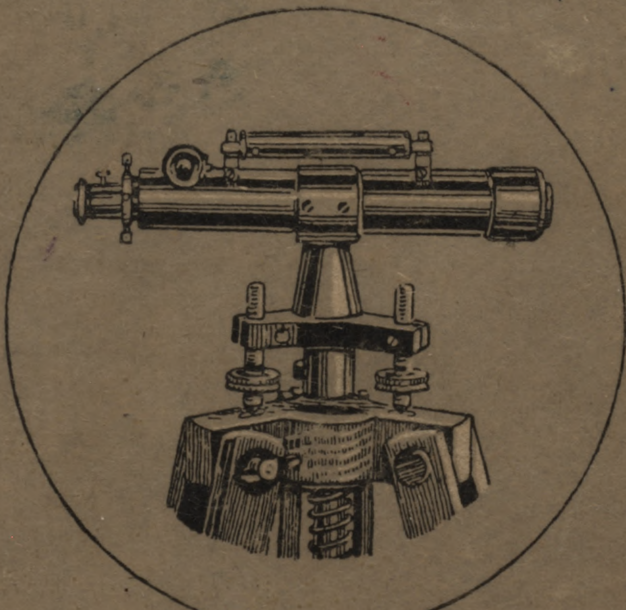
J. VILNIS

ZEMĀKĀ ĢEODEZIJA



J. VILNIS

ZEMĀKĀ ĢEODEZIJA

LATVIJAS VALSTS IZDEVNIECĪBA
RĪGĀ 1948

Я. Вилнис

КУРС НИЗШЕЙ ГЕОДЕЗИИ

На латышском языке

I. IEVADS

1. Ģeodezijas saturs

Vārds „ģeodezija" cēlies senos laikos no grieķu valodas un tulkojumā nozīmē zemes sadalīšanu. Taču mūsu laikos šis vārds ir ieguvis starptautiski daudz plašāku nozīmi un aptver sevī veselu matemātikas praktisko zinātņu nozari. Tās uzdevums ir izdarīt zemes virsas visāda veida mērījumus, pētīt pašas zemes lodes veidu un izmērus, attēlot uzmērītos zemes gabalus uz rasējamās plaknes vai globa; pēc vajadzības sadalīt zemes gabalus; noteikt zemes gabalu robežas uz plāna, kartes un dabā; izdarīt dažādus projektēšanas darbus un sastādītos projektus nospraust dabā.

Pēc izdarītiem vēsturiskiem pētījumiem Nilas un Eifratas upju baseinos ir atrasts, ka jau ap 4241. g. pirms mūsu eras ģeodezijas zinātne lietota plašos apmēros, kā to liecina atrakto inženierbūvju (lielāko tiesu ūdensbūvju) atliekas, kuru izbūve bez ģeodeziskiem mērījumiem nav bijusi iespējama.

Mūsu laikos ģeodezijas zinātne ir sasniegusi vēsturē vēl nebijušu augstu pakāpi, turklāt PSRS zinātnieki devuši visjaunākos un precizākos pētījumus par zemes elipsveida elementiem.

2. Ģeodezijas nozīme

Mūsdienu tautsaimnieciskā dzīve bez ģeodezijas nav nemaz vairs iedomājama. Visiem inženiertechniskiem darbiem, kas saistīti ar zemes virsu, ir nepieciešamas ģeodeziskās kartes un plāni, kuros ir attēlots zemes virsas reljefs, situacija un tā zemes gabala robežas, uz kura izdarāma viena vai otra techniskā būve. Tā, piemēram, ceļu būvēm, upju, kanalu un ūdensnoteku ierīkošanai, pilsētu projektēšanai un pat vienas ēkas celšanai ir nepieciešami zemes virsas mērījumi un plāni vai kartes. Arī intensivā lauksaimniecībā nav iespējams sekmīgi un labi strādāt, ja nav apstrādājamo zemju gabalu plāni. Piemēram, Latvijas PSR apstākļos nepieciešamo augu sekas maiņu nevarētu lietderīgi izdarīt, ja sēšanai izmantojamā zeme nebūtu iedalīta daudzlauku sistemās, ko savukārt var veikt, tikai lietojot ģeodeziskos plānus.

Zemes aizsardzībā ģeodezijai ir jo sevišķi liela nozīme. Viegli saprotams, ka izplānot aizsardzības ierīču novietošanas vietas, noteikt to savstarpējos, lietderīgākos un nozīmīgākos attālumus un stāvokļus varēs tikai tad, ja iepriekš būs izgatavoti labi zemes virsas uzmērījumu plāni un kartes, kuros būs uzrādīti ūdens un zemes ceļi, zemes virsas reljefs, meži, purvi, lauki, ūdeņi un esošās būves — pilsētas, ciemi, lauku saimniecības, tilti utt.

3. Ģeodezijas iedalījums

Ģeodeziju parasti iedala divās daļās:

1) *zemākā ģeodezijā,* ko sauc arī par topografiju vai topometriju, un 2) *augstākā ģeodezijā.*

Augstākā ģeodezija pētī zemes veidu un lielumu un mērījumus izdara uz lieliem zemes virsas apmēriem, turklāt tās mērījumos un aprēķinos vienmēr ir ievērots zemes virsas izliekums, t. i., savus aprēķinus tā balsta uz sferoida virsas, lietojot sferiskās trigonometrijas formulas. Augstākā ģeodezija tātad strādā ar lieliem attālumiem un lielām platībām. Tās darbu rezultatu attēlus sauc par kartēm.

Zemākās ģeodezijas darbs turpretī ierobežots uz nelielām platībām un attālumiem, līdz 20 km, un mērījumus un aprēķinus izdara uz zemes virsas platības, kas praktiski var tikt uzskatīta par plakni. Tādēļ visus aprēķinus var veikt, lietojot ģeometrijas un trigonometrijas formulas. Zemākās ģeodezijas atveidotās zemes platības un plaknes sauc par plāniem. Šinī grāmatā mēs apskatīsim *zemāko ģeodeziju.*

4. Mērīšanas būtība

Izmērīt nozīmē noteikt divu vienrada lielumu savstarpējās attiecības. Tātad, lai izdarītu mērīšanu, viens lielums jāņem par mēra vienību (etalonu), tas būtu zināmais lielums, bet otrs būs nezināmais lielums — mērījamais lielums. Mērīšanas rezultats ir skaitlis, kas rāda, cik reizes nezināmais, t. i., mērījamais lielums ir bijis lielāks vai mazāks par dotā mēra vienību.

Izšķir tiešo un netiešo mērīšanu. Ja mērījamo lielumu izmērī tieši ar mēra vienību, tad tā ir tieša mērīšana, bet, ja nezināmo lielumu nosaka pēc citiem zināmiem — jau izmērītiem lielumiem, tad tā ir netieša mērīšana. Piemēram, ja mēs taisnstūra laukumu nosakām pēc izmērīto malu garumiem, tad tā ir netieša laukuma mērīšana.

Tiešās mērīšanas rezultatā vienmēr ietilpst neizbēgamās novērsības jeb kļūdas, kas rodas no mērītāja maņu organu un instrumentu nepilnībām. Izšķir absolutas un relativas kļūdas. Mērījuma kļūda uz visu izmērījamo lielumu ir absolutā kļūda, bet kļūda uz vienu mēra vienību ir relativā kļūda. Piemēram, ja mērījumā uz 100 m ir radusies 10 cm kļūda, tad tā ir absolutā kļūda, bet relativā kļūda būs 10 cm: 100 m resp.

$$\frac{10\ \text{cm}}{100\ \text{m}} = \frac{0{,}10}{100} = \frac{1}{1000}.$$

Kļūdu rašanās cēloņi ir ļoti daudz un dažādi — katram uzmērīšanas veidam un instrumentam ir iespējamas īpatnējās kļūdas. Ģeodezija iedala kļūdas trīs galvenās kļūdu grupās:

1. rupjas kļūdas,
2. sistematiskas kļūdas,
3. gadījuma kļūdas.

Rupjas kļūdas rodas mērītāja neuzmanības vai paviršības dēļ, un tās mērniecībā nav pieļaujamas.

Sistematiskās kļūdas apzīmē par nenovēršamām, un to pieļaujamās robežas katram uzmērīšanas darbam un veidam ir stingri noteiktas ar attiecīgām instrukcijām.

Gadījuma kļūdas ir nesistematiskas, un no tām jāizvairās ar rūpīgu darbu.

5. Mēru vienības

Starptautiskā satiksme un sadarbība ir izvirzījusi vajadzību visā pasaulē pieņemt vienādas mēru vienības un vienādas mēru sistemas. Garuma, laukuma, tilpuma un svara mēriem ir pieņemta metriskā mēru sistema. Šīs sistemas pamatvienība ir metrs (m). Tas radies Lielās franču revolucijas laikā Francijā. Laikā līdz 1798. gadam visā pasaulē pastāvēja nemetriskās mēru vienības, kas gandrīz visām tautām pa lielākai daļai bija ņemtas no cilvēka auguma, piemēram: pēda — pieauguša cilvēka kājas pēdas garums no papēža līdz lielā pirksta galam; colla — īkšķa platums; ass — pieauguša cilvēka garums starp abām izplestām rokām. Katrā atsevišķā valstī pastāvēja savas mēra vienības, bet dažkārt atsevišķā valstī pat viena mēra vienība atbilda dažādiem lielumiem. Tā, piemēram, Latvijā pastāvēja garummēra vienība 1 ass, kas atsevišķos gadījumos atbilda gan 6, gan arī 7 pēdām. Daudzkārt trūka pat pieņemtās mēra vienības normalmēra, tādēļ saprotams, ka precizi salīdzināt nemetriskos mēru lielumus bija ļoti grūti, un daudzos gadījumos tas bija un ir neiespējami vēl tagad. Franču zinātnieki Delambrs un Mešēns nāca uz domām dabūt garuma mēra vienību no konstanta garuma uz zemes lodes, proti — $^1/_{10\,000\,000}$ daļu no zemes meridiana kvadranta (meridiana kvadranta garums $= ^1/_4$ zemes lodes meridiana garumam). Savus mērījumus un aprēķinus viņi beidza 1798. gadā un to rezultātā izgatavoja platina normalmēru — metru ar normalgarumu pie 0° C. Vēlāk noskaidrojās, ka Francijā pieņemtā un izgatavotā normalmēra — metra, garums nav pareiza $^1/_{10\,000\,000}$ daļa no zemes meridiana kvadranta. Sastādījās starptautiskā svaru un mēru komiteja, kas noteica, ka par mēra vienību paturams franču izgatavotais metrs, no kā pagatavojamas pareizas un nemainīgas kopijas burta X veidā šķērsgriezumā no platina (90%) un iridija (10%) raudzes (kam ir tādas pašas fizikalas īpašības kā zeltam un platinam). Kopš 1908. gada metru definē ar attālumu, kas atbilst $0{,}999914 \cdot 10^{-7}$ zemes meridiana kvadrantam jeb sarkanās kadmija līnijas 1 553 163,5 viļņa garumam.

Metriskās mēru sistemas tagad ir ieviestas visās kulturalās valstīs un tām ir šādas priekšrocības:

1) Pamatvienība — metrs ir ņemts no nemainīgiem dabas elementiem.

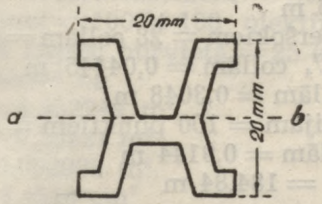
2) Mēru decimalā sakarība dod ērtu un atvieglotu aprēķināšanas iespēju.

3) Garuma, platības, tilpuma un svara mēru vienības ir saistītas vienkāršā un ērtā sakarībā.

Ir zināms, ka garuma mēri ar siltuma palielināšanos kļūst garāki un ar tā samazināšanos — īsāki. Tādēļ precizai garuma noteikšanai ir jāzina lietojamā mēra materiala izplešanās un saraušanās koeficients dažādās temperaturās.

Arī normalmēra (etalona) īstais garums ir noteikts zināmā, noteiktā temperatūrā un atkarībā no tā, no kāda materiala tas izgatavots.

Preciziem mērījumiem izgatavotos mērus salīdzina ar normalmēru speciali konstruētos aparatos, kurus sauc par komparatoriem jeb mēru salīdzinātājiem.



1. zīm. Normalmēra (metra) šķērsgriezums.

Metriskajā mēru sistemā lielāku mēru vienību apzīmēšanai lieto grieķu vārdu zilbes, bet mazāku — attiecīgu latiņu vārdu zilbes, turklāt *tera* nozīmē 10^{12}, *giga* $= 10^9$, *mega* $= 10^6$, *kilo* $=$ 10^3, *hekto* $= 10^2$, *deka* $= 10^1$, *deci* $= 10^{-1}$, *centi* $= 10^{-2}$, *mili* $=$ $= 10^{-3}$, *mikro* $= 10^{-6}$, *nano* $= 10^{-9}$ un *piko* $= 10^{-12}$ no pamatvienības.

6. Garuma mēri

a) Metriskie garuma mēri

1 km (kilometrs) = 1000 m
1 hm (hektometrs) = 100 m
1 dkm (dekametrs) = 10 m
1 dm (decimetrs) = 0,1 m
1 cm (centimetrs) = 0,01 m
1 mm (milimetrs) = 0,001 m
1 μ (mikrons) = 0,001 mm = 0,000001 m
1 mμ (milimikrons) = 0,001 μ = 0,000000001 m

b) Nemetriskie garuma mēri

1 angļu jūdze = 1 760 jardiem = 1 609,33 m
1 franču jūdze = 4 451,9 m
1 krievu jūdze = 7 verstīm = 7 467,5 m

1 vācu (prūšu) jūdze = 7 532,48 m
1 jūras jūdze = (zemes merid. 1′ gar.) = 1 852,0 m (Amerikā 1 854,96 m)
1 ģeografiskā jūdze = (zemes ekvat. 4′ gar.) = 7 420,4 m
15 ģeografiskās jūdzes = zemes ekvatora 1° garumam
1 versts = 500 saženiem = 1 066,79 m
1 sažens = 3 aršinām = 7 pēdām = 84 collām = 48 veršokiem = 2,1336 m
1 aršina = 16 veršokiem = 28 collām = 0,7112 m
1 veršoks = $1^3/_4$ collām = 0,04445 m
1 pēda = 12 collām = 0,3048 m
1 colla = 10 līnijām = 100 punktiem = 0,0254 m
1 jards = 3 pēdām = 0,9144 m
1 stadija (rom.) = 184,84 m

Latvijā vēl pastāvēja:

1 ass = 6 pēdām = 1,8288 m
1 Prūsijas pēda (Reinlandes) = 0,3138535 m
mērnieka olekts = 2 angļu pēdām = 0,6096 m
1 mērnieka kārts = 13 pēdām 4 collām = 4,064 m

c) Astronomiskās garuma vienības

1 mpc (megaparseks) = 1000 kpc (kiloparsekiem) = 1 000 000 pc (parsekiem)
1 kpc = 1 000 pc = 3 260 gaismas gadiem
1 pc = 3,2598 gaismas gadiem = 206 264,806 astronomiskām vienībām = 9 460 000 000 000 km
1 astronomiskā vienība (vidējais saules attālums no zemes) = = 149 504 200 km
Vidējais mēness attālums = 384 400 km
Vidējais zemes radijs = 6 370,260 km
1 ekvatora grads = 111,306 km
1 vidējais meridiana grads = 111,111 km

7. Laukuma mēri

a) Metriskie laukuma mēri

1 m^2 = 1 m × 1 m kvadrata laukums
1 a (ars) = 100 m^2 (kvadratmetriem)
1 ha (hektars) = 10 000 m^2 = 100 a
1 km^2 (kvadratkilometrs) = 1 000 000 m^2 = 100 ha

1 dm^2 (kvadratdecimetrs) = 0,01 m^2
1 cm^2 (kvadratcentimetrs) = 0,0001 m^2
1 mm^2 (kvadratmilimetrs) = 0,000001 m^2

b) Nemetriskie laukuma mēri

1 kvadratversts = 113,81 ha
1 desetina = 2 400 kvadratsaženiem = 1,09254 ha
1 Vidzemes pūrvieta = 100 × 100 olektīm = 0,3716122 ha
1 mucu vieta = 35 kapes; pūrvietā = 25 kapes[1]
1 kape = 0,0148644864 ha
1 kvadratsažens = 4,552249 m^2
1 kvadrataršina = 0,50581 m^2
1 kvadratpēda = 0,092903 m^2
1 kvadratcolla = 6,4516 cm^2

8. Leņķu mēri

Leņķu lielumus izteic šādās mēru vienībās:
a) Gradu mēros.
b) Loku jeb analitiskos mēros.
c) Ar chordu garumu.
d) Goniometriskās funkcijās.

a) Gradu mēri

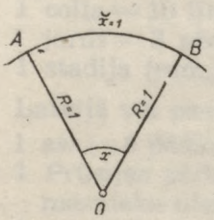
Ap vienu punktu resp. centru var veidot pēc patikas dažāda lieluma leņķus, un visu šo leņķu kopsuma ir konstants lielums — pilns leņķis (360°). Leņķa mēra vienība — grads (°) pēc vecā *seksagesimalā* iedalījuma ir pilna leņķa $^1/_{360}$ daļa. Grads savukārt tiek dalīts vēl 60 minutēs (60′) un minute vēl 60 sekundēs (60″). Tātad pēc seksagesimalā iedalījuma pilnā leņķī ir 360° jeb 360 × 60′ = 21 600′ jeb 360 × 60 × 60″ = 1 296 000″. Kvadrantā jeb taisnā leņķī tad ir $\frac{360}{4} = 90°$. Pēc jaunā *centesimalā* iedalījuma grada lielums ir noteikts $^1/_{400}$ daļa no pilna leņķa. Šo jauno gradu apzīmē ar g un sadala pēc metrisko mēru sistemas principa. Tātad pēc jaunā — centesimalā iedalījuma pilnā leņķī ir 400 g = 4 000 dg (decigradi) = 40 000 cg (centigradi) = 400 000 mg (miligradi) = 4 000 000 dmg (decimiligradi).

[1] Dažreiz pūrvietā skaitītas arī 16 kapas.

Jaunajam sadalījumam ir ievērojamas priekšrocības kā leņķu mērīšanā ar instrumentiem, tā arī izmērīto leņķu tālākajā apstrādāšanā. Taču šī leņķu mēra vienība g pagaidām nav vēl ieguvusi starptautiskā apmērā sev noteicošo vietu, un šādu iedalījumu lieto tikai atsevišķās valstīs Vakareiropā.

b) *Loka jeb analitiskais mērs*

Loka jeb analitiskā mēra vienība ir tāds centralais leņķis, kura loka garums ir vienāds ar loka radiju. Ja radijs ir 1 (viens), tad arī loka garums ir 1 (viens).



