakse kahe viiruga.

67. Kontuurid värvitakse ja varustatakse literatega vastavalt käesolevate juhtnööride lisas avaldatud nõuetele, sama lisa nõuete kohaselt kantakse plaanile kõik tarvilised pealkirjad.

68. Maamõõtja allkirjaga lõpetatud maamõõdutööd esitatakse alalhoidmiseks vastavatesse ametiasutustesse; plaanid ja nende juurde kuuluv tehniline kaust, mis koosneb väliraamatust, arvutistest, skeemidest, aktidest ja kõigist andmetest, mis maamõõtjal tööde juures käsitada olid. Oli situatsioon üles võetud mensuliga, lisatakse sinna juurde veel plansetid. Oli töö koha peal kontrollitud, siis kirjutatakse plaanile alla ka kontrollija poolt ja lisatakse tehnilisse kausta kontrollimise andmed ja arvutised.

69. Notariaalseaduse § 340[1] põhjal kinnistusejaoskondadele esitatakse käesolevate juhtnööride järele valmistatud plaanidest teisendid.

Riigivanem J. Teemant.
Põllutööminister Osk. Köster.
Riigisekretär K. Terras.

Sidejoonte ja nurkade vahekord.

20 meetri pikkuse raadiuse juures.

	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
	Sidejoonte pikkus sentimeetrites (R = 20 m)											
0°	0	3	6	9	12	15	18	20	23	26	29	32
1	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67
2	70	73	76	79	82	85	88	90	93	96	99	102
3	105	108	111	114	117	120	123	125	128	131	134	137
4	140	143	146	149	152	155	158	160	163	166	169	172
5	175	178	181	184	187	190	193	195	198	201	204	207
6	210	213	216	219	221	224	227	229	232	235	238	241
7	244	247	250	253	256	259	262	264	266	269	272	275
8	278	281	284	287	290	293	296	298	301	304	307	310
9	313	316	319	322	325	328	331	333	336	339	342	345
10	348	351	354	357	360	363	366	368	371	374	377	380
11	383	386	389	392	395	398	401	403	406	409	412	415
12	418	421	424	427	430	433	436	438	441	444	447	450
13	453	456	459	462	465	468	471	473	476	479	482	485
14	488	491	494	497	500	503	506	508	510	513	516	519
15	522	525	528	531	534	537	540	543	545	548	551	554
16	557	560	563	566	569	572	575	577	580	583	586	589
17	592	595	598	601	604	607	609	612	614	617	620	623
18	626	629	632	635	638	641	644	646	649	652	655	658
19	661	663	666	669	672	675	678	680	683	686	689	692
20	695	698	700	703	706	709	712	714	717	720	723	726
21	729	732	735	738	741	744	747	749	752	755	758	761
22	764	767	770	773	776	778	781	783	786	789	792	795
23	798	801	804	807	810	813	815	817	820	823	826	829
24	832	835	838	841	843	846	849	851	854	857	860	863
25	866	869	872	875	878	881	883	885	888	891	894	897
26	900	903	906	909	912	915	917	919	922	925	928	931
27	934	937	940	943	946	949	951	953	956	959	962	965
28	968	970	973	976	979	982	984	987	990	993	996	999
29	1002	1005	1008	1010	1013	1016	1019	1022	1024	1027	1030	1033
30	1036	1038	1041	1044	1047	1050	1052	1055	1058	1060	1063	1066
31	1069	1072	1074	1077	1080	1083	1086	1088	1091	1094	1097	1100
32	1102	1105	1108	1110	1113	1116	1119	1122	1125	1128	1131	1134
33	1136	1139	1142	1145	1148	1150	1153	1156	1159	1162	1165	1166
34	1169	1172	1175	1178	1181	1184	1186	1189	1192	1195	1198	1200
35	1202	1205	1208	1211	1214	1217	1220	1222	1225	1228	1231	1234
36	1236	1239	1242	1245	1248	1250	1253	1256	1258	1261	1264	1267
37	1270	1272	1275	1278	1280	1283	1286	1289	1292	1294	1297	1300
38	1303	1305	1308	1311	1314	1316	1319	1322	1324	1327	1330	1333
39	1336	1338	1341	1344	1346	1349	1352	1355	1358	1360	1363	1366
40	1368	1371	1374	1376	1379	1382	1385	1388	1390	1393	1396	1398

	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
	Sidejoonte pikkus sentimeetrites (R = 20 m)											
41°	1401	1404	1406	1409	1412	1415	1418	1420	1422	1425	1428	1431
42	1434	1436	1439	1442	1444	1447	1450	1453	1456	1458	1461	1464
43	1466	1469	1472	1474	1477	1480	1483	1486	1488	1490	1493	1496
44	1498	1501	1504	1507	1510	1512	1515	1518	1520	1523	1526	1528
45	1530	1533	1536	1539	1542	1544	1547	1550	1552	1555	1558	1560
46	1562	1565	1568	1571	1574	1576	1579	1582	1584	1587	1590	1592
47	1594	1597	1600	1602	1605	1608	1610	1613	1616	1618	1621	1624
48	1626	1629	1632	1635	1638	1640	1643	1645	1648	1650	1653	1656
49	1658	1661	1664	1667	1670	1672	1675	1678	1680	1682	1685	1688
50	1690	1693	1696	1698	1701	1703	1706	1709	1712	1714	1717	1720
51	1722	1724	1727	1730	1732	1735	1738	1740	1743	1746	1748	1751
52	1754	1756	1759	1762	1764	1767	1770	1772	1775	1777	1780	1782
53	1785	1788	1790	1793	1796	1798	1800	1803	1806	1808	1811	1814
54	1816	1819	1822	1824	1826	1829	1832	1834	1837	1840	1842	1844
55	1847	1850	1852	1855	1858	1860	1862	1865	1868	1870	1873	1876
56	1878	1880	1883	1886	1888	1891	1894	1896	1899	1902	1904	1906
57	1909	1912	1914	1916	1919	1922	1924	1926	1928	1931	1934	1937
58	1940	1942	1944	1947	1950	1952	1954	1957	1960	1962	1965	1968
59	1970	1972	1975	1978	1980	1982	1985	1988	1990	1992	1995	1998
60	2000	2002	2005	2008	2010	2012	2015	2018	2020	2023	2026	2028
61	2030	2033	2036	2038	2040	2042	2045	2048	2050	2053	2056	2058
62	2060	2063	2066	2068	2070	2072	2075	2078	2080	2082	2085	2088
63	2090	2092	2095	2098	2100	2102	2105	2108	2110	2112	2115	2118
64	2120	2122	2125	2128	2130	2132	2135	2138	2140	2142	2144	2146
65	2150	2152	2154	2157	2159	2162	2164	2167	2169	2172	2174	2176
66	2179	2181	2184	2186	2188	2191	2194	2196	2198	2200	2203	2206
67	2208	2210	2212	2215	2218	2220	2223	2225	2228	2230	2232	2234
68	2237	2240	2242	2244	2247	2250	2252	2254	2256	2258	2260	2264
69	2266	2268	2270	2273	2276	2278	2280	2283	2286	2288	2290	2292
70	2294	2296	2299	2302	2304	2306	2308	2311	2314	2316	2318	2320
71	2323	2326	2328	2330	2332	2334	2336	2339	2342	2344	2346	2349
72	2352	2354	2356	2358	2360	2363	2366	2368	2370	2372	2374	2377
73	2380	2382	2384	2386	2388	2390	2393	2396	2398	2400	2402	2405
74	2408	2410	2412	2414	2416	2418	2421	2424	2426	2428	2430	2432
75	2434	2437	2440	2442	2444	2446	2448	2451	2454	2456	2458	2460
76	2462	2465	2468	2470	2472	2474	2476	2478	2480	2483	2486	2488
77	2490	2492	2494	2497	2500	2502	2504	2506	2508	2510	2512	2514
78	2517	2520	2522	2524	2526	2528	2530	2533	2536	2538	2540	2542
79	2544	2546	2548	2551	2554	2556	2558	2560	2562	2564	2566	2569
80	2572	2574	2576	2578	2580	2582	2584	2586	2589	2592	2594	2596
81	2598	2600	2602	2604	2606	2608	2611	2614	2616	2618	2620	2622
82	2624	2626	2628	2630	2633	2636	2638	2640	2642	2644	2646	2648
83	2650	2652	2654	2657	2660	2662	2664	2666	2668	2670	2672	2674
84	2676	2678	2680	2683	2686	2688	2690	2692	2694	2696	2698	2700
85	2702	2704	2706	2708	2710	2712	2715	2718	2720	2722	2724	2726
86	2728	2730	2732	2734	2736	2738	2740	2742	2744	2747	2750	2752
87	2754	2756	2758	2760	2762	2764	2766	2768	2770	2772	2774	2776
88	2779	2781	2783	2785	2787	2790	2792	2794	2796	2798	2800	2802
89	2804	2806	2808	2810	2812	2814	2816	2818	2820	2822	2824	2826

EMILIINE METSA
Tartu
Ülikooli

Tangensite naturaalsuurused.

Kraadid	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0°	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454
1°	0,01745	0,02036	0,02327	0,02619	0,02910	0,03201
2°	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949
3°	0,05241	0,05532	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700
4°	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456
5°	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216
6°	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983
7°	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758
8°	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540
9°	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333
10°	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136
11°	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952
12°	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781
13°	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624
14°	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483
15°	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28040	0,28360
16°	0,28674	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255
17°	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171
18°	0,32492	0,32814	0,33136	0,33459	0,33783	0,34108
19°	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	1,36068
20°	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053
21°	0,38386	0,38720	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065
22°	0,40403	0,40741	0,40081	0,41421	0,41763	0,42105
23°	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175
24°	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277
25°	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414
26°	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587
27°	0,50952	0,51319	0,51687	0,52057	0,52427	0,52798
28°	0,53171	0,53545	0,53919	0,54296	0,54673	0,55051
29°	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348
30°	0,57735	0,58123	0,58513	0,58904	0,59297	0,59691
31°	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083
32°	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528
33°	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028
34°	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588
35°	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211
36°	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900
37°	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661
38°	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498
39°	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415
40°	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419
41°	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515
42°	0,90040	0,90568	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709
43°	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008
44°	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420
45°	1.00000					

Kaldjoonte parandustabel.

(Joone projektsiooni saamiseks kaldjoone pikkusele juurde lisada negatiivne parandus.)