2. *zīm.*

Iztirzāsim sakarību starp leņķa gradu mēriem un tā paša leņķa loka mēriem.

Pieņemsim, ka 2. zīmējumā attēlotais leņķis $AOB = x^\circ$ un loka radijs $R = 1$. Aprēķināsim, cik lielam jābūt $\sphericalangle x$, lai tā analitiskais mērs būtu $= 1$, t. i., lai arī loka garums $AB = 1$.

No zīmējuma varam rakstīt, ka

$$\breve{AB} = 2\pi R \frac{x''}{360 \cdot 60 \cdot 60''} = 2 \cdot \pi \, 1 \frac{x''}{360 \cdot 60 \cdot 60''}.$$

Tā kā lokam jābūt $= 1$, tad

$$2\pi \, 1 \frac{x''}{360 \; 60 \cdot 60''} = 1;$$

$$x'' = 206\,264,8062471'' \cong 206\,265''$$

$$\text{vai } x' = 3\,437,746770785' \cong 3438' \text{ vai}$$

$$x^\circ = 57,2957795131^\circ = 57^\circ 17' 44,8062471'' \cong 57,3^\circ.$$

Šos konstantos lielumus apzīmē ar ρ(ro):

$$\rho'' = x'' \cong 206\,265''$$

$$\rho' = x' \cong 3\,438'$$

$$\rho^\circ = x^\circ \cong 57,3^\circ.$$

Pāreja no loka mēriem uz leņķa gradu, minušu un sekunžu mēriem ir šāda:

$$x^\circ = \rho^\circ \cdot \breve{x} = 57,3^0 \cdot \breve{x} \text{ (noapaļojot)},$$

$$x' = \rho' . \breve{x} = 3\,438' . \breve{x} \text{ (noapaļojot)},$$

$$x'' = \rho'' \breve{x} = 206\,265'' . \breve{x} \text{ (noapaļojot)}.$$

Gradu mērus tad pārvērst loka mēros var šādi:

$$\breve{x} = \frac{1}{\rho^o} . x^o = 0{,}017453\ x^o;\ \breve{x} = \frac{1}{\rho'} x' = 0{,}0002909\ x' \text{ un}$$

$$\breve{x} = \frac{1}{\rho''} . x'' = 0{,}000004848 . x''.$$

Piemēri.

1. Pārvērst 90° leņķi analitiskā mērā.

Tad $\breve{x} = \frac{1}{\rho^0} . x^o = \frac{1}{57{,}3^0} . 90^o = 1.5708 = 1/2 . 3{,}1416 = \frac{\pi}{2}$.

2. Dots loka radijs R^1 un centralais leņķis α, kas izteikts analitiskā mērā $= \breve{\alpha}$. Atrast loka garumu l.

Pie radija $R = 1$ loka garums ir $\breve{\alpha} . 1$.

Pie radija R^1 loka garums būs $l = \breve{\alpha} . R'$ un $\breve{\alpha} = \frac{l}{R'}$;

$$\alpha'' = \breve{\alpha} . 206\,265;$$

$$\breve{\alpha} = \frac{l}{R'} . 206\,265.$$

3. Cik liels ir zemes meridiana loka garums kilometros, kas atbilst zemes ģeografiskā platuma $\sphericalangle \varphi = 1'$?

Tad $\alpha = 1' = 60''$;

$R = 6\,000$ (tuvināts zemes radijs km).

$$l = \breve{\alpha} . R;$$

$$l = \frac{60}{206\,265} . R \cong 1{,}85 \text{ km}.$$

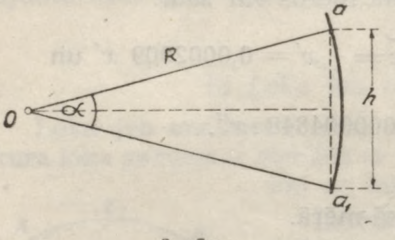
4. Loka l garums pie $R = 6\,000$ km ir 100 km. Cik liels ir lokam atbilstošais leņķis?

$$\breve{\alpha} = \frac{100}{6\,000} = \frac{1}{60};\ \alpha'' = \breve{\alpha} . 206\,265;$$

$$\alpha'' = \frac{1}{60} . 206\,265 = 3\,438'' = 57',18.$$

c) Chordu mērs

Leņķus var mērīt arī ar chordu garumiem, un savukārt chordu garumus var noteikt pēc izmērītiem leņķiem. Pēc 3. zīmējuma mēs redzam, ka



$$\frac{h}{2} = R \cdot \sin\frac{\alpha}{2};$$

$$h = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2}.$$

3. zīm.
R — loka radijs; h — chordas garums;
a′ — chordas gala punkti;
α — leņķis.

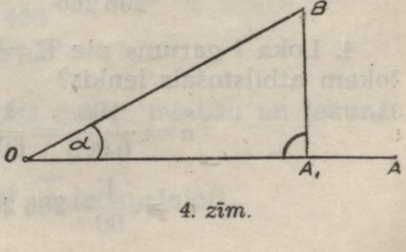
Ja R izteic ar apaļu skaitli, piemēram, 10, 20, tad chordu aprēķināšana pēc izmērītiem leņķiem ir sevišķi ērta un gadījumos, kad jāuzliek izmērītie leņķi uz plāna, ir viegli tos konstruēt: ar pieņemto radiju novelk loku un to nošķeļ ap aprēķināto chordu. Ar centru savienotie chordas gala punkti veido izmērīto leņķi.

Tāpat viegli noteikt leņķa lielumu. Uz leņķa malām ar zināmu radiju R atzīmē punktus a a_1 un izmērī chordas garumu h. Pēc iepriekš uzrādītām formulām var aprēķināt chordai atbilstošo leņķi α. Ja mērījamais leņķis ir lielāks par 90°, tad ir izdevīgāk izmērīt vai konstruēt papildinājuma leņķi līdz 180°, vai arī līdz 360°.

d) Goniometriskās funkcijas

Leņķus var ērti konstruēt un arī izmērīt pēc tangentes funkcijām. Piemēram, 4. zīmējumā mums ir konstruēts leņķis $\alpha = 27°29'$.

No dotā centra novelkam taisni OA. Uz taisnes atliekam 10 cm atgriezni OA_1 un punktā A_1 uzceļam stateni. Pēc trigonometrisko funkciju skaitliskām vērtībām tg $27°29' = 0{,}52020$; reizinot to ar 10, dabūjam 5,202, kas jāuzliek uz stateņa A_1B.



4. zīm.

Savienojot B ar O, esam konstruējuši vajadzīgo leņķi α. Viegli saprast, ka izdarot līdzīgā veidā leņķu uzmērīšanu ar tangenšu atgriezumiem, mēs varēsim noteikt arī leņķu lielumus gradu mēros.

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{A_1B}{OA_1}; \quad \lg \operatorname{tg}\alpha = \lg A_1B - \lg OA_1.$$

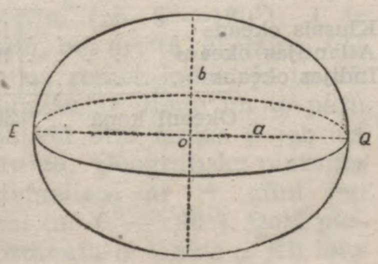
9. Zemes veids

Zemes virsu mēdz klasificēt divējādi: *fiziskā zemes virsa* un *matemātiskā zemes virsa*. Par fizisko zemes virsu sauc visu redzamo zemes virsu, kā: kalnus, ielejas, upes, ezerus, okeanus, mežus, stepes, tuksnešus utt. Matemātiskā zemes virsa ir tā virsa, kas rastos, ja mēs iedomātos okeana līmeņa mierīgā stāvokļa turpinājumu zem cietzemes. Runājot par zemes veidu, jāiedomājas zemes matemātiskā virsa. Ir zināms, ka apm. $^3/_4$ resp. ap 70,8% no visas zemes virsas ir aizņemta ar ūdeņiem un ka sauszeme tikai nedaudz paceļas virs jūras līmeņa. Tādēļ vispārējo zemes virsas veidu mēs varam iedomāties kā virsu, kas sakrīt ar jūru un okeānu līmeni mierīgā stāvoklī. Šo virsu sauc par *geoida virsu.*

Ar zemes veida pētīšanas darbiem zinātnieki ir nodarbojušies jau sirmā senatnē. Noteikti nav zināms, kas pirmais pierādījis, ka zeme nav plakne, bet jau 16. gs. pirms mūsu eras ir valdījis ieskats, ka zeme ir apaļa, lodei līdzīga. Drīz pēc tam, starp 16. un 17. gs. pirms mūsu eras, zinātnieki secināja, ka zeme ir sferoidam līdzīga figura.

Līdz šim vairākkārtīgos pētījumos ir atrasts, ka zemes veids vistiešāk līdzinās rotacijas ķermenim, ko veido elipse, kas griežas ap savu mazo asi b (sk. 5. zīmējumu).

Zemes figuras veidotājas elipses ass izmērus ir pētījuši daudzi zinātnieki, taču līdzšinējie pētījumu rezultati neapmierināja PSRS valsts vajadzības un PSRS zinātniekus, kas tagad ir izpētījuši un noteikuši visprecizākos un jaunākos zemes elipsveida elementus. Līdz šim Padomju Savienībā lietotie Besela elementi bija šādi:



5. zīm.

$a = 6\,377\,397{,}155$ m (lielā pusass — ekvatoriālā);
$b = 6\,356\,078{,}963$ m (mazā pusass — polarā).

Polarais saspiedums $p = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{299{,}1528}$.

Ar PSRS Ministru Padomes 1946. g. 7. apriļa dekretu noteikts turpmāk lietot profesora F. N. Krasovska noteiktos elementus:

$$\text{lielā pusass } a = 6\,378\,245 \text{ m}$$

$$\text{un } p = \frac{1}{298{,}3}.$$

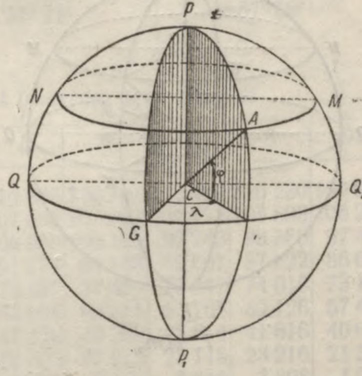
Praktisko aprēķinu vienkāršošanai niecīgo polaro saspiedumu p var ignorēt un elipsoidu pieņemt par lodi ar $R = 6\,370$ km.

Zemes virsas ūdeņu un cietzemes izplatījumu apmēri sakopoti turpmāk uzrādītajā tabulā.

Pasaules daļas un okeani	km²	% no cietzemes kopplatības	% no visas zemes lodes virsas
Eiropa	9 970 000	6,7	2,0
Azija	44 180 000	29,7	8,7
Afrika	29 820 000	20,0	5,9
Ziemeļamerika	24 200 000	16,3	4,7
Dienvidamerika	17 780 000	11,9	3,5
Australija ar okeana salām . .	8 900 000	6,0	1,7
Antarktida	14 000 000	9,4	2,7
Cietzeme kopā .	148 850 000	100	29,2
		% no ūdeņu kopplatības	
Klusais okeans	180 100 000	49,8	35,3
Atlantijas okeans	106 000 000	29,4	20,8
Indijas okeans	75 000 000	20,8	14,7
Okeani kopā . .	361 100 000	100	70,8

10. Jēdziens par ģeografiskām koordinatām

Iedomāsimies 6. zīmējumā attēlotu zemes lodi un uz tās virsas zināmu punktu A. Zemes ass būs PP_1. Pieņemsim, ka caur punktu A un zemes asi PP_1 plakne P_1AP šķeļ zemes lodi. Šīs plaknes un zemes lodes virsas veidotais loks ir punkta A meridians.

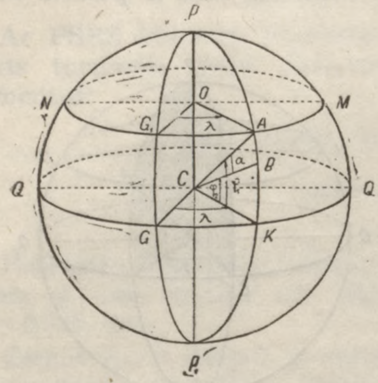


6. zīm.

Ja iedomāsimies otru plakni, kas caur punktu A stateniski zemes asij PP_1 šķeļ zemes lodi, tad dabūsim mazo loku NAM, ko sauksim par punkta A paraleli. Protams, ka arī kaut kuru citu punktu paraleles uz zemes lodes ir loki, bet vislielākais loks ir tas, kas iet caur zemes centru C, un to sauc par zemes ekvatoru — QQ_1. Ekvators sadala zemes lodi divās daļās — ziemeļu un dienvidu puslodēs. Apskatīsim, kā noteikt punkta A atrašanās vietu uz zemes lodes. Vispirms jānosaka punkta A meridiana atrašanās vieta attiecībā pret kādu citu meridianu, kas jāpieņem par sākuma meridianu jeb nullmeridianu. Par sākuma jeb nullmeridianu ir pieņemts meridians, kas iet caur Grinvičas observatorijas tālskata vertikalo asi. Pieņemsim, ka P_1GP ir sākuma meridians, tad punkta A meridiana atrašanās vietu pilnīgi noteic leņķis starp nullmeridianu un punkta A meridianu. Šo leņķi sauc par *ģeografisko garumu* un apzīmē ar λ. Ģeografisko garumu uz rītiem no nullmeridiana apzīmē ar $+$ zīmi (no $0°$—$180°$), bet uz vakariem ar — zīmi (no $0°$—$180°$). λ ir punkta A viena ģeografiskā koordinata, bet arī tā, protams, vēl nenosaka punkta A atrašanās vietu uz zemes lodes, jo uz šā meridiana var būt bezgala daudz punktu ar vienu un to pašu ģeografisko garumu. Tātad ir jāzina vēl otrs leņķis φ jeb arī loks AK, ko sauc par *ģeografisko platumu*. Ģeografisko platumu skaita no ekvatora $QGKQ_1$ uz ziemeļiem ar $+$ zīmi (no $0°$—$90°$) un uz dienvidiem ar — zīmi (no $0°$— $90°$). Dotā piemērā punkta A otra ģeografiskā koordinata ir leņķis φ jeb loks AK.

Tātad uz zemes lodes ikkatra punkta atrašanās vieta ir nosakāma ar ģeografisko garumu un platumu.

Apskatīsim meridiana un paraleles loku garumu vienkāršāko aprēķināšanas veidu. Rupjos aprēķinos zemi var uzskatīt par sferu ar radiju $R = 6\,370$ km.



7. zīm.

Pieņemsim, ka 7. zīmējumā mums ir jānosaka meridiana loka garums starp punktiem A un B. Mēs redzam, ka centralais leņķis $\alpha = \varphi_1 - \varphi_2$; φ_1 ir punkta A un φ_2 ir punkta B ģeografiskais platums, kas būs izteikti resp. nosakāmi vai nu grados, minutēs vai sekundēs. Mēs varam rakstīt, ka

$$\frac{\breve{AB}}{2\pi R} = \frac{\alpha^0}{360^0}. \text{ Tad } \breve{AB} = \frac{\alpha^0 \pi R}{180^0}.$$

$$\breve{AB} = \frac{\alpha^0 R}{\rho}; \text{ ieliekot } \alpha \text{ nozīmi,}$$

$$\breve{AB} = \frac{R(\varphi_1 - \varphi_2)}{\rho}; \quad \breve{AB} = \frac{R}{\rho} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

$$\text{Viena grada garums} = \frac{R}{\rho^0} \cong 111{,}1 \text{ km.}$$

Punktam A aprēķināsim paraleles loka garumu G_1A. Tātad mums ir jāņem paralele NG_1AM, kas noteikta ar platumu φ_1. Paraleles loka radijs $OA = R_{\cos}\,\varphi_1$. Loka garums AG_1, kas noteikts ar ģeografisko garumu $\lambda \sphericalangle G_1OA$, būs

$$\breve{G_1A} = \frac{\lambda}{\rho} \cdot R_{\cos}\,\varphi_1.$$

Aprēķināsim (Rīgas) paraleles viena grada garumu, kas atrodas uz platuma φ aptuveni $= 57°$. Piemērojot iepriekšējo formulu,

$$\left.\begin{array}{l} \lambda = 1° \\ \rho° = 57{,}29578° \\ R = 6\,370 \text{ km} \\ \varphi_1 = 57° \end{array}\right\} \quad G_1A = \frac{1^0}{57{,}29578°} \cdot 6\,370 \,.\, \cos\, 57° \cong 60{,}6 \text{ km.}$$

Ilustracijai uzrādīsim dažu pilsētu ģeografiskās koordinatas.

Pilsētas	λ^0	φ^0
Liepāja	$+21^0 02'$	$+56^0 30'$
Valka	$+26^0$ —	$+57^0 46'$
Rīga	$+24^0 06' 31''$	$+56^0 56' 49''$
Zilupe	$+28^0 10'$	$+56^0 22'$
Ainaži	$+24^0 22'$	$+57^0 50'$

Zemes paraleļu gradu garumi (metros) (pēc Besela)

φ^0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	111 307	111 290	111 239	111 155	111 037	110 886	110 701	110 482	110 230	109 945
10	109 627	109 275	108 890	108 472	108 021	107 538	107 022	106 473	105 893	105 280
20	104 635	103 958	103 250	102 510	101 740	100 938	100 106	99 243	98 350	97 427
30	96 475	95 493	94 482	93 442	92 374	91 277	90 153	89 001	87 822	86 616
40	85 384	84 125	82 841	81 531	80 196	78 837	77 454	76 047	74 616	73 163
50	71 687	70 189	68 670	67 129	65 568	63 986	62 385	60 765	59 126	57 468
60	55 793	54 101	52 392	50 666	48 926	47 170	45 399	43 614	41 816	40 005
70	38 182	36 346	34 500	32 643	30 775	28 893	27 012	25 118	23 216	21 307
80	19 391	17 469	15 542	13 610	11 673	9 733	7 790	5 845	3 898	1 949

11. Kādu zemes virsas daļu var uzskatīt par plakni

Mēs jau iepriekš atzinām, ka zemes virsa ir uzskatāma par liektu geoida virsu. Zemes virsas izliekums mazā platībā praktiski nav manāms, bet platībai palielinoties, tā sasniegs lielumu, ko vairs nevarēs arī praktiskos jautājumos ignorēt un zemes virsas mērījumos, aprēķinos un attēlos būs jāievēro zemes virsas izliekums. Tādēļ ir svarīgi noteikt robežu, cik liela zemes platība ir uzskatāma par plakni.