Kaldenurk		Pikkus m 1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1									
		meetrites								
1	0	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008	0,0009	0,0011	0,0012	0,0014
1	15	0,0002	0,0005	0,0007	0,0010	0,0012	0,0014	0,0017	0,0019	0,0021
1	30	0,0003	0,0007	0,0010	0,0014	0,0017	0,0020	0,0024	0,0027	0,0030
1	45	0,0005	0,0009	0,0014	0,0019	0,0024	0,0028	0,0033	0,0038	0,0042
2	0	0,0006	0,0012	0,0018	0,0024	0,0030	0,0037	0,0043	0,0049	0,0055
2	15	0,0008	0,0015	0,0023	0,0031	0,0039	0,0046	0,0054	0,0062	0,0069
2	30	0,0010	0,0019	0,0029	0,0038	0,0048	0,0057	0,0067	0,0076	0,0086
2	45	0,0012	0,0023	0,0035	0,0046	0,0058	0,0069	0,0081	0,0092	0,0104
3	0	0,0014	0,0027	0,0041	0,0055	0,0069	0,0082	0,0096	0,0110	0,0124
3	15	0,0016	0,0032	0,0048	0,0064	0,0080	0,0096	0,0113	0,0129	0,0145
3	30	0,0019	0,0037	0,0056	0,0075	0,0094	0,0112	0,0131	0,0149	0,0168
3	45	0,0021	0,0043	0,0064	0,0086	0,0107	0,0128	0,0150	0,0171	0,0193
4	0	0,0024	0,0049	0,0073	0,0098	0,0122	0,0146	0,0171	0,0195	0,0220
4	15	0,0028	0,0055	0,0083	0,0110	0,0138	0,0165	0,0193	0,0220	0,0248
4	30	0,0031	0,0062	0,0092	0,0123	0,0154	0,0185	0,0216	0,0246	0,0277
4	45	0,0034	0,0069	0,0103	0,0137	0,0172	0,0206	0,0240	0,0274	0,0309
5	0	0,0038	0,0076	0,0114	0,0152	0,0190	0,0229	0,0267	0,0305	0,0343
5	15	0,0042	0,0084	0,0126	0,0168	0,0210	0,0252	0,0294	0,0336	0,0378
5	30	0,0046	0,0092	0,0138	0,0184	0,0230	0,0276	0,0322	0,0368	0,0414
5	45	0,0050	0,0101	0,0151	0,0201	0,0252	0,0302	0,0352	0,0402	0,0453
6	0	0,0055	0,0110	0,0164	0,0219	0,0274	0,0329	0,0384	0,0438	0,0493
6	15	0,0059	0,0119	0,0178	0,0238	0,0297	0,0356	0,0416	0,0475	0,0535
6	30	0,0064	0,0129	0,0193	0,0257	0,0322	0,0386	0,0450	0,0514	0,0579
6	45	0,0069	0,0139	0,0208	0,0277	0,0347	0,0416	0,0485	0,0554	0,0624
7	0	0,0075	0,0149	0,0224	0,0298	0,0373	0,0447	0,0522	0,0596	0,0671
7	15	0,0080	0,0160	0,0240	0,0320	0,0400	0,0480	0,0560	0,0640	0,0720
7	30	0,0086	0,0171	0,0257	0,0342	0,0428	0,0514	0,0599	0,0685	0,0770
7	45	0,0091	0,0183	0,0274	0,0365	0,0457	0,0548	0,0639	0,0730	0,0822
8	0	0,0097	0,0195	0,0292	0,0389	0,0487	0,0584	0,0681	0,0778	0,0876
8	15	0,0104	0,0207	0,0311	0,0414	0,0518	0,0621	0,0725	0,0828	0,0932
8	30	0,0110	0,0220	0,0329	0,0439	0,0549	0,0659	0,0769	0,0878	0,0988
8	45	0,0116	0,0233	0,0350	0,0466	0,0582	0,0698	0,0815	0,0931	0,1048

Kaldjoonte parandustabel.

(Joone projektsiooni saamiseks kaldjoone pikkusele juurde lisada negatiivne parandus.)

Kaldenurk		Pikkus m 1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1									
		meetrites								
9	0	0,0123	0,0246	0,0369	0,0492	0,0616	0,0739	0,0862	0,0985	0,1108
9	15	0,0130	0,0260	0,0390	0,0520	0,0650	0,0780	0,0910	0,1040	0,1170
9	30	0,0137	0,0274	0,0411	0,0548	0,0686	0,0823	0,0960	0,1097	0,1234
9	45	0,0144	0,0289	0,0433	0,0578	0,0722	0,0866	0,1011	0,1155	0,1300
10	0	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760	0,0912	0,1063	0,1215	0,1367
10	30	0,0168	0,0335	0,0503	0,0670	0,0838	0,1005	0,1173	0,1340	0,1508
11	0	0,0184	0,0367	0,0551	0,0735	0,0919	0,1102	0,1286	0,1470	0,1653
11	30	0,0201	0,0402	0,0602	0,0803	0,1004	0,1205	0,1406	0,1606	0,1807
12	0	0,0219	0,0437	0,0656	0,0874	0,1093	0,1311	0,1530	0,1748	0,1967
12	30	0,0237	0,0474	0,0711	0,0948	0,1185	0,1422	0,1659	0,1896	0,2133
13	0	0,0256	0,0513	0,0769	0,1025	0,1282	0,1538	0,1794	0,2050	0,2307
13	30	0,0276	0,0553	0,0829	0,1105	0,1382	0,1658	0,1934	0,2210	0,2487
14	0	0,0297	0,0594	0,0891	0,1188	0,1485	0,1782	0,2079	0,2376	0,2673
14	30	0,0319	0,0637	0,0956	0,1274	0,1593	0,1911	0,2230	0,2549	0,2867
15	0	0,0341	0,0681	0,1022	0,1363	0,1704	0,2044	0,2385	0,2726	0,3066
15	30	0,0364	0,0727	0,1091	0,1455	0,1819	0,2183	0,2546	0,2910	0,3273
16	0	0,0387	0,0775	0,1162	0,1550	0,1937	0,2324	0,2712	0,3099	0,3487
16	30	0,0412	0,0824	0,1235	0,1647	0,2059	0,2471	0,2883	0,3294	0,3706
17	0	0,0437	0,0874	0,1311	0,1748	0,2185	0,2622	0,3059	0,3496	0,3933
17	30	0,0463	0,0926	0,1388	0,1851	0,2314	0,2777	0,3240	0,3702	0,4165
18	0	0,0489	0,0979	0,1468	0,1958	0,2447	0,2936	0,3426	0,3915	0,4405
18	30	0,0517	0,1034	0,1550	0,2067	0,2584	0,3101	0,3618	0,4135	0,4651
19	0	0,0545	0,1090	0,1634	0,2179	0,2724	0,3269	0,3814	0,4358	0,4903
19	30	0,0574	0,1147	0,1721	0,2294	0,2868	0,3442	0,4015	0,4589	0,5162
20	0	0,0603	0,1206	0,1809	0,2412	0,3016	0,3619	0,4222	0,4825	0,5428
20	30	0,0633	0,1267	0,1900	0,2533	0,3167	0,3800	0,4433	0,5066	0,5700
21	0	0,0664	0,1328	0,1993	0,2657	0,3321	0,3985	0,4649	0,5314	0,5978
21	30	0,0696	0,1392	0,2087	0,2783	0,3479	0,4175	0,4871	0,5566	0,6262

Kaldjoonte parandustabel.

(Joone projektsiooni saamiseks kaldjoone pikkusele juurde lisada negatiivne parandus.)

Kalde-nurk		Pikkus m 1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	meetrites								
22	0	0,0728	0,1456	0,2185	0,2913	0,3641	0,4369	0,5097	0,5826	0,6554
22	30	0,0761	0,1524	0,2284	0,3045	0,3806	0,4567	0,5328	0,6090	0,6851
23	0	0,0795	0,1590	0,2385	0,3180	0,3975	0,4770	0,5565	0,6360	0,7155
23	30	0,0829	0,1659	0,2488	0,33 8	0,4147	0,4976	0,5806	0,6635	0,7465
24	0	0,0865	0,1729	0,2594	0,3458	0,4323	0,5187	0,6052	0,6916	0,7781
24	30	0,0900	0,1801	0,2701	0,3602	0,4502	0,5402	0,6303	0,7203	0,8104
25	0	0,0937	0,1874	0,2811	0,3748	0,4685	0,5621	0,6558	0,7495	0,8432
25	30	0,0974	0,1948	0,2922	0,3896	0,4871	0,5845	0,6819	0,7793	0,8767
26	0	0,1012	0,2024	0,3036	0,4048	0,5060	0,6073	0,7085	0,8097	0,9109
26	30	0,1055	0,2109	0,3163	0,4219	0,5274	0,6328	0,7383	0,8438	0,9492
27	0	0,1090	0,2180	0,3270	0,4360	0,5450	0,6539	0,7629	0,8719	0,9809
27	30	0,1130	0,2260	0,3390	0,4520	0,5650	0,6779	0,7909	0,9039	1,0169
28	0	0,1171	0,2341	0,3512	0,4682	0,5853	0,7023	0,8194	0,9364	1,0535
28	30	0,1212	0,2424	0,3635	0,4847	0,6059	0,7271	0,8483	0,9694	1,0906
29	0	0,1254	0,2508	0,3761	0,5015	0,6269	0,7523	0,8777	1,0030	1,1284
29	30	0,1296	0,2593	0,3889	0,5186	0,6482	0,7778	0,9075	1,0371	1,1668
30	0	0,1340	0,2679	0,4019	0,5359	0,6699	0,8038	0,9378	1,0718	1,2057
30	30	0,1384	0,2767	0,4152	0,5535	0,6919	0,8302	0,9686	1,1070	1,2453
31	0	0,1429	0,2857	0,4286	0,5715	0,7144	0,8572	1,0001	1,1430	1,2858
31	30	0,1474	0,2947	0,4421	0,5894	0,7388	0,8842	1,0315	1,1789	1,3262
32	0	0,1520	0,3039	0,4559	0,6078	0,7598	0,9117	1,0637	1,2156	1,3676
32	30	0,1566	0,3132	0,4698	0,6264	0,7831	0,9397	1,0963	1,2529	1,4095
33	0	0,1613	0,3227	0,4840	0,6454	0,8067	0,9680	1,1293	1,2906	1,4520
33	30	0,1661	0,3322	0,4983	0,6644	0,8306	0,9967	1,1628	1,3289	1,4950
34	0	0,1710	0,3419	0,5129	0,6838	0,8548	1,0258	1,1967	1,3677	1,5386
34	30	0,1759	0,3517	0,5276	0,7035	0,8794	1,0552	1,2311	1,4070	1,5828
35	0	0,1809	0,3617	0,5426	0,7234	0,9043	1,0851	1,2660	1,4468	1,6277
35	30	0,1859	0,3718	0,5577	0,7436	0,9295	1,1153	1,3012	1,4871	1,6730

Kaldjoonte parandustabel.

Joone projektsiooni saamiseks kaldjoone pikkusele juurde lisada negatiivne parandus.)