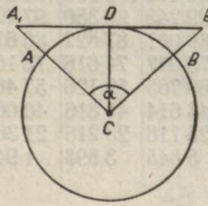
Mēs zinām, ka, izdarot mērīšanas un tāpat arī rasēšanas darbus, tajos ieviešas nenovēršamas un neņojaušamas kļūdas kā sekas no mūsu maņu organu un instrumentu nejutības un nepilnības. Tas darbu rezultātā arvien rada zināmu, neizbēgamu kļūdu lielumu.

Par plakni tad nu var pieņemt tik lielu zemes virsas laukuma horizontalo projekciju, kas atšķiras no tās pašas platības sferiskā laukuma tikai par lielumu, ko platību uzmērīšanā un attēlošanā dod pieļaujamo kļūdu kopsuma.

Še jāievēro, ka ģeodeziskos uzmērīšanas darbus izdara ar dažādu noteiktību, skatoties pēc tā, ar kādiem instrumentiem uzmērīšanu izdara un kāda prasība uzstādīta uzmērīšanas noteiktībai. Tāpat jāievēro, ka cilvēka acs normalā redzes spēja ierobežota, un attālumu, kas mazāks par $^1/_{20}$ mm, mēs vairs nespējam saredzēt. Katras uzmērīšanas noteikumu robežās par plakni varēs pieņemt dažāda lieluma zemes virsas daļu.

Aprēķināsim, kādas kļūdas rodas horizontalos attālumos, ja liekto zemes virsu uzskatīsim par plakni. Pieņemsim, ka 8. zīmējumā $\overset{\frown}{ADB}$ ir zemes virsas attālums, kuru mēs vēlamies pieņemt par taisni A_1B_1.

Aprēķināsim, kādas starpības radīsies pie dažādiem attālumiem starp $\overset{\frown}{ADB}$ un $\overline{A_1B_1}$ garumiem.



8. zīm.

$$\overset{\frown}{AD} = \overset{\frown}{DB} = R\frac{\alpha}{2},$$

$$\overline{A_1D} = \overline{DB_1} = R\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2},$$

$$\overline{A_1B_1} - \overset{\frown}{AB} = 2R\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - 2R\frac{\alpha}{2} =$$

$$= 2R\left(\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2}\right);$$

$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$ izteikts radianos, t. i., loka jeb analitiskos mēros =

$$= \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{3}(^{\alpha}/_2)^3 + \frac{2}{15}(^{\alpha}/_2)^5 + \ldots$$

Ieliekot šo nozīmi formulā, dabūsim, ka starpība

$$\overline{A_1B_1} - \overset{\frown}{AB} = \Delta l = 2R\left[\frac{1}{3}(^{\alpha}/_2)^3 + \frac{2}{15}(^{\alpha}/_2)^5 \ldots\right].$$

Tā kā $\sphericalangle \alpha$ ir mazs lielums, tad sarindojumā augstākas pakāpes par trešo var atmest un tad starpība $\Delta l = \frac{2}{3}R(^{\alpha}/_2)^3$.

Tā kā $^{\alpha}/_2 = \frac{l}{R}$ un $\overset{\frown}{AD} = \overset{\frown}{DB} = l$, tad, ieliekot šos lielumus formulā, starpība $\Delta l = \frac{2 \cdot l^3}{3R^2}$.

Pēc šīs formulas aprēķināsim starpības Δl resp. kļūdas, kas rodas starp attālumiem, ja mēs zemes izliekumu pieņemam par taisni, vai citiem vārdiem — ja zemes virsu pieņemam par plakni.

Izdarot aprēķinus pie $l = 1, 2, 3, 10, 30$ un 100 km, dabūjam šādas kļūdas:

uz	1 km	—	0,00164	cm
„	2 „	—	0,0114	„
„	3 „	—	0,0444	„
„	10 „	—	0,0164	m
„	20 „	—	0,1314	„
„	30 „	—	0,4436	„
„	100 „	—	16,429	„

Pārveidojot iepriekšējo formulu, varam rakstīt, ka

$$l = \sqrt[3]{\Delta l \,.\, 1{,}5R^2}.$$

Pēc šīs formulas varam aprēķināt attālumus, pie kuriem kļūda sasniegs noteiktu lielumu. Piemēram, mums jānoteic, pie kāda attāluma kļūda būs 1,0 cm.

Ieliekot formulā Δl vietā un R vietā to lielumus, mēs izskaitļojot atrodam, ka kļūda 1,0 cm radīsies pie attāluma 8,5 km.

12. Horizontalā un vertikalā uzmērīšana

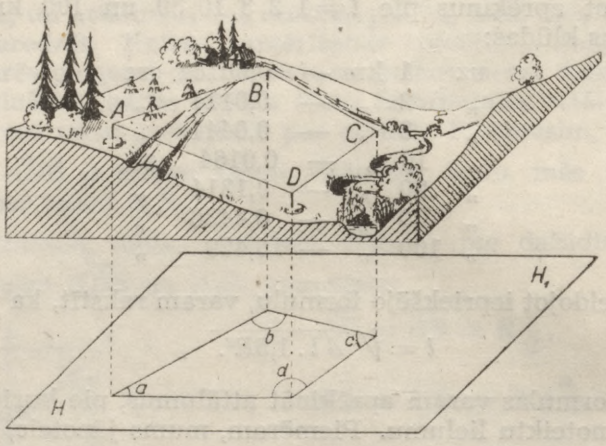
Ja uzmērīšanas darbus izdara tā, lai zemes virsas dažādu punktu savstarpējo stāvokli varētu noteikt pēc to projekcijām horizontalā plaknē, tad tādu uzmērīšanu sauc par *horizontalo uzmērīšanu.*

Piemēram, pieņemsim, ka 9. zīmējumā parādītā plakne HH_1 ir horizontala un dabā esošie punkti $ABCD$ projektēti uz šīs plaknes punktos $abcd$, tad dabā esošais četrstūris attēlosies uz horizontalās plaknes savā horizontalā projekcijā.

Horizontalie uzmērīšanas darbi tad arī jāveic ar tādu apsvērumu, lai pēc uzmērījumu datiem varētu uz plaknes attēlot uzmērītā zemes gabala horizontalo projekciju.

Ja dažādu zemes virsas punktu savstarpējo stāvokli noteic pēc to projekcijām uz vertikalās plaknes, tad tādu uzmērīšanu sauc par *vertikalo uzmērīšanu.* Šos uzmērīšanas darbus sauc arī vēl par līmenošanu jeb nivelēšanu.

9. zīmējumā mēs redzam, ka vertikalā uzmērīšanā ir jānoteic dabā esošo punktu $ABCD$ vertikalie attālumi no horizontalās plaknes HH_1, tas ir, aA, bB, dD un cC.



9. zīm.

13. Plāns un profils

Viegli saprotams, ka dabā uzmērīto zemes gabalu dabiskā lielumā attēlot uz plaknes nav ne parocīgi, ne arī ekonomiski. Tādēļ ir pieņemts uzmērīto zemes gabalu horizontalās projekcijas attēlot uz plaknes (parasti papīra) samazinātā veidā un tādu attēlu saukt par *plānu*.

Ja uz plaknes ir attēlots zemes virsas griezums ar vertikalu plakni dabiskā lielumā vai parasti samazinātā lielumā, tad tādu attēlu sauc par *profilu*.

II. HORIZONTALĀ PLAKNE, SVĒRTENIS UN LĪMEŅRĀDIS

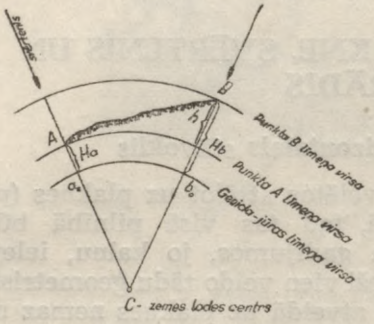
14. Zemes gabalu horizontalais stāvoklis

Ja uzmērītos zemes gabalus vēlētos attēlot uz plaknes (papīra) zemes fiziskās virsas veidā, tad tas visā pilnībā būtu iespējams tikai retos izņēmuma gadījumos, jo kalnu, ieleju, upju u. c. nelīdzenumu formas bieži vien veido tādu ģeometrisku figuru sakopojumus, kas pareizā atveidā uz plaknes nemaz neļaujas izklāties resp. projecēties. Piemēram, dabā visbiežāk sastopamās liektās, lodes virsai līdzīgās virsas bez sagrozījumiem uz plaknes izklāt nav iespējams. Tāpēc visos gadījumos, kad zemes fiziskā virsa nesakrīt vai nav paralela zemes matematiskai virsai, uz plaknes nekad neattēlo zemes fiziskās virsas, bet gan zemes gabala samazinātās zemes matematiskās virsas. Ikkatra zemes gabala fiziskās virsas projekcija uz zemes matematisko virsu ir arī šā zemes gabala horizontalais stāvoklis.

15. Horizontalās un vertikalās pamatlīnijas un plaknes. Svērtenis

Mēs jau zinām, ka zemes matematiskā virsa teoretiski nav plakne, bet gan liekta — geoida virsa. Taču, ja mērniecības darbus izdara tehniskām vajadzībām, tad matematiskās zemes virsas laukumu, kura vislielākā distance nepārsniedz 20 km, var pieņemt par plakni. Piemēram, ja 10. zīmējumā mēs iedomājamies attēlotu fizisko zemes virsu ar dažādi liektu līniju $\overset{\frown}{AB}$ un geoida jeb matematisko zemes virsu ar $\overset{\frown}{a_0b_0}$, tad, ja attālums $\overset{\frown}{a_0b_0}$ nepārsniedz 20 km, mēs tehniskām vajadzībām to varam uzskatīt par horizontalu līniju, neievērojot zemes izliekumu.

No fizikas likumiem mēs zinām, ka zemes pievilkšanas spēks darbojas uz visiem ķermeņiem virzienā uz zemes centru. Zemes pievilkšanas spēka virzienu sauc par *vertikalu virzienu*. Vertikalās līnijas virzienu dod brīvi un nekustīgi turēta aukla, kuras galā piekārts atsvars. Auklu ar atsvaru sauc par *svērteni*. Plakni, kas sakrīt ar vertikalu līniju, sauc par *vertikalu plakni*. Pēc 10. zīmējumā uzrādītajiem apzīmējumiem un svērteņa attēliem redzamas zemes virsas punktu *A* un *B* vertikalās līnijas *AC* un *BC*. Zemes virsas punktu *A* un *B* attālumi virs geoida (zemes matematiskās virsas jeb jūras līmeņa) virsas attēloti ar vertikalo līniju atgriežņiem *(Ha* un *Hb)*, t. i., punkts *A* virs geoida virsas atrodas attālumā *Ha*, bet punktu *A* un *B* savstarpējo stāvokli vertikalajā plaknē raksturo atgrieznis *h resp. Hb — Ha.*



10. zīm.

Līniju, kas ir stateniska vertikalajai līnijai, sauc par *horizontalo līniju*. Tāpat pret vertikalo līniju perpendikulari esošo plakni sauc par *horizontalu plakni*.

Tā kā techniskām vajadzībām 20 km attālumu var pieņemt par plakni, tad arī vertikalās līnijas šajos attālumos jāuzskata par savstarpēji paralelām. Tātad pēc 10. zīmējuma varam pieņemt, ka, ja loka a_0b_0 garums nepārsniedz 20 km, tad līnija Aa_0 ir paralella līnijai Bb_0.

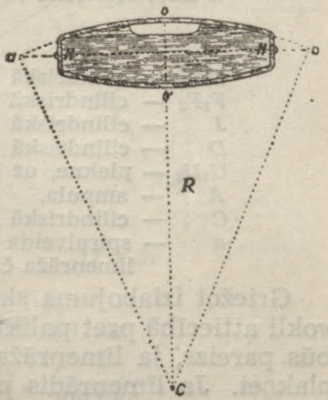
16. Līmeņrādis

Ģeodeziiąs darbos līmeņrādim ir ļoti svarīga nozīme. Ar līmeņrāžu palīdzību ne tikvien kā nostata ģeodezijas instrumentu asis vai virsas horizontalā vai vertikalā stāvoklī, bet atsevišķos gadījumos to lieto arī kā patstāvīgu instrumentu mazu vertikalo leņķu mērīšanai.

Līmeņrādis sastāv no hermetiski noslēgtas stikla ampulas (ķermeņa) ar nepilni piepildītu (atstājot bezgaisa burbulīti), viegli kustīgu, grūti sasalstošu šķidrumu (eteri, spirtu vai tamlīdzīgiem). Stikla ampula ietverta vajadzībai piemērotā metala vai cita materiala čaulā, kurā atstāta neliela sprauga burbulīša stāvokļa novērošanai. Līmeņrāža darbība pamatojas uz fizikas likumu, ka brīva nekustīga šķidruma virsa smaguma spēka resp. zemes pievilkšanas spēka ietekmē nostājas horizontali.

Līmeņrāža ampulas iekšējā virsa ir noslīpēta. Ampulas matematisko formu dabūsim, ja iedomāsimies, ka (sk. 11. zīm.) samērā liela radija R loku aob griež ap chordu HH. Līniju HH sauc par *līmeņrāža asi.*

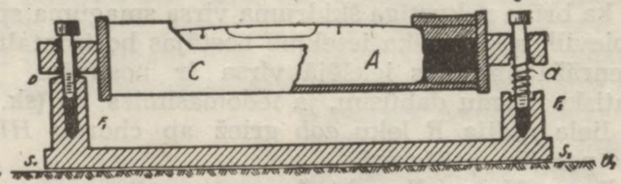
Par līmeņrāža „nullpunktu" sauc loka aob to punktu, kas atrodas vistālāk no līmeņrāža ass HH, tas ir, loka aob viduspunktu. No iepriekš sacītā kļūst saprotams, ka, ja līmeņrāža ass HH ir horizontala, tad burbulīša viduspunkts sakrīt ar līmeņrāža nullpunktu. Ja līmeņrāža ass nebūs horizontalā stāvoklī, tad burbulīša viduspunkts nesakritīs ar līmeņrāža nullpunktu un burbulītis novirzīsies uz to līmeņrāža galu, kas būs pacelts virs horizontalās līnijas. Burbulīša stāvokļa noteikšanai uz līmeņrāža ampulas mēdz būt iegravētas iedaļas 2,0 mm attālumos. Ir arī tādi līmeņrāži, kuriem iegravētās iedaļas ir 1 Parizes līnijas (2,26 mm) attālumā. Ja ampulas iedaļu skalas ir cilindriskās ampulas abās pretējās pusēs, tad līmeņrādi sauc par *reversijas līmeņrādi.* Ģeodezijas instrumentos līmeņrāža burbulīša stāvokļa ērtākai, ātrākai un precizākai novērošanai līmeņrāžiem ir pierīkotas lupas, prizmas, spoguļi un citas tamlīdzīgas palīgierīces. Sevišķi augstjutīgiem un preciziem līmeņrāžiem bez tam ir vēl pierīkotas papildu aizsargčaulas, satricinājumu amortizatori u. tml. ierīces. Šiem līmeņrāžiem burbulīša redzamās daļas lielumu ir iespējams mainīt, jo līmeņrāži ir iekārtoti tā, lai burbulīša daļu varētu novadīt ampulas galā ierīkotā rezerves kamerā.



11. zīm.

17. Cilindriskais līmeņrādis

Cilindriskā līmeņrāža attēls parādīts 12. zīmējumā.



12. zīm.

S_1S_2 — cilindriskā līmeņrāža paliktenis,
F_1F_2 — cilindriskā līmeņrāža balsti,
J — cilindriskā līmeņrāža izlabojuma skrūve,
D — cilindriskā līmeņrāža ietvara piestiprināmā skrūve,
U_1U_2 — plakne, uz kuras uzstatīts līmeņrādis,
A — ampula,
C — cilindriskā līmeņrāža čaula,
a — spiralveida atspere, uz kuras atbalstās viens līmeņrāža čaulas gals.

Griežot izlabojuma skrūvi J, var regulēt līmeņrāža ass stāvokli attiecībā pret palikteņa S_1S_2 apakšējo plakni. Līmeņrādis būs pareizs, ja līmeņrāža ass būs paralela palikteņa apakšējai plaknei. Ja līmeņrādis pierīkots ģeodeziskā instrumenta griešanas ass nostatīšanai vertikali, tad līmeņrādis tiek piestiprināts tādai instrumenta daļai, kas nekustīgi savienota ar griešanas asi.

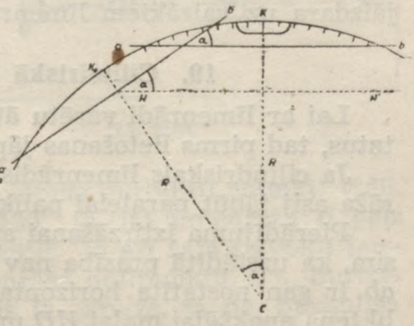
18. Cilindriska līmeņrāža jutīgums

Līmeņrāža ass viena gala pacēlumu virs horizontalās līnijas resp. līmeņrāža ass slīpumu mērī ar loka daļu, par kuru burbulītis ir novirzījies no līmeņrāža nullpunkta. Ja pēc 13. zīmējumā parādītā līmeņrāža burbulīša viduspunkts sakrīt ar līmeņrāža nullpunktu K, t. i., burbulītis ir vidū, tad līmeņrāža ass ab ir horizontala.

Ja līmeņrāža nullpunkts K ir pārvietojies punktā K_0, t. i., pārvietojies no burbulīša viduspunkta par loku KK_0, tad šajā stāvoklī līmeņrāža ass ieņem stāvokli a^1b^1. Līmeņrāža ass a^1b^1 krustošanās ar līmeņrāža asi horizontalā stāvoklī ab veido leņķi α. Šis leņķis α veidojas arī asij a^1b^1 krustojoties ar ikkuru citu horizontalu līniju, tātad arī ar līniju HH_1, un leņķis $\alpha =$ $=$ leņķim α^1. Bet leņķis α ir vienlīdzīgs centra leņķim C, jo abu šo leņķu malas ir attiecīgi savstarpēji stateniskas. Tā kā loks KK_0 atbilst centra leņķim C, tad tas pats loks izteic arī līmeņrāža ass pagāšanas leņķi.

Līmeņrāža jutīgumu izteic sekundēs ar centralā leņķa sekunžu skaitu, par kādu ir jāpagāž līmeņrādis, lai līmeņrāža burbulītis pārvietotos par *vienu* skalas iedaļu.