Kaldenurk		Pikkus m 1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1									
		meetrites								
36	0	0,1910	0,3820	0,5729	0,7639	0,9549	1,1459	1,3369	1,5278	1,7188
36	30	0,1962	0,3923	0,5885	0,7846	0,9808	1,1769	1,3731	1,5692	1,7654
37	0	0,2014	0,4027	0,6041	0,8055	1,0068	1,2082	1,4096	1,6110	1,8123
37	30	0,2066	0,4133	0,6200	0,8266	1,0333	1,2399	1,4466	1,6532	1,8599
38	0	0,2120	0,4240	0,6360	0,8480	1,0600	1,2719	1,4839	1,6959	1,9079
38	30	0,2174	0,4348	0,6522	0,8696	1,0870	1,3044	1,5218	1,7392	1,9566
39	0	0,2229	0,4457	0,6686	0,8914	1,1143	1,3371	1,5500	1,7828	2,0057
39	30	0,2284	0,4568	0,6851	0,9135	1,1419	1,3703	1,5987	1,8270	2,0554
40	0	0,2340	0,4679	0,7019	0,9358	1,1698	1,4038	1,6377	1,8717	2,1056
40	30	0,2396	0,4792	0,7188	0,9584	1,1980	1,4376	1,6772	1,9068	2,1564
41	0	0,2453	0,4906	0,7359	0,9812	1,2265	1,4718	1,7171	1,9624	2,2077
41	30	0,2510	0,5020	0,7530	1,0040	1,2550	1,5060	1,7570	2,0080	2,2590
42	0	0,2569	0,5137	0,7706	1,0274	1,2843	1,5412	1,7980	2,0549	2,3117
42	30	0,2627	0,5255	0,7883	1,0508	1,3138	1,5766	1,8391	2,1016	2,3646
43	0	0,2687	0,5373	0,8060	1,0746	1,3433	1,6119	1,8806	2,1492	2,4179
43	30	0,2746	0,5493	0,8239	1,0985	1,3732	1,6478	1,9224	2,1970	2,4717
44	0	0,2807	0,5613	0,8420	1,1227	1,4034	1,6840	1,9647	2,2454	2,5260
44	30	0,2868	0,5735	0,8603	1,1470	1,4338	1,7207	2,0073	2,2940	2,5808
45	0	0,2929	0,5858	0,8787	1,1716	1,5645	1,7574	2,0503	2,3432	2,7361

Register.

Abriss 65, 79, 82, 135
akromaatiline objektiiv . . . 40
alam geodeesia 1, 2
algjoonis vt. abriss
alidaad 27, 157
aluste mõõt 238, 248
Amsler'i planimeeter 282
aneroidbaromeeter 241
aparaadi alus 27
arvuline mõõtkava 66
asimuut 91
asjadiopter 30
astrolaab 103
astrolaabi kollimatsiooniviga 106
astronoomiline pikksilm . . 36
autokartograaf 261

baas 311
Bamberg'i niveliir . . . 199, 210
baromeetriline loodimine 192, 241
Brandis'e tasku-eklimeeter . 24
bussol . . . . . 91—98
Butenschön'i taskuniveliir . 215

Coradi planimeeter 290

diafragma 37
diafragma niitide rist . . . 37
diopter 30
dioptritega ekker 72
direktsionaalnurk 316

Ego niveliir 199, 205
ekker . . . . . 69—79
eklimeeter 22, 238
elavhõbebaromeeter 241
elevatsioonkruvi 197
ellipsoid 4, 218
Ertel'i kaugusemõõtja . 183, 186

fotogramm-meetria 255
fotogramm-meetriline loodimine 192
fototeodoliit 259
Fromme tahhügraaf 268

Gauss'i eklimeeter 24
Geoid . . . . . 4—6
geoidpind 7
geomeetriline loodimine . . 128, 192, 194
geomeetriline telg 37
Goldschmid'i kruvianeroid baromeeter 241

Hansen'i võte 323
Heyde mikromeeter 117
horisontaal 245
Huygens'i okulaar 41
hüdrotehniline kaart 6

inglise statiiv 54
isohüps vt. horisontaal

jaam 222
jooneline mõõtkava 66
joonte loodimine . , . . . 222

kaart. 2, 6
kaheksakandiline ekker . . 72
kahekülgne loodimine . . . 221
kahe peegliga ekker . . 74–76
kalle. 3
kaugusemõõtjad 179
kaugusemõõdu mall. . . . 267
kaugusemõõdu niidid . . . 41
Kelner'i ortoskoobiline okulaar 41
kett 17
ketikepp 17
kiirmõõtja 239
kinnine niveliir. 199
kipreegel 176
kolmjalg-alus 28
kollimatsiooni pind 30
kompass 72, 91
koonusekker. 72
koordinaat 136
kordinaatide juurdekasv . . 139
koordinatograaf 262
koopiate valmistamine . . . 270
kopeerpult 271
kordav teodoliit . 115, 118—120
kremaljeerkruvi. 43
kriipsude ehk strihhide meetod. 250
kromaatiline aberratsioon . 40
kuulšarniir-alus 28
kõrgem geodeesia 1, 2

Leemann'i kriipsude viis . . 250
lihtjooneline mõõtkava . 66–68
lihtmensul 152
lihtteodoliit 115, 119
lint . . . . . 19—21, 24
limb 26
loodhark 158
loodimine. 3, 7, 192
luubi suurendamine 46
luup . . . . . 44—46

maamõõdukett 16
maastikureljeef 245
mensul 152
munašarniir-alus 28
mõõtelatt. 20, 25
mõõtenöör 20
mõõterihm 19
mõõtkava 66–69
mõõtkava alus 69
mõõtmise täpsus 5
München'i statiiv 52–54
„ mensul . . 152, 154