Pierādīsim, ka līmeņrādis ir jo jutīgāks, jo lielāks ir līmeņrāža sferas veidotais radijs R, vai citiem vārdiem, ka līmeņrāža jutīgums ir tieši proporcionals līmeņrāža sferas veidotājam radijam. Līmeņrāža ass viena gala pacēluma un līmeņrāža ass horizontalā stāvokļa veidoto leņķi apzīmēsim ar α (sk. 13. zīm.), burbulīša novirzīšanās loku ar KK_0 un līmeņrāža sferas veidotāju radiju ar R. Izteicot loku $\overset{\frown}{KK_0}$ *sekundēs,*



13. zīm.

varam rakstīt, ka $\overset{\frown}{KK_0} : \alpha = 2\pi R : 360 \,.\, 60 \,.\, 60$ vai

$$\overset{\frown}{KK_0} = \alpha R \,.\, \frac{2\pi}{360 \,.\, 60 \,.\, 60} = \alpha R \,.\, \frac{1}{206\,265}.$$

Bet izteiksme 206 265 ir 1″ atbilstošs loka lielums, ja radijs ir 1. Ja radijs ir 1, tad 1″ atbilstošais loka lielums savukārt = = sin 1″ un tad

$$\overset{\frown}{KK_0} = \alpha R \,.\, \sin 1''.$$

Ģeodezijas instrumentos lietojamo cilindrisko līmeņrāžu garums tiek izgatavots no 30—150 mm. Līmeņrāžu virsu veidotāju aploču radiji R mēdz būt, sākot no 0,5 m līdz 50 m, atsevišķos gadījumos pat līdz 300 m. Līmeņrāža jutīguma apzīmējums sekundēs parasti ir iegravēts ampulas ārpusē uz stikla.

Ja nav datu par līmeņrāža jutīgumu, tad to izmērī ar specialu ierīci—līmeņrāžu komparatoru (eksaminatoru). Gadījumā, ja nav arī specialo ierīču līmeņrāža jutīguma noteikšanai, tad jutīgumu var noteikt šādi: novēro, par kādu lielumu ir jāpaceļ vai jānolaiž pārbaudāmā līmeņrāža viens gals (ar nekustīgi saistītu vizuras līniju), lai burbulītis pārvietotos par vienu dalījumu. Šo lielumu var mērīt tieši leņķa vienībās (sekundēs), ja lietoto instrumentu konstrukcija šādu iespēju pieļauj, ja ne, tad to nosaka, izmērījot paceļamo lielumu milimetros uz zināmā attāluma no instrumenta nostatītās latas, un līmeņrāža ass sagāzuma leņķi α izrēķina pēc formulas: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{D}$, kur ar D apzīmēts attālums no instrumenta līdz latai (parasti 50 m) un d — izmērītais pacēluma lielums.

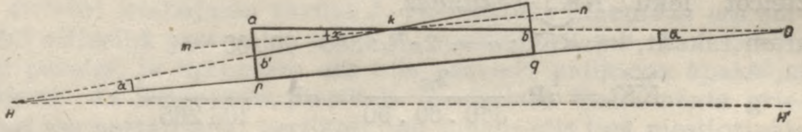
Lai iegūtu lielāku noteiktību, tad novērojumi un aprēķini jāizdara uz vairākiem līmeņrāža skalas dalījumiem.

19. Cilindriskā līmeņrāža pārbaude

Lai ar līmeņrādi varētu ātri un ērti sasniegt pareizus rezultatus, tad pirms lietošanas jāpārbauda līmeņrāža pareizība.

Ja cilindriskais līmeņrādis ierīkots uz palikteņa, tad līmeņrāža asij jābūt paralelai palikteņa apakšējai plaknei.

Pierādījuma iztirzāšanai apskatīsim 14. zīmējumu. Pieņemsim, ka uzstādītā prasība nav izpildīta, tas ir, ka līmeņrāža ass ab ir gan nostatīta horizontalā stāvoklī, bet nav paralela palikteņa apakšējai malai HD un veido savā starpā leņķi α.



14. zīm.

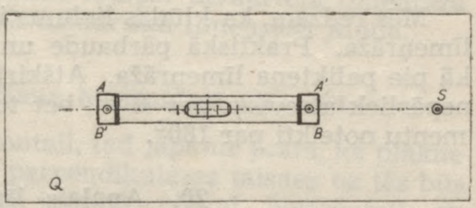
Iedomāsimies, ka uz tās pašas plaknes (kuru attēlo līnija HD) nostatīsim līmeņrādi diametrali pretējā stāvoklī tā, lai balsts a pārvietotos balsta b vietā un ieņemtu a^1 stāvokli, bet balsts b ieņemtu b^1 stāvokli. Mēs redzam, ka arī šajā stāvoklī līmeņrāža ass a^1b^1 ar palikteņa līniju HD savā starpā veido to pašu leņķi α, bet burbulītis būs izgājis no vidus un līmeņrāža ass a^1b^1 ar horizontalo līniju veido leņķi x, kuru nosaka skalas iedaļas starp līmeņrāža nullpunktu un burbulīša viduspunktu.

No trijstūra HkD redzam, ka leņķis x ir šā trijstūra ārējais leņķis, un tādēļ varam rakstīt, ka

$$x = 2\alpha.$$

No tā mēs varam spriest, ka līmeņrāža otrā stāvoklī burbulīša novirzē ietilpst divkārša kļūda, un ass a^1b^1 jānostata ar izlabojuma skrūvi par puskļūdu, jo tad tā ieņems stāvokli mn, kas savukārt tad būs paralela plaknei HD. Ja līmeņrāža ass *ab* sakritīs ar *mn*, kas ir paralela palikteņa apakšējai malai *HD*, tad pie burbulīša stāvokļa vidū paliktenis sakritīs ar horizontalo līniju HH^1. Praktiski līmeņrāža pārbaudi izdara šādi.

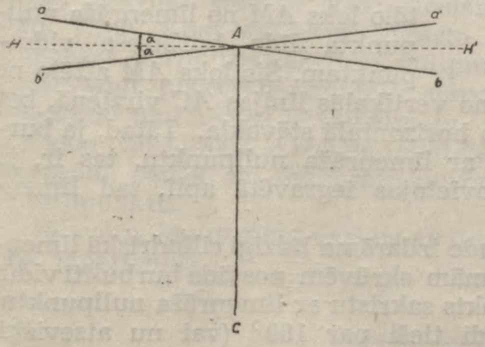
Ņem taisnas virsas plakni *Q*, kurai vienā galā ir vismaz viena paceļamā skrūve *S*. Līmeņrādis jāuzliek uz plaknes tā, lai palikteņa viens gals atrastos virzienā uz paceļamo skrūvi *S*, kā tas parādīts 15. zīmējuma stāvoklī *AB*. Ar plaknes paceļamo skrūvi *S*, ceļot vai nolaižot plaknes galu, iebīda burbulīti noteikti vidū. Pēc tam pārceļ līmeņrādi par 180° tā, lai līmeņrāža *B* gals atrastos B^1 un *A* atrastos A^1 stāvoklī. Ja arī šajā stāvoklī burbulīša viduspunkts sakrīt ar līmeņrāža nullpunktu, t. i., burbulītis nostājas vidū, tad līmeņrādis ir pareizs, ja ne, burbulīša viduspunkta atiešanas loks no nullpunkta izteic divkāršu kļūdu starp līmeņrāža asi un palikteņa plakni.



15. zīm.

Līmeņrādi izlabo ar līmeņrāža labojuma skrūvi, bīdot burbulīša viduspunktu par pusi no visa atiešanas loka, bet otru pusi pārbīda ar plaknes paceļamo skrūvi *S*, kamēr burbulītis atkal atrodas nullpunktā. Pēc tam pārbaudi atkārto un pēc vajadzības izdara labojumus, kamēr līmeņrādis ir pilnīgi pareizs.

Ja cilindriskais līmeņrādis piestiprināts instrumenta vertikalai griešanas asij, tad līmeņrāža asij jābūt stateniskai pret instrumenta griešanas asi. Pieņemsim, ka 16. zīmējumā *CA* ir instrumenta griešanas ass, līnija HH^1 ir stateniska griešanas asij *CA*, *ab* — horizontali nostatīta līmeņrāža ass, kas ar HH^1 veido leņķi a.



16. zīm.

Tad leņķis $aAC = 90° + a$.

Iedomāsimies instrumentu, pagrieztu tieši par 180°. Tad līmeņrāža ass ieņems stāvokli a^1b^1 un ar HH^1 veidos to pašu leņķi a.

Tāpēc $\sphericalangle b^1AC = 90° - \alpha$ un leņķisko kļūdu x izteiks leņķu starpība $\alpha AC - b^1 AC = \alpha Ab^1 = x$ vai

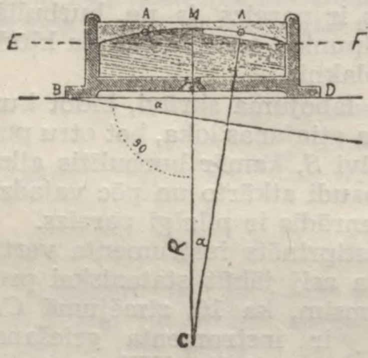
$$x = (90° + \alpha) - (90° - \alpha) = 2\alpha.$$

Mēs redzam, ka kļūdas lielums ir tāds pats kā pie palikteņa līmeņrāža. Praktiskā pārbaude un izlabošâna ir gluži līdzīga kā pie palikteņa līmeņrāža. Atšķirība ir tikai tā, ka līmeņrādi nepārliek atsevišķi par 180°, bet to griež kopā ar visu instrumentu noteikti par 180°.

20. Apaļais līmeņrādis

Apaļā līmeņrāža stikla ampulas forma ir cilindriska ar sferisku virsu. Parasti ampula ietverta metala čaulā.

Līmeņrāža vidū iegravēts neliels aplis. Apļa centrs M (17. zīm.) ir apaļā līmeņrāža nullpunkts. Apaļā līmeņrāža ass ir ampulas virsas radijs R, kas iet caur līmeņrāža nullpunktu.



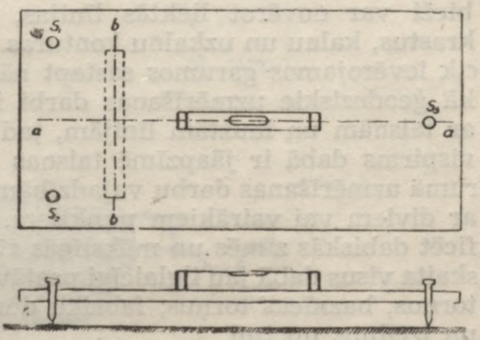
17. zīm.

Apaļo līmeņrāžu radiji ir nelieli — no 0,5—2 m, un to jutīgums ir niecīgs. Tos lieto tādos gadījumos, kad netiek uzstādītas augstas prasības horizontalā vai vertikalā stāvokļa noteikšanai. 17. zīmējumā redzam, ka, ja ampulas virsa veidota ar radiju R un ja iedomāsimies, ka ampula šķelta ar kādu plakni, kas sakrīt ar radiju CM, tad chordai EF jābūt paralelai līmeņrāža pamatnei BD. Leņķi $ACM = \alpha$ attēlo loks AM no līmeņrāža nullpunkta līdz burbulīša viduspunktam. Šis loks AM attēlo ne vien ass CM novirzīšanos no vertikalās līnijas AC virzienā, bet arī līnijas BD pacēlumu no horizontalā stāvokļa. Tātad, ja burbulīša viduspunkts sakrīt ar līmeņrāža nullpunktu, tas ir, ja burbulītis koncentriski novietojas iegravētā aplī, tad līmeņrāža ass būs vertikala.

Apaļā līmeņrāža pārbaude izdarāma līdzīgi cilindriskā līmeņrāža pārbaudei. Ar paceļamām skrūvēm nostāda burbulīti vidū, t. i., lai burbulīša viduspunkts sakristu ar līmeņrāža nullpunktu. Pēc tam pagriež līmeņrādi tieši par 180° (vai nu atsevišķi, vai kopā ar instrumentu ap instrumenta vertikalo griešanas asi, ja līmeņrādis ir piestiprināts instrumentam). Ja pēc pagriešanas par 180° burbulītis ir novirzījies no vidus, tad līmeņrādis ir nepareizs un tas jālabo. Novirzē ietilpst divkārtēja līmeņrāža kļūda. Kļūda jālabo tāpat kā cilindriskā līmeņrāža kļūda.

21. Plaknes nostatīšana horizontalā stāvoklī

Lai plakni nostatītu horizontali, tad jāpatur prātā, ka plakne būs horizontala tad, ja divas perpendikularas taisnes uz tās būs horizontalas. Apskatīsim, kā iestatīt plakni horizontali ar 3 paceļamām skrūvēm. Pieņemsim, ka 18. zīmējumā plaknei ir 3 paceļamās skrūves S_1, S_2 un S_3. Visātrāk plakni nostatīt horizontalā stāvoklī var tad, ja vienu līmeņrāža virzienu izvēlas paraleli 2 paceļamo skrūvju virzienam, piemēram, S_1 un S_2 virzienam, tas ir, virzienā *bb*, bet otru virzienu perpendikulari pirmajai, t. i., virzienā *aa*. Noliekot līmeņrādi pirmajā stāvoklī, burbulīti ievirza vidū ar abām paceļamām skrūvēm, griežot tās savstarpēji pretējos virzienos. Tad pārliekam līmeņrādi ar virzienu perpendikulari pirmajam stāvoklim, t. i., virzienā *aa* un šajā stāvoklī *tikai ar trešo* paceļamo skrūvi ievieto burbulīti atkal vidū. Abas darbības atkārto tik daudz reižu, kamēr līmeņrāža burbulītis sakrīt ar nullpunktu abos līniju virzienos.



18. zīm.

Nostatot plakni horizontalā stāvoklī ar apaļo līmeņrādi, līmeņrādis nav nemaz jāizkustina un, darbojoties pēc vajadzības ar visām paceļamām skrūvēm tāpat kā nostatīšanā ar cilindrisko līmeņrādi, panāk, lai līmeņrāža burbulīša viduspunkts sakristu ar nullpunktu.

Jāievēro, ka, uzsākot darbus ar līmeņrādi, tas vispirms katrā ziņā jāpārbauda.

III. TAISNU LĪNIJU MĒRĪŠANA

22. Punktu un līniju apzīmēšana

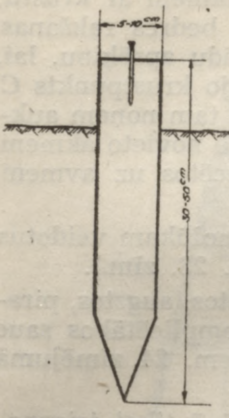
Mēdz izšķirt taisnas, liektas un lauztas līnijas. Ja dabā bieži var novērot liektās līnijas, piemēram, upju un ezeru krastus, kalnu un uzkalnu konturas utt., tad taisnās līnijas kaut cik ievērojamos garumos sastapt nākas ļoti reti vai nemaz. Tā kā ģeodeziskie uzmērīšanas darbi ir saistīti lielāko tiesu tieši ar taisnām un lauztām līnijām, tad ikvienā uzmērījumu darbā vispirms dabā ir jāapzīmē taisnas līnijas. Līnijas to visā garumā uzmērīšanas darbu vajadzībām dabā neiezīmē, bet apzīmē ar diviem vai vairākiem punktiem. Punktu zīmes mēdz klasificēt dabiskās zīmēs un mākslīgās zīmēs. *Dabiskām* zīmēm pieskaita visus dabā jau ilglaicīgi pastāvošus priekšmetus, kā ūdenstorņus, baznīcas torņus, fabriku dūmeņus, dažādu ēku tornīšus un izciļņus un tml.

Mākslīgās zīmes liek uzmērīšanas darbu tiešām vajadzībām. Parastākie, vienkāršākie veidi ir šādi:

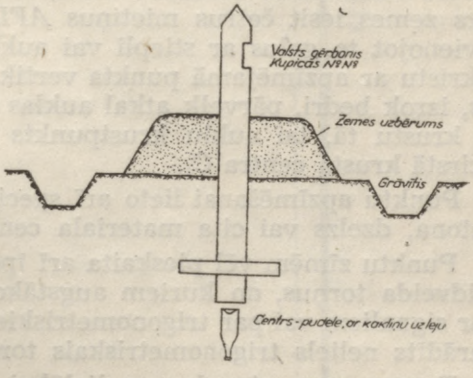
1) Pavisam īslaicīgiem punktu apzīmējumiem lieto vienkāršus 5—10 cm ϕ un 30—50 cm garus mietus ar iesistu naglu mieta augšgalā (labākai punktu apzīmēšanas precizitatei) (sk. 19. zīmējumu).

2) Lai punktu zīmes uzglabātos ilglaicīgāk, tad ierīko kupicas, kuru parastākie veidi parādīti 20. un 21. zīmējumā. Zem koka kupicas staba ieliek „centru" — akmeni ar krusta iekalumu vai pudeli ar kakliņu uz leju, apliekot apkārt mazākus akmentiņus, ķieģeļus, ogles u. c. tml. priekšmetus. Kupicas vietā uzmet zemes kaudzīti (ap 40—50 cm augstumā) un to ierobežo ar grāvīti. Koka staba vietā labāk ir likt prāvu, smagu akmeni (ko var pārvietot 3—4 vīri) un tā virspusē iecirst krustu. Krustpunkts apzīmē līnijas gala punktu.

Tāds pats akmens ar iecirstu krustu noder arī par apakšzemes *„centru"* (sk. 22. zīmējumu).

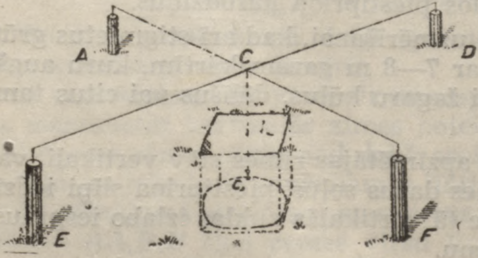


19. zīm.

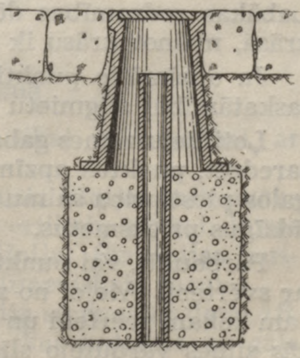


20. zīm.

21. zīm.



22 zīm.



23 zīm.

Lai zem zemes novietojamo „centru" — akmeni ar krustu, varētu ielikt tieši noteiktā vietā, tad pirms bedres rakšanas virs zemes iesit četrus mietiņus *AFDE* ar tādu aprēķinu, lai, savienojot to galus ar stiepli vai auklu, pēdējo krustpunkts *C* sakristu ar apzīmējamā punkta vertikali. Pēc tam noņem auklas, izrok bedri, pārvelk atkal auklas un bedrē novieto akmeni ar krustu tā, lai auklu krustpunkts *C* projecētos uz avmenī iecirstā krusta centra C_1.

Punktu apzīmēšanai lieto arī speciali šim nolūkam veidotus betona, dzelzs vai cita materiala centrus (sk. 23. zīm.).

Punktu zīmēm vēl pieskaita arī īpaši būvētos, augstos, piramidveida torņus, no kuriem augstākos un komplicētākos sauc par signaliem vai par trigonometriskiem torņiem. 24. zīmējumā parādīts neliels trigonometriskais tornis.