Naudet'i aneroidbaromeeter . 241
nelikrist alus 28
nivelleerimine 7, 192
nivelliir 194
niveliiri täpsus 199
noonius 32
nooniuse täpsus 32
normaallint 21
normaalkett 21
nurgakepp 11

objektiiv . . . . . 35—45
okulaar. . . . . 35—43
optiline telg 37
orientiirbussool . . . 157, 161

pantograaf 274
pantomeeter 112, 282
peegel-ekker. 74, 79, 81
pedomeeter 21
pentagoon-ekker 77
piiride õiendamine 295
piiride uuendamine 300
piiritulp 10
pikett 222
pikiirnõel 240
pikksilm 35
pikksilma niitide parallaks . 43

pikksilma suurendamine . 37—41
„ vaateväli . . . 38, 40
„ valgustus . . . 38—40
pinna loodimine . . . 222, 229
plaan 2
planimeeter 90
plokkmensul 152, 154
polaarmeetod . . . 62, 165, 175
polaarkoordinatograaf . . . 264
polügonomeetriline võrk . . 311
Potenot'i ülesanne . . 189, 334
prantsuse statiiv 53
priisma-ekker . . . . . 76—81
profiil 227
projektsioon . . . . 2—6, 22—26
projekteerimine . . . . . 2—7
proportsionaalne mõõt . . . 272
„ sirkel . . 273

rajakaardid 6
Ramsdeen'i okulaar 41
ratastega pantograaf . . . 277
reeper 11, 225
Reichenbach'i niveliir
vt. Bamberg'i n.
Reichenbach'i latt 217
rekognostseerülesvõte papile 190
reljeef 247
rippuv pantograaf 277
ristikivi 10
ristekker 71
rull-lint 19
rumb 91

Schmalgalder'i bussool . . 96
sfääriline aberratsioon . . . 40
sidejoon . . . 59, 60, 63, 79, 89
signaal 311
sihiajamine . . . . 12, 14—16
sihitikk . . . 12—15, 70, 73—78
silinder-vesikaal 47
„ „ -u direktriss 48—51
silinder-ekker 72
silmadiopter 30
situatsioon 6
skits vt. abriss
Stampfer'i kaugusemõõtja . 184
statiiv . . 27—30, 52, 53, 92, 104
stereokomparaator 258
stereomeetriline loodimine . 192
stereomikromeeter 257

tagantasimuut 102
tahhimeetriline loodimine 128, 192
234
tahhimeetriline teodoliit . . 115
tahhügraaf 268
tangensjoonte võte 268
teodoliit . . . . 114—118, 120
teraslint . . . . . 19—21, 24, 60
tikk, vt. sihitikk
topograafia 1
topograafiline kaart . . 6, 7, 66
trajektooria 12
triangulatsioon . . . 121, 310
triangulatsiooni võrk . . . 311
trigonomeetriline loodimine . 192
turbakihi arvutamine . . , 234

vaatelõhe . . . . . , 30
vaatepragu 30
vanaaegne statiiv 52, 104
varras 17
veelood, vt. vesikaal
veetoruga nivelliir 194
vernjeer . . . . . 31—35
vernjeeri nulljoon 34
vernjeeri täpsus 32
vesikaal . . . . . 46—51
viga ketiga mõõtmisel . . . 21
„ koordinaatide arvutamisel . . . . . 143—146
viga lindiga mõõtmisel . . . 22
„ loodimisel 225
„ nurkade mõõtmisel . . 133
„ polügooni pealekandmisel 100
viga ristläbilõike arvutamisel 331
„ sisenurkade summas . 111

Wagner — Fennel'i kiirmõõtja 239
Wagner'i taskuniveliir . . . 216
Winkler'i ühepeegliline ekker 74

universaal-teodoliit 120
uuetüübiline mensul . . 152, 156

ühekülgne loodimine . . . 221
ühepeegliline ekker 74
ümmargune vesikaal 47, 48, 51, 121

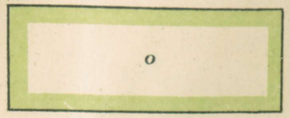
Zeiss'i loodimisaparaat. . . 213

Akadeemilise Metsaseltsi poolt kirjastatud raamatud.

1. A. MATHIESEN — METSAMEHE ABIRAAMAT.
   1923 a. 232 lk. Hind Kr. 1.50 (enne Kr. 3.—).
2. I. EESTI METSATEADLASTE PÄEV. 1924. a.
   112 lk. Hind Kr. 1.—
3. A. PAVLOV — PUUD JA PÕÕSAD. 1925 a.
   159 lk. Hind Kr. 2.50
4. EESTI METSANDUSE AASTARAAMAT I. 1926 a.
   160 lk. Hind Kr. 1.50
5. EESTI METSANDUSE AASTARAAMAT II. 1927 a.
   352 lk. Hind Kr. 3.50
6. EESTI METSANDUSE AASTARAAMAT III. 1928 a.
   207 lk. Hind Kr. 2.50
7. A. MATHIESEN — GEODEESIA PÕHIJOONED.
   1929 a. 364 lk. Hind 4.50.
8. EESTI METSANDUSE AASTARAAMAT IV.
   (trükkimisel).

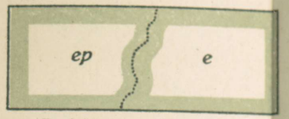
Tabel nr. 1

Puuvilja- ja iluaed



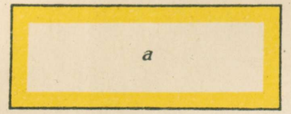
Prantsuseroheline

Karjamaa põõsastega ja ilma



Preisisinine tušiga (indigo)

Juurviljaaed



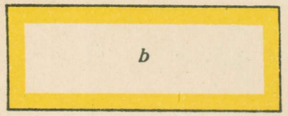
Kroomkollane

Märg karjamaa põõsastega ja ilma



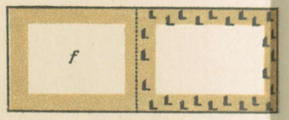
Preisisinine tušiga (indigo) ja preisisinise viiruga

Põllumaa



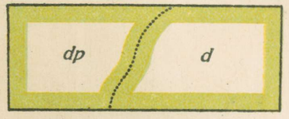
Kroomkollane

Segamets (raiutud osaga)