Torņus resp. signalus pa lielākai daļai būvē tikai trigonometriskā tīkla vajadzībām. Pilsētās un bieži apdzīvotās vietās punktu zīmes parasti apzīmē ar metala caurulēm, kas izmūrētas vai citādi nostiprinātas zemē. Tāda punkta zīme schematiski parādīta 23. zīmējumā.

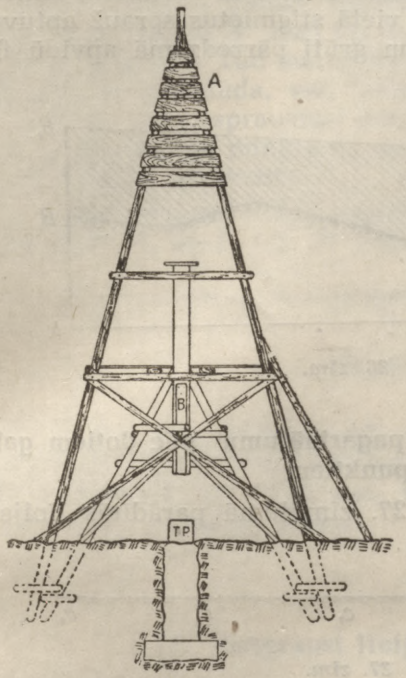
23. Maigstes jeb stigmieti

Lai apzīmētu līniju punktus un padarītu tos lielākā attālumā redzamus, lieto maigstes jeb stigmietus. Tos parasti gatavo no koka 2—3 cm ϕ, cilindriskas formas, 2—3 m garumā ar noasinātiem un apkaltiem galiem, lai tos viegli varētu iedzīt zemē. Labākas redzamības dēļ stigmietus nokrāso baltā un sarkanā krāsā, mainot krāsu ik pa 20 cm. Attēls parādīts 25. zīmējumā.

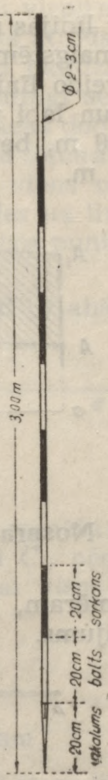
Ja apzīmētie punkti atrodas tālu cits no cita, tad labākai saskatāmībai stigmietu galos piestiprina karodziņus.

Ļoti lielu zemes gabalu uzmērīšanai, kad arī stigmietus grūti saredzēt, punktus apzīmē ar 7—8 m garām kārtīm, kuru augšgalos piestiprina salmu vai žagaru kūļus, dēlīšus vai citus tamlīdzīgus priekšmetus.

Pārbaudīt, vai punktus apzīmētājas zīmes stāv vertikali, var ar svērteni. Atejot no zīmes dažus soļus, piestiprina slīpi iedzītam kokam svērteni un pēc tā vertikalās auklas izlabo iespraustās zīmes varbūtējo slīpumu.



24. *zīm.*



25. *zīm.*

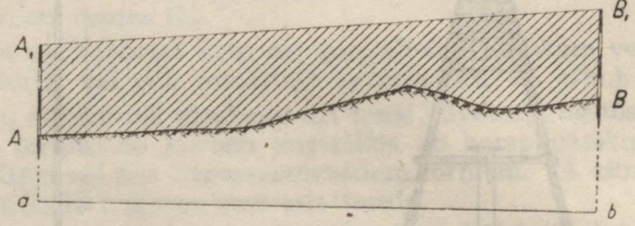
24. Līniju nospraušana

Garāku līniju, kurai dabā apzīmēti tikai gala punkti, ar mēra vienībām nevar izmērīt.

Ir nepieciešami līniju vispirms nospraust. Līnijas gala punktos iespraustās vertikalās zīmes noteic vertikalu plakni, kuras šķēlums ar zemes virsu dod dabā esošo līniju. Šīs līnijas horizontalā projekcija ir izmērījamās līnijas līmeniskais garums.

26. zīmējumā attēlota zemes virsas līnija starp punktiem AB. Plakne AA_1B_1B šķeļ zemes virsu līnijā, kas noteikta ar gala punktiem A un B. Līnijas AB horizontalā projekcija ir līnija ab.

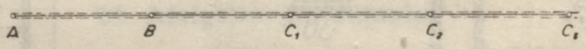
Par līnijas nospraušanu sauc līnijas apzīmēšanu ar stigmietiem (maigstēm) tā, lai tie visi atrastos vienā vertikālā plaknē, kuru veido līniju gala punktos ievietotās vertikālās zīmes. Līdzenā un labi pārredzamā vietā stigmietus sprauž aptuveni ik pēc 100 m, bet kalnainā un grūti pārredzamā apvidū ik pēc 20—50 m.



26. *zīm.*

25. Nospraust līnijas pagarinājumu pēc dotiem gala punktiem

Piemēram, jānosprauž 27. zīmējumā parādītās līnijas *AB* turpinājums.

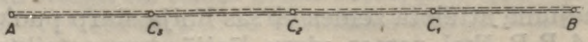


27. *zīm.*

To izdara šādi: paņem maigsti C_1 un iesprauž to zemē tā, lai tā pilnīgi segtu skatu uz maigstēm *A* un *B*. Pēc tam atkāpjas 3 soļus un, skatoties gar vienu un otru maigstes pusi līnijas *BA* virzienā, pārliecinās, vai vizuras gar maigstēm ir taisnes. Ja vizuras gar maigstēm ir taisnes, tad līnija nosprausta pareizi. Tādā pašā veidā līniju nosprauž C_2 un C_3 punktos.

26. Nospraust līniju starp diviem gala punktiem

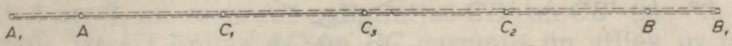
Pieņemsim, ka mums jānosprauž līnija pēc 28. zīmējuma starp punktiem *A* un *B*.



28. *zīm.*

Ja mērniekam ir palīgs, tad jārīkojas šādi: vispirms jāsūta palīgs noteikti uz tālāko vietu, t. i., ja mērnieks atrodas punktā A, tad palīgs jāsūta uz C_1. Ar roku mājienu palīdzību virza palīgu ar stigmietu tikmēr, kamēr stigmiets pilnīgi sedz skatu uz stigmietu punktā B. Kad tas panākts, mērnieks dod mājienu stigmietu iespraust. Tad mērnieks atkāpjas 2—3 soļus atpakaļ no stigmieta un pārbauda, vai tiešām stigmieti viens otru sedz. Ja tas tā ir, tad nospraustais punkts C_1 atrodas uz līnijas AB. Pēc tam sūta palīgu punktā C_2 un tad C_3 un abos punktos rīkojas, kā iepriekš aprakstīts.

Ja palīga nav, tad līnija vispirms jānosprauž uz abām pusēm ar maigstēm A_1 un B_1 (sk. 29. zīmējumu).



29. zīm.

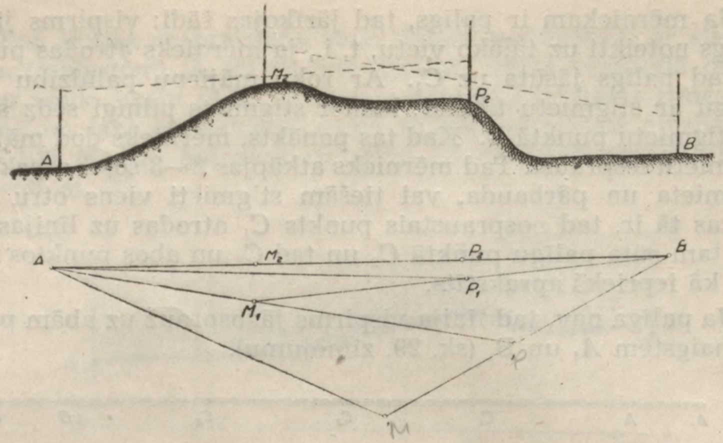
Pēc tam nosprauž līniju AB pēc līnijas turpināšanas paņēmiena, tas ir, pēc līnijas AA_1 novieto maigsti C_1, pēc B_1B novieto maigsti C_2 utt. Pēc tam pārbauda, vai visas maigstes atrodas vienā vertikālā plaknē.

27. Nospraust līniju pāri kalnam

Pieņemsim, ka mums jānosprauž līnija, kad starp līnijas gala punktiem A un B atrodas kalns un ne no viena gala punkta otrs punkts nav saredzams (sk. 30. zīmējumu).

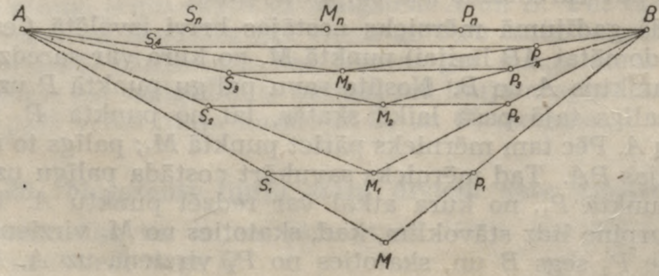
Tādā gadījumā mērnieks nostājas brīvi izvēlētā (iespējami tuvāk domātai AB līnijai) punktā M, no kura var saredzēt abus gala punktus A un B. Nosūta savu palīgu punktā P uz līnijas MB; palīgs tajā pašā laikā skatās, lai no punkta P redzētu punktu A. Pēc tam mērnieks pāriet punktā M_1; palīgs to nostāda uz līnijas PA. Tad mērnieks savukārt nostāda palīgu uz līnijas M_1B punktā P_1, no kura atkal var redzēt punktu A. Tā darbību turpina līdz stāvoklim, kad, skatoties no M_2 virzienā uz B, maigste P_2 segs B un, skatoties no P_2 virzienā uz A, M_2 segs maigsti punktā A.

Līdzīgi rīkojas arī tad, ja līniju nosprauž 3 cilvēki, lietojot 3 maigstes (sk. 31. zīmējumu).



30. zīm.

Punkts M tāpat tiek izvēlēts tā, lai no tā redzētu nospraužamās līnijas AB gala punktus. Mērnieks nostāda savus palīgus vienu uz līnijas MB punktā P_1 un otru uz līnijas MA punktā S_1. Tad pāriet pats uz līnijas S_1P_1 punktā M_1, uz kuras to nostāda viņa palīgi. Pēc tam mērnieks nostāda palīgus punktos P_2 un S_2, pāriet pats punktā M_2 utt. Darbību atkārto n reizes, kamēr visas maigstes cita citu sedz, t. i., kad maigstes atrodas punktos Sn, Mn un Pn resp. vienā vertikalā plaknē ar maigstēm punktos A un B.



31. zīm.

M — mērnieks, P — palīgs, S — palīgs.

28. Nospraust līniju starp diviem nepieejamiem gala punktiem

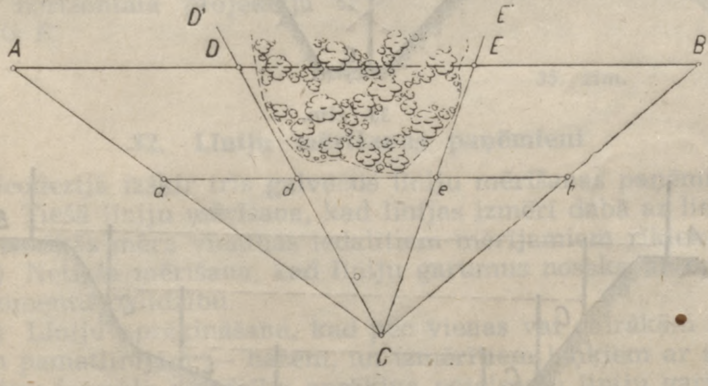
Ja līnijas gala punktos nav iespējams nostāties, piemēram, ja gala punkts ir dūmenis, kāds tornis vai cita nepieejama zīme, tad līnijas nospraušanu var izdarīt līdzīgi kā divos iepriekšējos gadījumos, t. i., kā līniju nospraušanu pāri kalnam.

29. Nospraust līnijas virzienu cauri mežam, to nešķērsojot

Mērnieks brīvi izvēlas punktu C, no kura saredzami abi gala punkti A un B, un nosprauž palīglīnijas CD^1 un CE^1 (sk. 32. zīmējumu). Izmērī līnijas AC un BC garumus un atliek uz tām vienādas proporcijas $\frac{1}{n}$ atgriežņus, tad

$$AC \cdot \frac{1}{n} = aC,$$

$$BC \cdot \frac{1}{n} = bC.$$



32. zīm.

Tādā gadījumā līnija ab būs paralela nospraužamai līnijai AB.

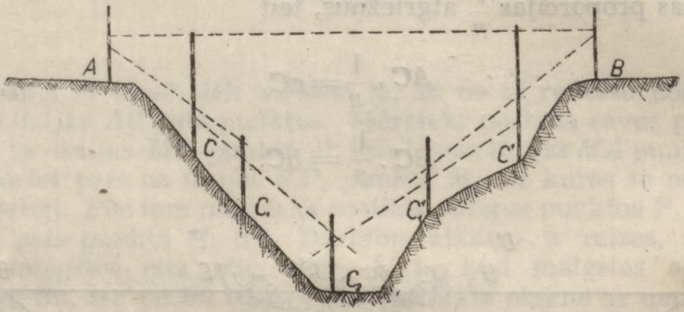
Pēc tam uz nospraustām līnijām CD^1 un CE^1 atzīmē krustpunktus d un e. Tad izmērī atgriežņus Cd un Ce, palielina tos par to pašu attiecību $\frac{1}{n}$ un atliek uz attiecīgām līnijām.

$$Cd \, . \, n = CD$$
$$\text{un } Ce \, . \, n = CE.$$

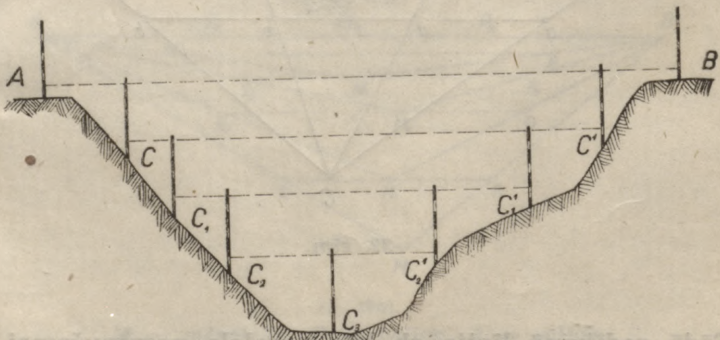
Tad punkti D un E atradīsies uz nospraužamās līnijas AB, un tātad līnija AD būs līnijas EB turpinājums.

30. Nospraust līniju pāri gravai

Ja jānosprauž līnija pāri gravai, kā parādīts 33. zīmējumā starp punktiem A un B, tad jārīkojas šādi.



33. zīm.



34. zīm

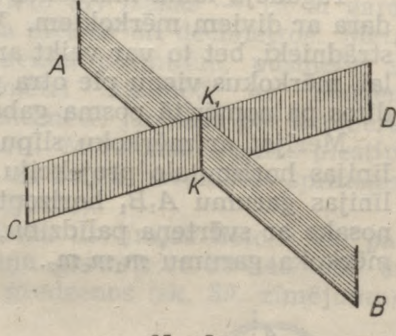
Skatoties no punkta A uz B, iesprauž maigstes C un C^1. Tad, skatoties no A uz C, iesprauž maigsti C_1 un no B uz C^1 iesprauž maigsti C_1^1. Pēc tam pāriet punktos C un C^1 un, skatoties no C uz C_1, iesprauž C_2, kam jāsakrīt ar skatu no C^1 uz C_1^1.

Nospraust līniju pāri gravai var arī tā, kā parādīts 34. zīmējumā, t. i., skatoties no A uz B vai otrādi, iesprauž maigstes C un C^1. Pēc tam nonāk punktā C un, skatoties uz C^1, iesprauž maigstes C_1 un C_1^1. Tad nonāk punktā C_1 un, skatoties uz C_1^1, iesprauž maigstes C_2 un C_2^1 utt. Ja pēc viena paņēmiena līnija ir nosprausta, tad pēc otra paņēmiena var izdarīt nosprauduma kontroli.

31. Divu līniju krustošanās punkta noteikšana

Pēc 35. zīmējuma mēs redzam, ka divu līniju krustošanās punkts var būt tikai viens punkts, kas vienā reizē atrodas uz abām līnijām, vai citiem vārdiem — divu līniju noteicēju vertikalo plakņu krustojuma vietas horizontalā projekcijā.

Līnijas AB veidotajā plakne krusto līnijas CD veidotāju plakni punktā K, un līnijas KK_1 horizontalā projekcija ir punkts K.



35. zīm.

32. Līniju mērīšanas paņēmieni

Ģeodezijā izšķir trīs galvenos līniju mērīšanas paņēmienus:

1) Tiešā līniju mērīšana, kad līnijas izmērī dabā ar lielākās vai mazākās mēra vienībās iedalītiem mērījamiem rīkiem.

2) Netieša mērīšana, kad līniju garumus nosaka ar optisku instrumentu palīdzību.

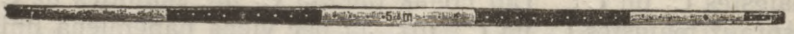
3) Līniju aprēķināšana, kad pēc vienas vai vairākām izmērītām pamatlīnijām — bazēm, un izmērītiem leņķiem ar matematikas formulu palīdzību aprēķina noteicamo līniju garumus.

33. Līniju mērīšanas rīki

Līniju tiešai mērīšanai lieto mērkokus, mērnieka ķēdi, mērsloksni, ruleti, stiepli, lauka cirkuli un gājēja soli.

34. Mērkoki

Mērkoki tiek gatavoti no sausa, bezzaraina egles koka ar apkaltiem galiem, parasti 5,0 m gari. Mērkokus iedala ar zīmēm metros un decimetros, turklāt iedalījumu krāso ik pēc metra mainītā, parasti sarkanā un baltā krāsā. Mērkoka gali izveidoti neuzasināta ķīļa veidā, kā tas parādīts 36. zīmējumā.

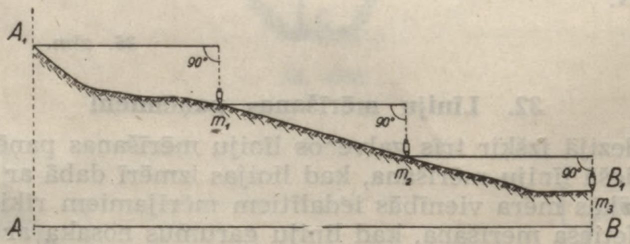


36. zīm.