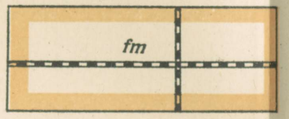
Seepia

Heinamaa põõsastega ja ilma



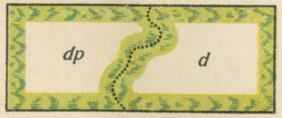
Gummigutt preisisinisega

Männimets (sihtidega)



Põletatud sienna karmiiniga

Märg heinamaa põõsastega ja ilma



Gummigutt preisisinisega ja preisisinise viiruga

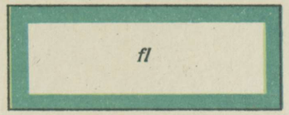
Kuusemets (põlenud osaga)



Preisisinine karmiiniga

Tabel nr. 2

Lehtpuumets



Preisisinine gummigutiga

Kivistik

Paas (paemurd) Kivivare



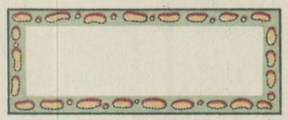
Seepia, karmiin ja preisisinine Seepia ja karmiin

Park



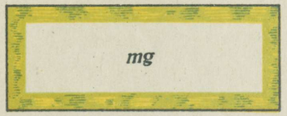
Värvitakse vastavalt metsa iseloomule

Saueaugud



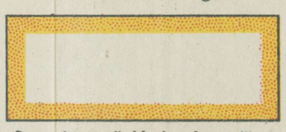
Preisisinine tušiga (indigo) ning põletatud sienna

Madalsoo { rohusoo, heinamaasoo, mudasoo



Gummigutt preisisinisega ning gummigutt preisisinise viiruga

Liiv ehk liivaaugud



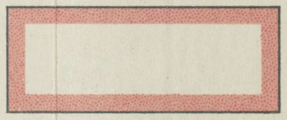
Gummigutt, täpid sinoober tušiga

Kõrgesoo { sphagnumisoo, samblasoo, kanarbikusoo



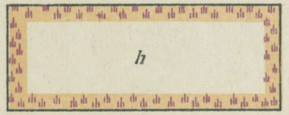
Gummigutt põl. siennaga ning põlet. sienna ja preisisinise viiruga

Kruus ehk kruusaaugud



Karmiin, karmiin täppidega

Nõmm (kanarbik)



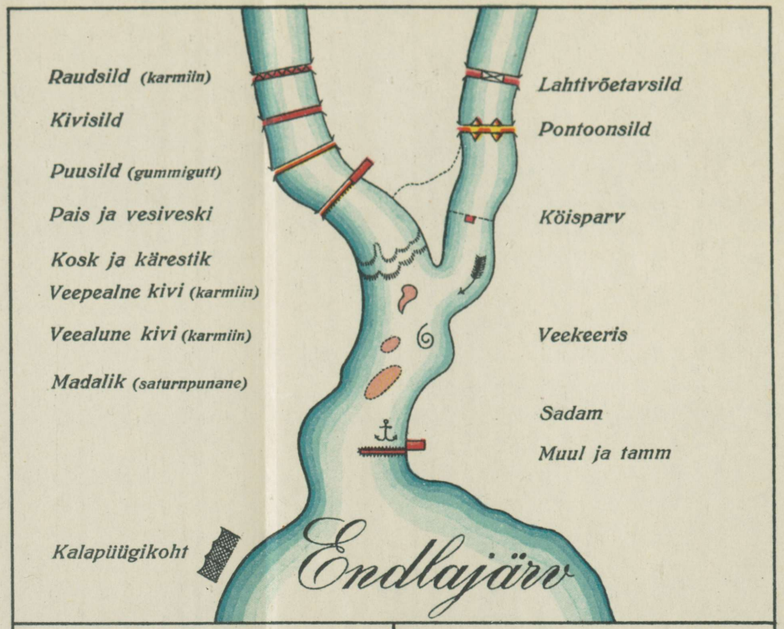
Põletatud sienna ja karmiin ning violett vertikaalkriipsukestega

Surnuaed



Preisisinine tušiga (indigo)