35. Mērkoku lietošana

Tagadējā laikā mērkokus lieto samērā reti. Mērīšana jāizdara ar diviem mērkokiem. Vēlams, lai mērīšanu izdarītu divi strādnieki, bet to var veikt arī viens. Tikai tad ļoti jāuzmanās, lai, mērkokus vienu pie otra pieliekot un atņemot, tie nepārbīdītos pa nomērītā posma gabalu.

Mērījot ar mērkoku slīpu līniju, ir iespējams uzreiz dabūt līnijas horizontalo projekciju. Piemēram, 37. zīmējumā slīpās līnijas garumu A_1B_1 horizontalo projekciju AB ar mērkokiem nosaka ar svērteņa palīdzību, kas atzīmē uz nogāzes līmenisko mērkoka garumu $m_1m_2m_3$.



37. zīm.

Mērkokus horizontali var noturēt, raugoties pēc acumēra, lai svērteņa un mērkoka veidotais leņķis būtu taisnleņķis, t. i., 90°.

36. Mērnieka ķēde

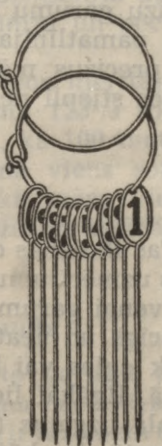
Tā ir vecs, agrākos laikos lietots līniju mērīšanas rīks. Ķēde sastāv no pēdu gariem posmiem, un ķēdes kopgarums ir 10 asis. Tagad tādas ķēdes vairs neizgatavo un nelieto slikto īpašību dēļ: 1) ķēdes loceklīši ātri sametas, 2) atsevišķo loceklīšu veidojumi deformējas un līdz ar to izmainās viss ķēdes garums.

37. Mērsloksne

Tā ir pēdējā laikā visbiežāk lietotais līniju tiešās mērīšanas rīks. Mērsloksni (ko sauc arī par sloksni) izgatavo no rūdīta tērauda 0,2—0,3 mm biezas un 10—20 mm platas lentes veidā ar parastāko garumu 20 un 50 m. Līdzenos apgabalos lieto arī garākas par 50 un pat 100 m garas mērsloksnes, bet kalnainos un bieži apdzīvotos apgabalos lieto arī īsākas — 10 m garas mērsloksnes. Mērsloksne iedalīta metros un decimetros. Metri parasti apzīmēti ar krāsainā metala plātnītēm, pusmetri ar apaļām kniedītēm, bet decimetri atzīmēti ar maziem 1—$1^1/_2$ mm ϕ caurumiņiem. Centimetri jānolasa pēc acumēra, jo uz mērsloksnes tie nav atzīmēti. Mērsloksnes galos piestiprināti rokturi, un mēra sākumā un beigās izveidotas spraugas, iesmiņu ievietošanai (sk. 38. zīmējumu).

Mērsloksnes garumu apzīmēšanai uz līnijas lieto 5 vai parasti 10 metala iesmiņus. Iesmiņu garums ir 30—40 cm ar 5—7 mm ϕ. Iesmiņi ievērti 2 gredzenos (sk. 39. zīmējumu).

38. zīm.



39. zīm.

Mērsloksne ir samērā trausla un ātri lūst. Tādēļ jāuzmanās, lai, izdarot mērīšanu, tā nesametas cilpā. Pēc darba beigšanas tā jāieeļļo, lai pasargātu pret rūsu (oksidēšanos), un jāuztin uz tam nolūkam izgatavota dzelzs gredzena ar 4 turētājiem (ausīm).

38. Rulete.

Rulete atšķiras no mērsloksnes lielāko tiesu ar to, ka uz ruletes ir arī centimetru iedalījumi un tā ir daudz vieglāka par mērsloksni. Rulete dažreiz tiek pagatavota arī no impregnētas, eļļā savārītas biezas drēbes lentes. Dažreiz drēbes audumā ir iepītas tievas metala stieples. Ruletes izgatavo dažādā garumā: 1, 2, 5, 10, 20 un 25 m. Ruletes vienmēr ir izgatavotas ar tām piestiprinātām apaļām ietinamām kārbām. Ruletes lielu attālumu mērīšanai nav domātas, jo ir diezgan neizturīgas un tāpēc tās parasti lieto tikai nelielu attālumu mērīšanai (ēku samēru, īsu stateņu mērīšanai utt.).

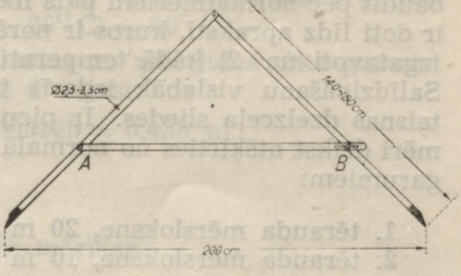
39. Stieple

Stiepli mērīšanai mēdz pagatavot 20 m garumā no metala, kurā tērauda ir 64% un niķeļa 36%. To lieto tikai sevišķi precizu garumu noteikšanas vajadzībām, piemēram, kad jānosaka pamatlīnijas jeb bazes garums. Ar stiepli var sasniegt ļoti precizus mērīšanas rezultatus. Parastos līniju mērīšanas darbos stiepli nelieto.

40. Lauka cirkulis

Tas ikdienas dzīvē ir visvairāk lietotais līniju mērīšanas rīks visos uzmērījumu darbos, kur nav vajadzīga liela precizitate. Kā aptuvenai garumu un platību noteikšanai lauka cirkulis ir ļoti parocīgs un neatsverams darba rīks. To gatavo no sausa, vislabāk egles vai bērza koka. Kokus izvēlas grābekļa kāta resnumā. Ilgākai lietošanai cirkuļa kāju galos piestiprina smailus metala uzgaļus (sk. 40. zīmējumu) un kāju šķērskoku *AB* izveido tā, lai kāju atstarpi varētu pēc vajadzības mainīt. Atstarpe nostādāma tā, lai mērījot attālums būtu 2,0 m.

Mērīšanu izdara, griežot cirkuli vēzienos par 180° pārmaiņus ap vienu un otru cirkuļa kāju. Tā kā cirkuļa kājas parasti mērīšanas darbā nedaudz novirzās no taisnes un 0,5—2,5 cm iestieg zemē, tad, lai nepalielinātos mērījuma rezultats, skatoties pēc iestiguma dziļuma, cirkuļa kāju atstarpe attiecīgi palielināma (parasti par 15 mm, bet atkarībā no zemes virskārtas blīvuma robežās no 5 līdz 25 mm.



40. *zīm.*

41. Solis

Kaut gan gājēja solis pieskaitāms visvecākām un neprecizākām līniju mērīšanas mēra vienībām, tomēr to vēl tagad bieži lieto garumu un platību aptuvenai noteikšanai. Lai mērīšanas rezultats būtu iespējami noteiktāks, tad jāievēro, lai spertie soļi būtu parastie, ikdienā lietotie un turklāt tiktu soļots vienmērīgā ritmā un tempā ar vienādiem soļu garumiem. Katram sava soļa garums iepriekš jāizmērī. To izdara tā: piemērotā apvidū izmērī ar mērsloksni vai ruleti 100 m garu līniju un pēc tam to pašu līniju izmērī ar normaliem soļiem.

Piemēram, 100 m gara līnija izmērīta ar viena mērītāja soļiem 3 reizes un dabūti šādi rezultati: 124 soļi, $123^{1}/_{2}$ soļi un 124 soļi. Tad kļūda nebūs liela, ja pieņemsim, ka 100 metriem atbilstošais soļu skaits ir 124. Tādā gadījumā viens solis ir $100 \text{ m} : 124 = 0{,}806 \text{ m} \cong 0{,}81 \text{ m}$ garš. Soli kā mēra vienību samērā bieži vēl lieto lauksaimniecībā un mežsaimniecībā.

42. Līniju mērīšanas rīku pārbaude

Saņemot jaunus līniju mērījamos rīkus, to garumi pirms lietošanas jāpārbauda. Tāpat pārbaude izdarāma pēc katra rīka mechaniskas izlabošanas, sevišķi, ja mērsloksne ir lūzusi un tā sakniedēta. Arī ilgāk lietošanā bijušo līniju mērīšanas rīku garumi laiku pa laikam vai mazākais darbu sezonas sākumā jāpārbauda. Mērslokšņu pārbaudīšanu izdara speciali konstruētās ierīcēs — komparatoros. Atsevišķu zemes gabalu uzmērīšanai, kur neprasa augstu noteiktību, mērsloksnes garumus var pārbaudīt pēc normalmēriem pats mērnieks. Normalmēriem parasti ir doti līdz apraksti, kuros ir norādīts: 1) no kāda materiala tie izgatavoti un 2) kādā temperaturā mēra garums ir pareizais. Salīdzināšanu vislabāk izdarīt telpā uz grīdas vai laukā uz taisnas dzelzceļa sliedes. Ir pieņemts, ka mērīšanai lietojamie mēri drīkst atšķirties no normalā mēra par zemāk uzrādītajiem garumiem:

1. tērauda mērsloksne, 20 m gara, maksim. par 4 mm
2. tērauda mērsloksne, 10 m gara, „ „ 3 „
3. mērkoki, 5 m gari, „ „ 4 „
4. mērkoki, 3 m un 2 m gari, „ „ 2 „

Ja mērījamais rīks atšķiras no normalmēra vairāk par uzrādītajiem lielumiem, tad, mērījot ar šādu rīku, izmērītās līnijas garumā jāizdara kļūdu korekcija. Ja to prasa uzstādītā uzmērīšanas noteiktība, tad arī uzrādītās pieļaujamās garuma atšķirības jāievēro un mērījumu rezultati attiecīgi jākoriģē.

Sevišķi precizos uzmērīšanas darbos (pilsētu uzmērīšanā, bazes līnijas mērīšanā u. tml.) jāievēro vēl gaisa temperaturas ietekme uz mērīšanas rīku garumu. Tādos mērīšanas darbos nepieciešama vislielākā noteiktība, un tādēļ ir jāzina mēra materiala līnearais termiskais izplešanās koeficients. Līniju garumu mērīšanas rīku materialu vidējie līnearie termiskie izplešanās koeficienti ir uzrādīti nākošā tabulā.

Materiala nosaukums	Līnearais izplešanās koeficients uz 1° C
Koks šķiedru virzienā	0,0000030 — 0,0000095
Stikls, Jenas	0,0000081
Platins	0,0000090
Ķets	0,0000104
Tērauds — mīksts; rūdīts . . .	0,0000111 ; 0,0000125
Niķelis	0,0000130
Varš	0,0000140
Bronza (84% Cu)	0,0000175
Misiņš (62% Cu)	0,0000184
Jaunsudrabs (62% Cu)	0,0000184
Sudrabs	0,0000197
Aluminijs	0,0000238

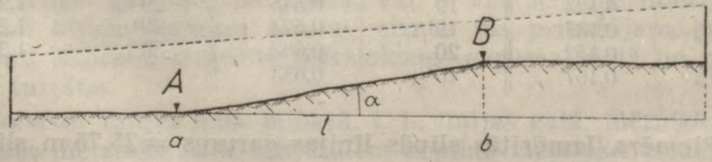
Cik nozīmīga precizos mērījumos var būt temperaturas ietekme uz mērīšanas rīka garumu, rāda šāds piemērs: ar cieti rūdītu tērauda mērsloksni izmērīta 700 m gara līnija ziemā — 20° C temperaturā un vasarā + 30° C temperaturā. Temperaturas starpība ir 30° C — (— 20° C) = 50° C.

Mērījuma starpība, kas cēlusies no mērījamā rīka garuma izmaiņas, temperaturas ietekmē ir bijusi:

$$700 \times 50 \times 0{,}0000125 = 0{,}438 \text{ m}.$$

43. Līniju mērīšana

Neatkarīgi no tā, ar kādu līniju mērīšanas rīku izdara līniju mērīšanu, pie ģeodeziskiem darbiem vienmēr ir jāpatur prātā noteikums, kas prasa šos darbus izdarīt ar vislielāko noteiktību, rūpību un uzmanību. Līniju mērīšanā jāievēro, pirmkārt, lai lietotais mērs katrā ziņā tiktu atlikts precizi un bez novirzīšanās no nospraustās līnijas, un, otrkārt, slīpas līnijas jāizmērī tā, lai varētu noteikt to horizontalās projekcijas. Pēdējo var izdarīt divējādi: 1) mērījot līnijas tiešo, t. i., slīpo garumu AB, nosaka arī līnijas slīpuma leņķi α* (sk. 41. zīmējumu), un horizontalo projekciju aprēķina pēc formulas $\overline{ab} = l = \overline{AB} \, . \cos \alpha$ vai 2) līnijas horizontalo projekciju izmērī tieši dabā, kā parādīts 37. un 42. zīmējumā.



41. zīm.

Pirmajā gadījumā jāpapildina sacītais vēl ar to, ka slīpās līnijas AB horizontalo projekciju ab (pēc 41. zīmējuma) var arī tieši neaprēķināt pēc formulas $AB \, . \cos \alpha$, bet izlietot speciali sastādītās tabulas slīpās līnijas reducēšanai. Ja mēs starpību starp slīpās līnijas garumu AB un tās horizontalās pro-

* Slīpuma leņķis ir leņķis vertikalā plaknē, kuru veido dotās zemes virsas līnija ar horizontalo (resp. līmenisko) līniju.

jekcijas ab garumu apzīmēsim ar x, tad $x = \overline{AB} - ab$, ieliekot ab vietā $AB \,.\, \cos\alpha$, varam rakstīt, ka

$$x = \overline{AB} - \overline{AB} \,.\, \cos\alpha,$$

$$x = AB\,(1 - \cos\alpha),$$

$$x = 2\overline{AB}\,\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Praktiskām vajadzībām ir sastādīta še pievienotā slīpo līniju izlabojumu tabula.

Slīp. $\sphericalangle \alpha^0$	Izlabojums x uz 10 m slīp. līnijas	Slīp. $\sphericalangle \alpha^0$	Izlabojums x uz 10 m slīp. līnijas	Slīp. $\sphericalangle \alpha^0$	Izlabojums x uz 10 m slīp. līnijas
1	0,002 m	11	0,184 m	21	0,664 m
$1^1/_2$	0,003	$11^1/_2$	0,201	$21^1/_2$	0,696
2	0,006	12	0,219	22	0,728
$2^1/_2$	0,010	$12^1/_2$	0,237	$22^1/_2$	0,761
3	0,014	13	0,256	23	0,795
$3^1/_2$	0,019	$13^1/_2$	0,276	$23^1/_2$	0,829
4	0,024	14	0,297	24	0,865
$4^1/_2$	0,031	$14^1/_2$	0,310	$24^1/_2$	0,900
5	0,038	15	0,341	25	0,937
$5^1/_2$	0,046	$15^1/_2$	0,364	$25^1/_2$	0,974
6	0,055	16	0,387	26	1,012
$6^1/_2$	0,064	$16^1/_2$	0,412	$26^1/_2$	1,051
7	0,075	17	0,437	27	1,090
$7^1/_2$	0,086	$17^1/_2$	0,463	$27^1/_2$	1,130
8	0,097	18	0,489	28	1,171
$8^1/_2$	0,110	$18^1/_2$	0,517	$28^1/_2$	1,212
9	0,123	19	0,545	29	1,254
$9^1/_2$	0,137	$19^1/_2$	0,574	$29^1/_2$	1,296
10	0,152	20	0,603	30	1,340
$10^1/_2$	0,167	$20^1/_2$	0,633		

Piemērs. Izmērītās slīpās līnijas garums $= 25{,}75$ m, slīpuma leņķis $\alpha = 17^1/_2{}^\circ$.

Pēc tabulas atrodam, ka uz 10 m izlabojums ir 0,463 m; tad izlabojums uz 25,75 m $= \dfrac{0{,}463 \,.\, 25{,}75}{10} = 1{,}192$ m $\cong 1{,}19$ m un izmērītās slīpās līnijas horizontalā projekcija $= 25{,}75$ m $-$ $- 1{,}19$ m $= 24{,}56$ m.

Līnijas var mērīt ar dažādiem mērīšanas rīkiem, taču zemākās ģeodezijas mērīšanas darbos līnijas mērī gandrīz vai bez izņēmuma tikai ar mērsloksni. Tādēļ līniju mērīšanu ar mērsloksni apskatīsim atsevišķi.

44. Līnijas mērīšana ar mērsloksni

Mērīšanai ir vajadzīgi vismaz 2 cilvēki. Viens paņem mērsloksnes rokturi un 10 (vai 5) iesmiņus un no līnijas sākuma punkta iet mērījamās līnijas virzienā. Otrs attin mērsloksni. Kad mērsloksne ir atritināta visā garumā, tad līnijas sākuma punktā esošais (pēdējais) strādnieks nokomandē ar rokas mājieniem līnijas virzienā esošo (priekšējo) cilvēku tā, lai mērsloksne tieši sakristu ar nosprausto līniju. Tad pēdējais cilvēks rūpīgi noliek mērsloksnes pirmā metra sākuma svītriņu uz līnijas sākuma punktu un uzsauc priekšējam: „savilkt!" Priekšējais savelk mērsloksni ar apmēram 5 kg spēku un iesprauž iesmiņu mērsloksnes beigu galā tam nolūkam ierīkotā mērsloksnes spraugā. Iesmiņš jāiesprauž zemē iespējami vertikali un pietiekami dziļi. Kad tas veikts, priekšējais uzsauc: „gatavs!"; pēdējais atbrīvo mērsloksni no iesmiņa un uzsauc: „var!" Tikai pēc tam priekšējais savu mērsloksnes galu atbrīvo no iesmiņa un dodas pa līniju uz priekšu. Kad pēdējais strādnieks sasniedz iesprausto iesmiņu, tas uzsauc: „stop!", atkal nostāda mērsloksni uz līnijas, pēc tam mērsloksnes galu aizkabina aiz iesmiņa un uzsauc: „savilkt!"; tad tur iesmiņu vertikali, neļaujot tam izkustēties, un turpina darbību tāpat kā sākumā. Visus iespraustos iesmiņus pēdējais cilvēks patur pie sevis un pēc tiem noteic mērslokšņu skaitu izmērījamā līnijas garumā. Ja līnija ir gara, tad mērīšanu turpina, kamēr pēdējais nonāk pie beidzamā — 10. (resp. 5.) iesmiņa, atmērī nākošo mērsloksnes garumu, pārbauda, vai ir visi iesmiņi (mērījuma sākumā bijušo iesmiņu skaits), aiznes tos priekšējam, pirmo iesmiņu iesprauž atmērītā mērsloksnes garuma vietā un mērīšanu turpina.

Nonākot līnijas gala punktā, t. i., līnijas galā, mērnieks nolasa pēc mērsloksnes iedalījumiem nepilno mērsloksnes daļu un pieraksta kopējo līnijas garumu.