Tabel nr. 3



Järsud künkad

Kraavitatud ja sillutatud tee

Kraavideta sillutatud tee

Sillutamata tee

Erateed ja õuemaa

Talitee

Jalgrada

Raudtee

Ajutine ja ehitatav raudtee

Kraavid

Hooned

Kirikud

Tuuleveskid

Kaevud

Allikad

Augud ja kuristikud

Riigipiir

Piir

Ristikivid

Postid

Ajutised piirimärgid

Teekivid

Kõlvikute piirid

Trigonomeetriline punkt

Loodimise reeper

Puuaed

Kiviaed

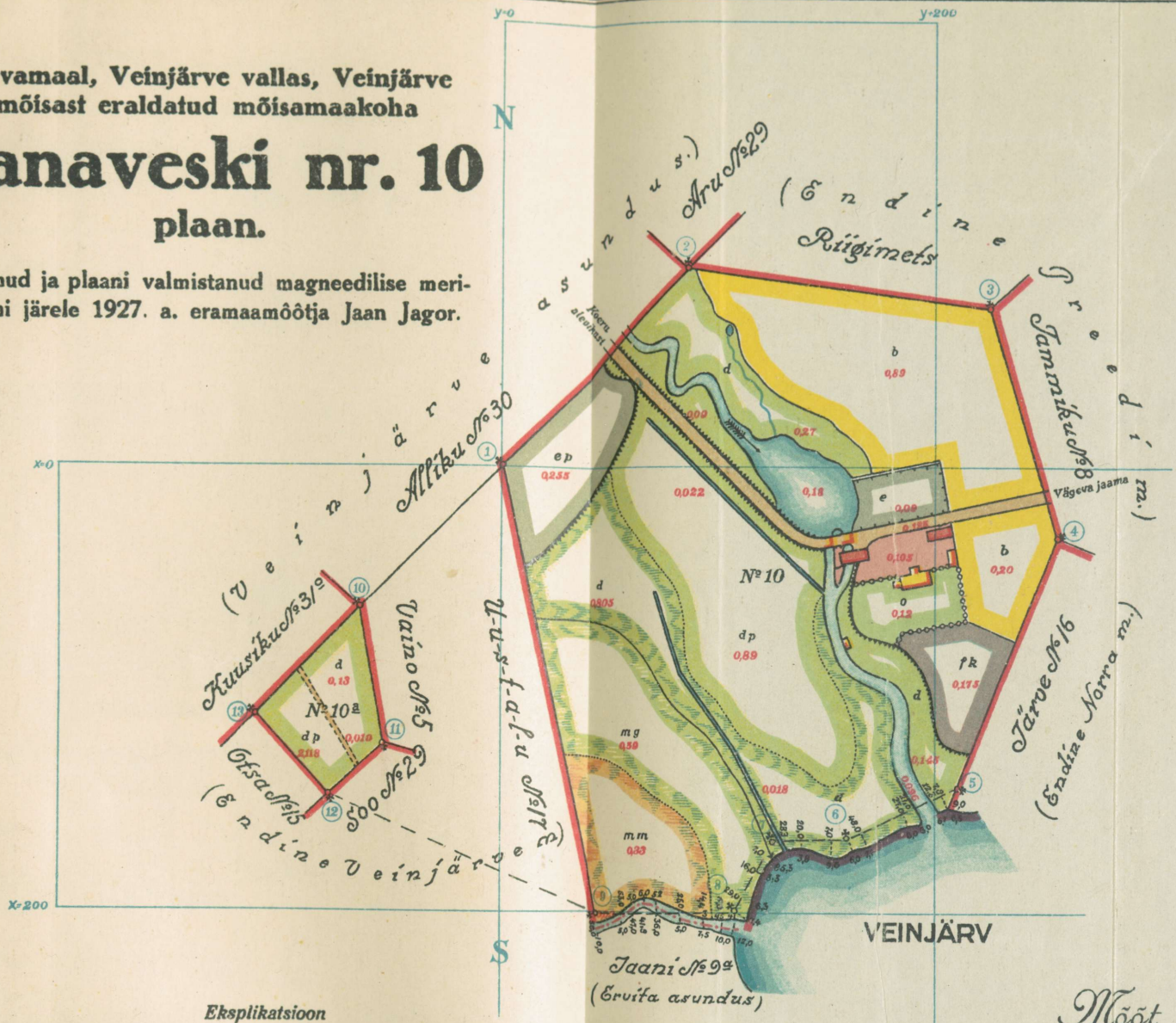
Põõsasaed

Traataed

Järvamaal, Veinjärve vallas, Veinjärve mõisast eraldatud mõisamaakoha

Vanaveski nr. 10 plaan.

Mõõtnud ja plaani valmistanud magneedilise meridiaani järele 1927. a. eramaamõõtja Jaan Jagor.



Piiriandmed

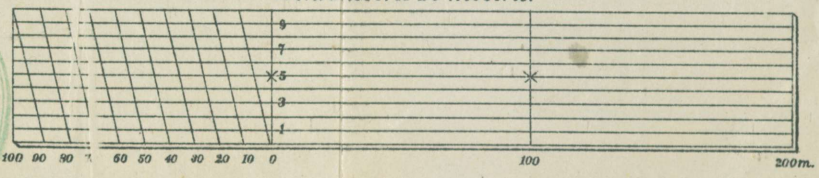
Punkti Nr.	Nurgad °	'	Asimuud. °	'	Joonis pikkus. hor. prock. natur.		Koordinaadid x	±	y
					№10				
1	122	58					0,00		0,00
2	127	45	45	02	124,00 (124,10)	+	87,61	+	87,71
3	114	00	97	16	137,30	-	70,22	+	223,89
4	141	14	163	16	106,70	-	31,97	+	254,59
5	137	09	202	02	120,80 (120,90)	-	144,01	+	209,24
6	157	09	244	53	54,40	-	167,10	+	159,99
7	238	16	267	44	53,10	-	168,41	+	126,92
8	120	27	209	28	36,00	-	199,75	+	109,21
9	101	01	269	01	66,50	-	200,89	+	42,72
			348	00	205,40				
1-10	side		225	02	90,50	-			
					№10a				
10	54	50	170	10	61,80	-	63,95	-	64,04
11	122	49	227	21	94,30	-	124,86	-	53,48
12	91	02	316	19	49,20	-	148,14	-	78,73
13	91	19	45	00	68,80	-	112,58	-	112,70
12-9	side		113	29	132,40				

(Allkiri)
Eramaamõõtja
Tallinnas 9 augustil 1927 a.

Eksplikatsioon

Asenimetus	Viljapuu aed o	Aia- põllu maa b	Heina- maa c	Karjam. e	Mets f	Soo m	Vesi	Teedõuedja ehitused	Kokku
	Hektaarid								
veski №10	0,120	1,090	2,200	0,345	0,175	0,920	0,336	0,230	5,416
" №10a			0,248					0,010	0,258
Kokku	0,120	1,090	2,448	0,345	0,175	0,920	0,336	0,240	5,674

Mõõt 1:2000
1 sentimeetris 20 meetrit.



AKADEEMILINE METSA SELTS
Tartu Ülikooli juures

ED. BERGMANN, TARTUS