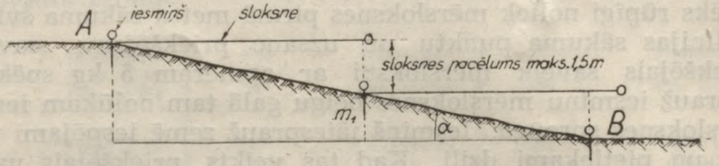
Piemērs. Līnija *AB* mērīta ar mērsloksni, kuras garums = = 20 m; iesmiņu skaits bijis 10 gab. Līniju mērījot, visi iesmiņi pārnesti priekšējam 2 reizes, līnijas beigās pēdējam cilvēkam bijuši 6 iesmiņi; nepilnās mērsloksnes nolasījums — 17,75 m.

2 × 10 iesmiņi reprezentē	(2 × 10) × 20 m	= 400,00 m
6 „ „	6 × 20 „	= 120,00 „
nepilnās mērsloksnes nolasījums	17,75 „	= 17,75 „
	Līnijas *AB* kopgarums	= 537,75 m

Ikviena līnija jāmērī vismaz 2 reizes, izdarot otrreizējo mērījumu labāk pretējā virzienā.

Slīpu līniju mērīšanu ar mērsloksni var izdarīt divējādi: 1) izmērījot slīpo līniju un tās slīpuma leņķi, un 2) izmērījot slīpās līnijas horizontalo projekciju tieši dabā.

Pirmo gadījumu mēs apskatījām, runājot par līniju mērīšanu vispār. Tiešā slīpās līnijas horizontalās projekcijas mērīšana izdarāma šādi (sk. 42. zīmējumu):



42. *zīm.*

a) ejot no augšas uz leju, priekšējais cilvēks ceļ mērsloksnes galu tik augstu, lai izstieptā mērsloksne vai tās daļa būtu horizontalā stāvoklī. Kad mērsloksne ir pareizi nostādīta un savilkta, priekšējais strādnieks projecē mērsloksnes galu uz zemi, laižot iesmiņam krist stāvus vai arī nolaižot svērteni. Mērsloksnes gala horizontalās projekcijas vietā punktā m_1 iesprauž iesmiņu un turpina mērīšanu pēc vajadzības tālāk. Mērsloksnes zemāko galu nedrīkst celt augstāk par 1,5 m, jo, turot mērsloksni augstāk, nav iespējams to pareizi novilkt. Tādēļ lielākās krituma vietās nevar ņemt visu mērsloksnes garumu, bet tikai daļu no tās un, tās zemāko galu pakāpeniski paceļot ne augstāk par 1,5 m, izmērī slīpās līnijas horizontalo projekciju;

b) ejot no lejas uz augšu, t. i., no punkta *B* uz *A*, mērsloksnes gals ir jāpaceļ pēdējam cilvēkam. Tas ir samērā grūts uzdevums, jo vienā laikā viņam mērsloksne jāpaceļ tik augstu, lai tā būtu horizontalā stāvoklī un mērsloksnes gala punkts atrastos uz vienas vertikales ar zemē iesprausto iesmiņu. Šo darbu vieglāk veikt, ja blakus iesmiņam iesprauž maigsti vertikalā stāvoklī un pēc tās notur mērsloksnes sākumu vienā vertikalē ar iesmiņu.

Šis paņēmiens, salīdzinot ar iepriekšējo, dod neprecizākus rezultatus. Ja mērnieka rīcībā ir piemēroti darba rīki, tad var noteikt līnijas slīpuma leņķi α, mērīt slīpās līnijas garumu un pēc tam aprēķināt tās horizontalo projekciju. Praksē ir pierādījies, ka līnijas horizontalās projekcijas tiešais mērīšanas paņēmiens ir piemērots līdzenam un pauguraінam apvidum, bet netiešais — kalnainam apvidum.

45. Līniju mērīšanas kļūdas

Līniju mērīšanā var ieviesties trīs galvenās kļūdu grupas:

1) rupjās kļūdas,
2) gadījuma kļūdas un
3) sistematiskās kļūdas.

Apskatīsim kļūdas, kas rodas, mērījot līniju ar mērsloksni.

46. Rupjās kļūdas

Tās ir jānovērš, jo nav pieļaujamas. Tās var novērst, izdarot mērīšanu ar rūpīgu un koncentrētu uzmanību. Rupjām kļūdām pieskaitāmas: 1) nepareiza iesmiņu skaitīšana (kļūdas lielums būs veselu mērsloksnes garumu apmēros), 2) nepareiza visu iesmiņu maiņu atzīmēšana (kļūdas lielums būs: neatzīmēto maiņu skaits × visu iesmiņu skaits × mērsloksnes garums) un 3) nepareiza mērsloksnes daļas nolasīšana līnijas gala punktā (kļūdas lielums var būt nepilnas mērsloksnes garumā).

47. Gadījuma kļūdas

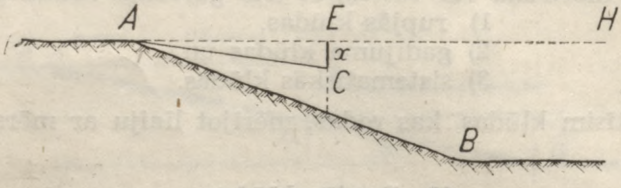
Gadījuma kļūdām var pieskaitīt tās kļūdas, kas rodas, mērījot slīpo līniju horizontalās projekcijas tieši dabā, t. i., 1) horizontalitates kļūda, 2) kļūda mērsloksnes ieliekšanās dēļ, 3) kļūda, ko dod mērsloksnes paceltā gala nepareizā projecēšana uz zemes.

48. Horizontalitates kļūda

Šī kļūda rodas no tā, ka mērsloksni grūti noturēt horizontali, un tā gandrīz vienmēr novirzās no horizontalās līnijas. Piemēram, 43. zīmējumā līmeniskais stāvoklis parādīts ar taisni *AH*, bet mērsloksne tiek turēta kļūdaini *AC*, tas ir, ar novirzi no horizontalās līnijas.

Šo mazo kļūdas lielumu *(EC)* mēs nepamanām un tādēļ esam pārliecībā, ka mērsloksne tiek turēta *AH* virzienā — stāvoklī

AE. Līdz ar to mērsloksnes garums AC ir mērījumā atzīmēts kā garums AE. No taisnleņķa $\triangle AEC$ mēs redzam, ka mērsloksnes garums AC ir trijstūra hipotenuza, turklāt katete EC ir novirzes kļūda x, un AE ir projecētais mērsloksnes garums (t. i., garums, kas mērījuma rezultātā tiek uzņemts par patieso mērsloksnes garumu). Tad garuma kļūda $\varepsilon = \overline{AC} - \overline{AE}$; $\overline{AE} = \overline{AC} - \varepsilon$.



43. zīm.

No trijstūra AEC:

$$\overline{AC}^2 = \overline{AE}^2 + \overline{CE}^2.$$

Ieliekot formulā $\overline{AE}$ un $\overline{CE}$ to nozīmes, dabūsim, ka

$$\overline{AC}^2 = \overline{AC}^2 - 2\overline{AC} \,.\, \varepsilon + \varepsilon^2 + x^2; \quad 2\overline{AC} \,.\, \varepsilon = \varepsilon^2 + x^2.$$

Salīdzinot ar $\overline{AC}$, ε ir ļoti mazs lielums un ε^2 ir vēl mazāks, tādēļ pēdējais, praktiski ņemot, ir nenozīmīgs lielums un mēs to varam atmest. Tad

$$2\overline{AC} \,.\, \varepsilon = x^2,$$

$$\varepsilon = \frac{x^2}{2AC} \text{ un } x = \sqrt{\varepsilon \,.\, 2AC}.$$

Pēc šīs formulas mēs varam aprēķināt, pie kādas novirzes x garuma kļūda ε būs $= 0{,}01$ m, mērīšanu izdarot ar 10 m garu mērsloksni:

$$0{,}01 = \frac{x^2}{2 \,.\, 10};$$

$$x = \sqrt{2 \,.\, 10 \,.\, 0{,}01} = \sqrt{0{,}20} \cong 0{,}45 \text{ m}.$$

Aprēķināsim, kāda var būt novirze uz 10 m, lai līniju mērīšanas rezultatu dabūtu ar noteiktību $\frac{1}{5000}$.

$$\text{Tad } \varepsilon = \frac{10}{5000} \text{ un } \overline{AC} = 10$$

$$\text{un } x = \sqrt{\frac{10}{5000} \cdot 2 \cdot 10} = \sqrt{0{,}04} = 0{,}20 \text{ m.}$$

No tā mēs varam spriest, ka, lai sasniegtu līniju mērīšanas noteiktību $\frac{1}{5000}$, tad līniju slīpumus, kuru kritumi[1] ir mazāki par 0,20 m uz 10 m, var neievērot un mērīt līniju, it kā tā būtu līmeniska.

Piemērs. Kādu līniju slīpumu var ignorēt, lai sasniegtu mērīšanas noteiktību $\frac{1}{3000}$?

Aprēķināsim kritumu uz 10 m.

$$\text{Tad } \overrightarrow{AC} = 10; \; \varepsilon = \frac{10}{3000} \text{ un}$$

$$x = \sqrt{\frac{10}{3000} \cdot 2 \cdot 10} = \sqrt{0{,}0666} \cong 0{,}26 \text{ m.}$$

Bet ar mērīšanas noteiktību $\frac{1}{2000}$ kritumu var ignorēt uz 10 m:

$$x = \sqrt{\frac{10}{2000} \cdot 2 \cdot 10} = \sqrt{0 \cdot 10} \cong 0{,}33 \text{ m.}$$

49. Kļūda mērsloksnes ieliekšanās dēļ

Neatbalstīta, izstiepta mērsloksne smaguma spēka ietekmē pieņem atkarībā no stiepēja spēka lieluma lielāku vai mazāku līknes veidu.

Ja mēs apzīmēsim pareizo mērsloksnes garumu ar l, mērsloksnes viena metra svaru ar p, mērsloksnes stiepēja spēku ar P un ieliektās mērsloksnes horizontalo projekciju ar λ, tad uz mērsloksnes garuma radušos kļūdu var aprēķināt pēc formulas:

$$l - \lambda = \frac{p^2 \lambda^2}{24 P^2}.$$

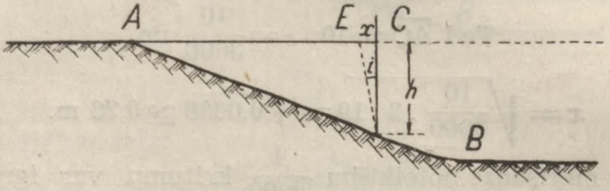
Tā kā parasti pie slīpo līniju horizontalās projekcijas tiešās mērīšanas gandrīz nekad nav iespējams noteikt mērsloksnes stiepēja spēku un nav iespējams noteikt arī mērsloksnes svaru

[1] Par līniju kritumu sauc augstumu starpību starp slīpās līnijas gala punktiem.

(jo uz mērsloksnes arvien atradīsies putekļi, smiltis, ūdens pilieni utt.), tad taisni šo iemeslu dēļ kļūdas noteikšana ir apšaubāma un neiespējama.

50. Kļūda, ko dod mērsloksnes paceltā gala nepareizā projekcija

Pēc 44. zīmējuma pieņemsim mērsloksnes garumu — $\overline{AC}$; mērsloksnes pacēlumu — h, maigstes slīpumu, t. i., maigstes novirzi no vertikalā stāvokļa (arī iesmiņa projecēšanas kļūdu) — i, kļūdu uz mērsloksnes garumu — x.



44. zīm.

Mēs redzam, ka arī šī kļūda x ir ļoti grūti nosakāma, jo tā ir sakarā ne tikvien ar mērsloksnes gala C turētāja un projecētāja individualām rīcības spējām, bet arī ar dabas apstākļiem, kas iedarbojas iesmiņa krišanas laikā. Iesmiņu var novirzīt no vertikalā krišanas virziena vēja spēks un bez tam arī augu stublāji, pret kuriem atsitoties iesmiņš var mainīt krišanas virzienu. Ja lieto svērteni — var iedarboties vējš un paša svērteņa šūpošanās. Maigste dod nenosakāma lieluma novirzi.

Ja mēs pieņemsim, ka pacēlums $h = 1{,}20$ m un projecēšanas novirze i ir tikai 1 : 30, mērsloksnes garums $\overline{AC} = 10$ m, tad uz 10 m mēs būsim kļūdījušies $x = ih = 0{,}04$ m $= 4$ cm.

51. Sistematiskas kļūdas

Sistematiskām kļūdām pieskaitāmas: 1) mērsloksnes nepareizais garums; 2) mērsloksnes novirze no taisnas līnijas; 3) nepareizu iesmiņu iespraušana (projecēšana); 4) temperaturas ietekme uz mērsloksnes garumu un 5) mērsloksnes elastības kļūda.

Praktiski var pieņemt, ka sistematiskas kļūdas ir nenovēršamas. Tās ir jāizpētī, jānosaka to lielumi un par tik jāizdara izmērīto garumu izlabojumi.

52. Mērsloksnes nepareizais garums

Ja pārbaudē konstatēts, ka mērsloksnes garums ir nepareizs un darba noteiktība prasa nepareizību novērst, tad garumu mērījumos jāizdara izlabojumi. Ja mērsloksne ir garāka, tad izmērītais garums būs patiesībā garāks, un otrādi — ja mērsloksne būs īsāka, arī izmērītā līnija būs patiesībā īsāka nekā mērījumā dabūtais rezultats.

Piemērs: 20 m gara mērsloksne pārbaudē atrasta īsāka par 15 mm. Izmērītā līnija ir 570,80 m gara.

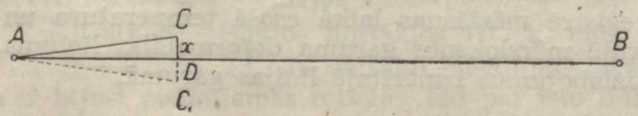
Pareizais līnijas garums būs

$$570{,}80 - \frac{570{,}80}{20} \cdot 0{,}015 = 570{,}80 - 28{,}54 \cdot 0{,}015 \cong$$

$$\cong 570{,}80 - 0{,}43 \cong 570{,}37 \text{ m}.$$

53. Mērsloksnes novirze no taisnas līnijas

Mērsloksni gandrīz nekad nav iespējams nospraust pa teoretiski taisnu līniju. Ja 45. zīmējumā uzrādītā izmērījamā līnija ir $\overline{AB}$, tad mērījot mērsloksne novirzīsies vai nu AC, vai AC_1 stāvoklī. Tātad $\overline{AD}$ līnijas īstais garums būs mazāks nekā AC par kļūdu $\varepsilon = \overline{AC} - \overline{AD}$. Mērījumā par pareizo garumu tomēr tiek uzskatīts AC.



45. zīm.

No taisnleņķa $\triangle ACD$ varam rakstīt, ka

$$\overline{AC}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{CD}^2.$$

Ieliekot $\overline{AD}$ un $\overline{CD}$ to nozīmes, dabūsim, ka

$$\overline{AC}^2 = (AC - \varepsilon)^2 + x^2.$$
$$AC^2 = AC^2 - 2 \,.\, \overline{AC} \,.\, \varepsilon + \varepsilon^2 + x^2.$$

Atmetot ε^2 kā formulā neievērojamu lielumu:

$$2 \,.\, \overline{AC}\varepsilon = x^2;$$

$$\varepsilon = \frac{x^2}{2\overline{AC}}.$$

Šī ir mums jau pazīstama formula, ko apskatījām, aprēķinot horizontalitates kļūdu. Mēs redzējām, ka, lai dabūtu mērījumu ar noteiktību $\frac{1}{5000}$ uz 10 m garuma, novirze x var būt līdz 0,20 m. Tāda novirze, līnijas rūpīgi mērījot, ir izslēgta, un līdz ar to mērsloksnes novirzes kļūda ir praktiski neievērojama.

54. Iesmiņi nav iesprausti vertikali un stabili

Parasti iesmiņus iesprauž gan vertikali, bet, mērsloksni stiepjot (savelkot), tos vairāk vai mazāk novirza no vertikalā stāvokļa. Ja iesmiņš no vertikalā stāvokļa ir ticis novirzīts, tad novirzes dēļ rodas kļūdas, kādas apskatījām pie mērsloksnes gala nepareizas projekcijas. Šīs kļūdas, līnijas mērījot, var samazināt, ja iesmiņu iesprauž stabili un, mērsloksni savelkot, neļauj iesmiņam izkustēties no vertikalā stāvokļa.

55. Temperaturas ietekme uz mērsloksnes garumu

Temperaturas ietekme uz mērsloksnes garumu var dažkārt būt ļoti ievērojama, un tas apskatīts līniju mērīšanas rīku pārbaudē. Lai temperaturas ietekmē radušos kļūdu varētu izslēgt, tad jāreģistrē mērīšanas laikā esošā temperatura un pēc tās jāizkalkulē mērsloksnes garuma deformacijas lielums, izdarot pēc tā izlabojumus izmērītajā līnijas garumā.

56. Mērsloksnes elastības kļūda

Uz stiepi piepūlēta mērsloksne izstiepjas, un, piepūli noņemot, tā atkal ieņem savu normalo garumu. Šo parādību sauc par *mērsloksnes elastību*. Mērsloksnes pagarinājums, kas rodas no tās elastības mērīšanā, dod jūtamu kļūdu, un precizos līniju mērīšanas darbos tas ir jāievēro.

Praktiskām vajadzībām mērsloksnes elastības kļūdu var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$\lambda = \frac{P \, . \, l}{EF};$$

λ — mērsloksnes pagarinājums no piepūles P,
P — piepūle uz stiepi,
l — mērsloksnes normalais garums,
E — materiala atsperības modulis,
F — šķērsgriezuma laukums.

Tērauda vidējais atsperības modulis ir 20,000 kg uz 1 mm^2. Protams, ka, lai aprēķinātu mērsloksnes elastības pagarinājumu, ir nepieciešami mērsloksni savilkt ar precizi noteiktu spēku P.

57. Līniju mērīšanas noteiktība

Parastos uzmērīšanas darbos ikviena līnija mērījama ne mazāk kā divas reizes — turp un atpakaļ, ar nolasījumu noteiktību līdz 0,01 m. Jāievēro, ka, arī visrūpīgāk mērījot, atsevišķo mērījumu rezultati atšķirsies viens no otra par nelielu starpību — novērsību jeb kļūdu. Ja mēs līniju garuma pirmajā mērījumā iegūto rezultatu apzīmēsim ar S un otrā mērījumā iegūto rezultatu ar S_1 un novērsību ar d, tad

$$d = S - S_1.$$

Pie Latvijas poligonometriskā tīkla ir strādāts pēc techniskās instrukcijas, kas noteica, ka mērījumu starpība var atšķirties dažādos lielumos, skatoties pēc tā, kādi ir bijuši mērīšanas apstākļi. Labos apstākļos I šķ. mērījums $d_{max} = 0{,}01\sqrt{0{,}7 \, . \, S + 0{,}0007 \, . \, S^2}$. Vidējos apstākļos II šķ. mēr. $d_{max} = 0{,}01\sqrt{S + 0{,}001 \, . \, S^2}$. Sliktos apstākļos III šķ. mēr. $d_{max} = 0{,}01\sqrt{1{,}3 \, . \, S + 0{,}0015 \, . \, S^2}$. Ja vairāku mērījumu savstarpēja atšķirība ir bijusi pieļaujamās robežās, tad par īsto līnijas garumu no visiem mērījumiem uzskata aritmetisko vidējo.

Parastos uzmērīšanas darbos divu mērījumu pieļaujamo starpību aprēķina pēc relativās novērsības. Absolutā novērsība $d = S - S_1$. Relativā novērsība, ko apzīmēsim ar x, ir $d : \frac{S + S_1}{2} = \frac{2d}{S + S_1}$ jeb $x = \frac{2(S - S_1)}{S + S_1}$.

Piemērs. Pirmā mērījuma rezultats 125,39 m $= S$.
Otra „ „ 125,32 „ $= S_1$.

Relativā novērsība $x = \frac{2 \cdot (125{,}39 - 125{,}32)}{125{,}39 + 125{,}32} = \frac{0{,}14}{250{,}71} \cong \frac{1}{1790{,}8}$.

Parastos uzmērīšanas darbos atšķirība var būt:

Labvēlīgos mērīšanas apstākļos $x_{max} = \frac{1}{3000}$;

vidējos „ „ $x_{max} = \frac{1}{2000}$;

sliktos „ „ $x_{max} = \frac{1}{1000}$.

Piemērs. Līniju mērījums izdarīts sliktos apstākļos: purvainā, ar augstiem ciņiem apaugušā, staignā vietā. Pieļaujamā mērījuma relativā novērsība ir $\frac{1}{1000}$, bet mērījumā konstatētā novērsība $x = \frac{1}{1790{,}8}$. Darbs izpildīts labi.

58. Līniju slīpuma leņķu mērīšana

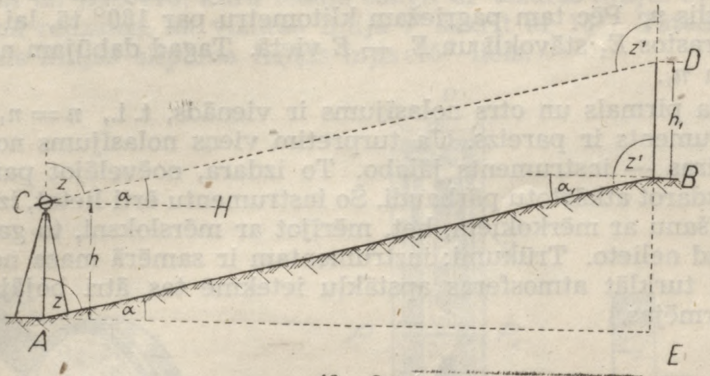
Leņķis, ko veido dotās vietas zemes virsas līnija ar horizontalo līniju vertikalā plaknē, ir zemes virsas līnijas slīpuma leņķis. Līniju slīpuma leņķu noteikšana vispār ietilpst vertikalā uzmērīšanā, kuru apskatīsim vertikalās uzmērīšanas nodaļā. Taču, ciktāl slīpuma leņķu mērīšana attiecas tieši uz izmērīto slīpo līniju horizontalo projekciju noteikšanu ar tieši šīm vajadzībām izgatavotiem instrumentiem, slīpuma leņķu mērīšanu apskatīsim pie līniju mērīšanas. Slīpuma leņķus nosaka divējādi: 1) attiecībā pret horizontali un 2) attiecībā pret vertikali (tad to sauc par zenitalo attālumu jeb zenitdistanci).

Pēc 46. zīmējumā parādītā attēla varam rakstīt, ka

$$z = 90^\circ - \alpha,$$
$$z^1 = 90^\circ + \alpha.$$

Leņķi α izmērī ar instrumentu. Lai to izdarītu, punktā A nostāda instrumentu, bet punktā B uz maigstes atzīmē instrumenta augstumu $h = h_1$. Ja tas ir izdarīts, tad instrumenta vizura CD ir paralela AB zemes virsai, un, tā kā līmeniskais virziens vienmēr ir konstants, tad

$$\sphericalangle DCH = \sphericalangle BAE = \alpha.$$

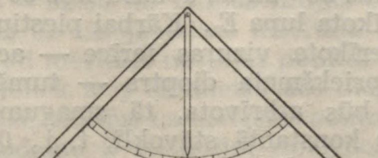


46. zīm.

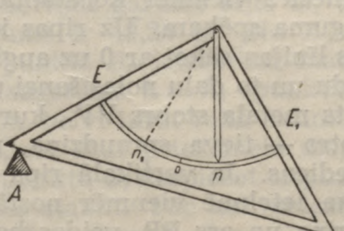
Ģeodezijā līniju horizontalo projekciju noteikšanai slīpuma leņķus mērī ar šim nolūkam speciali gatavotiem instrumentiem, no kuriem parastākie ir šādi.

59. Lodeklis ar sektoru — klitometrs

Klitometrs ir vienkāršākais slīpuma leņķu mērīšanas instruments, ko gatavo no koka vienādsānu trijstūra veidā. Uz pamatnes izveidota loka tiek atzīmētas gradu iedaļas (sk. 47. zīmējumu), kuras nolasa pēc virsotnē piestiprināta svārsta — rādītāja.



47. zīm.



48. zīm.

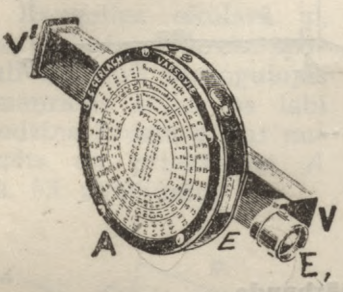
Instrumentu pārbauda, uzliekot to uz plaknes vienā taisnē divos stāvokļos (pagriežot par 180°) vai vienkārši uz diviem atbalsta punktiem. Pieņemsim, ka 48. zīmējumā klitometrs uzlikts uz atbalstiem punktos A un B. Tad nolasījums uz loka ir skaitlis n. Pēc tam pagriežam klitometru par 180° tā, lai mala E atrastos E_1 stāvoklī un E_1 — E vietā. Tagad dabūjam nolasījumu n_1.

Ja pirmais un otrs nolasījums ir vienāds, t. i., $n = n_1$, tad instruments ir pareizs. Ja turpretim viens nolasījums no otra atšķiras — instruments jālabo. To izdara, noēvelējot pamatni un izdarot atkārtotu pārbaudi. Šo instrumentu ērti lietot, izdarot mērīšanu ar mērkokiem, bet, mērījot ar mērsloksni, to gandrīz nekad nelieto. Trūkumi: instrumentam ir samērā maza noteiktība, turklāt atmosferas apstākļu ietekmē tas ātri bojājas — deformējas.

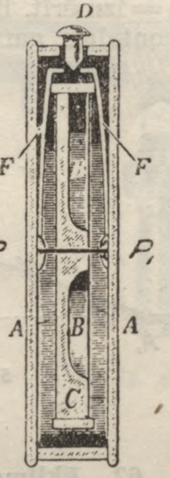
60. Eklimetrs

Tas ir pie mums visbiežāk lietotais instruments līniju slīpuma leņķu mērīšanai un sastāv no apaļas metala kārbas A (sk. 49. zīmējumu), kurā uz ass PP^1 (sk. 50. zīmējumu) atrodas ripa BC, kas, ja ripu atbrīvotu ar podziņu D, var griezties ap asi. Uz ripas ārējās malas atzīmētas gradu iedaļas, kas nolasāmas pa lodziņu E_1. Ripu nostiprina atsperes FF_1; to var atbrīvot, nospiežot podziņu D. Ripa ierīkota tā, lai tās smaguma punkts atrastos apakšā — C daļā, un tātad ar podziņu D atbrīvotā ripa nostāsies tā, ka horizontalā ass PP_1 un smaguma punkts C atradīsies vienā vertikalā plaknē. No tā mēs varam spriest, ka, ja ripa atradīsies stabilā stāvoklī, tad horizontalā līnija uz ripas iezīmēsies vienmēr konstantā stāvoklī, t. i., tā būs stateniska smaguma spēkam. Uz ripas iezīmētas gradu daļas no horizontalās līnijas, sākot ar 0 uz augšu līdz 60° un uz apakšu līdz 60°. Gradu un to daļu nolasīšanai pierīkota lupa E_1. Kārbai piestiprināts metala stobrs VV_1, kurā ierīkota vizuras ierīce — acs dioptrs — tieva spraudziņa, un priekšmeta dioptrs — tumšs pavediens. Ja vertikalā ripa BC būs atbrīvota, tā smaguma spēka ietekmē vienmēr nostāsies konstantā stāvoklī, t. i., 0° svītriņa un ass PP_1 veidos horizontalu līniju, bet stobrs un tā vizuras līnija veidos leņķi, kas uz ripas iedaļām izteiksies iedaļu vērtībās.

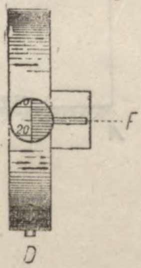
Ja instruments ir pareizs, tad no atsperes atbrīvotās ripas 0° iedaļai jāsakrīt ar vizuras līniju horizontalā stāvoklī. Lietojot caur lupu jāskatās uzmanīgi kā uz vizuras līniju, tā arī uz iedaļām un jāievēro, kura iedaļa sakrīt ar vizuras līniju. 51. zīmējumā redzams, ka vizuras līnija F sakrīt ar 15°. Tātad izmērītais līnijas slīpuma leņķis bijis 15° liels.



49. zīm.



50. zīm.



51. zīm.

61. Eklimetra lietošana

Līniju slīpuma leņķus mērī šādi.

Pieņemsim, ka mums jāizmērī 52. zīmējumā parādītās līnijas AB horizontalās projekcijas garums. No punktiem A līdz A_1 līnija ir horizontala, un izmērītais garums bijis 45,75 m. No A_1 līdz A_2 slīpās līnijas garums ir 49,25 m. No A_2 līdz $B = 52{,}55$ m. Slīpās līnijas gala punktā A_2 jāiesprauž maigste un uz tās jāatzīmē mērītāja acs augstums $h = h_1$ (punktā C). Tad mērītājs nostājas punktā A_1 un, brīvi turot rokā eklimetru, pieliek acij eklimetra acs dioptru, un caur priekšmeta dioptru vizē (skatās) uz maigstes atzīmēto punktu C, nospiežot ar pirkstu podziņu D un ļaujot ripai nostāties stabili. Pēc tam nolasa uz ripas iedaļām slīpuma leņķi α, šajā gadījumā $\sphericalangle\, \alpha = 15°$.

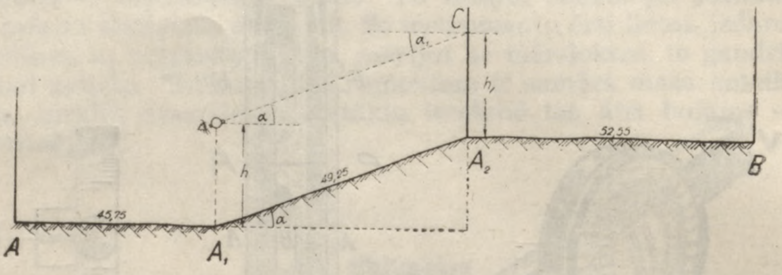
Slīpas līnijas horizontalo garumu aprēķinām pēc līniju mērīšanas nodaļā uzrādītās tabulas.

Kopējais izlabojums līnijai AB tad būs:

AA_1 — 45,75 m	slīp. leņķis	00°	izlaboj. pēc tabulām		$= 0{,}00$ m
A_1A_2 — 49,25 m	„ „	15^0	—	$\frac{0{,}341}{10} \cdot 49{,}25$	$= 1{,}68$ m
A_2B — 52,55 m	„ „	00^0	—		$= 0{,}00$ m

147,55 m = izmērīt. līnijas garumam ar izlab. = 1,68 m.

Līnijas AB horizontalais garums ir 147,55 m — 1,68 m = = 145,87 m.



52. zīm.

62. Eklimetra pārbaude

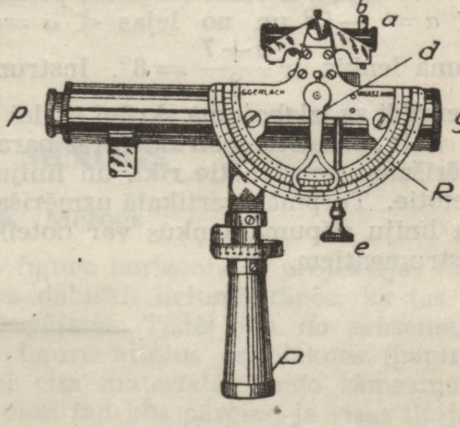
Instrumentu pārbauda, mērījot slīpuma leņķi slīpās līnijas abos galos, tas ir, punktā A_1 un punktā A_2. Par pareizu var uzskatīt instrumentu, ja leņķi α un α_1 neatšķiras vairāk kā par $0{,}5^\circ$. Instrumentu labot nevar, un, ja atšķirība ir lielāka par pieļaujamo, tad slīpuma leņķi jāmērī abos slīpuma līnijas galos, un pareizo slīpuma leņķi dabūsim, ņemot no abiem mērījumiem aritmetisko vidējo, t. i.,

$$\alpha_p = \frac{\alpha + \alpha_1}{2},$$ kur α_p ir pareizais slīpuma leņķis.

63. Spoguļeklimetrs

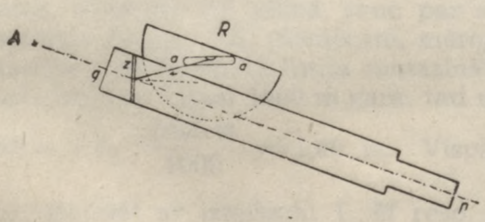
Spoguļeklimetrs sastāv no vizuras stobra ar cauru vidu pg, kura acs dioptrā ir mazs, apaļš caurumiņš, bet priekšmeta dioptrs izveidots no 2 perpendikulariem pavedieniem (sk. 53. zīmējumu). Stobram piestiprināts pusloks R ar gradu iedaļām pieaugumā no viduspunkta O uz abām pusēm.

Ar skrūvīti *e* var grozīt rādītāju *d*, kura galā ir nonijs vai vienkārši indeks, kas slīd pa loka iedaļām. Ar ritentiņu *e* nekustīgi saistīts līmeņrādis *a*. Līmeņrāža izlabojamā skrūve ir *b*. Zem līmeņrāža stobrā ierīkota iegarena, pagarināta sprauga *R* (sk. 55. zīmējumu), bet pašā stobra caurulē šinī vietā ierīkots slīps spogulis *Z*, kas aizņem pusi no visa redzes lauka. 54. zīmējumā *Z* ir spogulis, *A* redzes lauks.

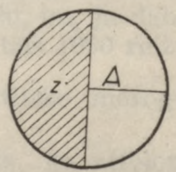


53. *zīm.*

Raugoties okularā *p*, mēs redzam pa kreisi spoguli *Z*, kurā atspoguļojas līmeņrādis *a*, un pa labi diedziņa krustu *g*, kas novizēts uz priekšmeta *A* (sk. 55. zīmējumu).



55. *zīm.*



54. *zīm.*

64. Spoguļeklimetra lietošana

Tāpat kā darbojoties ar parasto eklimetru, vispirms novērotāja acs augstumā uz maigstes jāatzīmē punkts *(A)*. Pēc rādītāja nolasa leņķa lielumu grados. Ja instruments nav atbalstīts uz stativa, tad to tur labajā rokā aiz kāta *P* un skatās (vizē) caur dioptriem uz punktu *A*. Tajā pašā laikā ar kreiso roku, griežot ritentiņu *e*, griež līmeņrādi *a* tā, lai burbulīša attēls būtu redzams pa kreisi no novērojamā punkta un lai burbulītis atrastos vidū.

65. Spoguļeklimetra pārbaude

Instrumentu pārbauda, mērījot slīpuma leņķi no slīpās līnijas abiem galiem, t. i., no augšas un no apakšas. Ja izmērīto leņķu lielumi atšķiras, piemēram, no augšas izmērītais $\sphericalangle\ \alpha = -7^\circ$ un no lejas $\sphericalangle\ \alpha = +9^\circ$, tad pareizais slīpuma leņķis ir $\frac{9+7}{2} = 8^\circ$. Instrumentu izlabo, nostādot līmeņrādi ar izlabojuma skrūvi tā, lai dabūtu nolasījumu 8°.

Šeit apskatītie instrumenti ir parastākie līniju slīpuma leņķu mērīšanai konstruētie rīki, un līniju mērīšanā tie ir visbiežāk lietotie. Turpmāk vertikalā uzmērīšanas aprakstā mēs redzēsim, ka līniju slīpuma leņķus var noteikt arī ar citiem ģeodezijas instrumentiem.

IV. MĒROGS

66. Mērogs

Dabā izmērīto līniju un figuru horizontalās projekcijas nav pieņemts attēlot uz plaknes dabiskā lielumā tāpēc, ka tas ir nepraktiski un vispār neiespējami. Tādēļ jau no senseniem laikiem izmērīto līniju un figuru attēlus uz plaknes (papīra, koka, metala, celuloida vai cita materiala) veido samazinātā veidā. Samazinātais attēls tikai tad būs pareizs, ja visas līnijas būs samazinātas zināmā vienādā proporcijā. Skaitlisku attiecību, kuras dalītājs rāda, cik reižu dabā izmērītās līnijas ir samazinātas, attēlojot tās plānā, sauc par skaitlisko mērogu jeb redukcijas skaitli. Tā, piemēram, mērogs 1 : 1000 rāda, ka attēlā ikkatra dabā izmērītā līnija samazināta 1000 reižu, un, ja dabā kāda līnija ir bijusi 1000 m gara, tad uz plāna tā būs 1000 reižu īsāka, t. i., $\frac{1000\ \mathrm{m}}{1000} = 1{,}00$ m. Vispārināti skaitlisko mērogu var apzīmēt ar izteiksmi $1 : M$ resp. $\frac{1}{M}$, kas rāda, ka attēloto līniju garumi samazināti M reizes.

Plāni ir sastādīti un vēl tagad tiek sastādīti visdažādākos mērogos. Ja uzmērījams mazāks zemes gabals ar sarežģītāku situaciju, tad plāna labākas pārskatāmības dēļ tās sastādīšanai jāizvēlas lielāks mērogs, t. i., samazinājumam $\frac{1}{M}$ jābūt mazākam resp. $\frac{1}{M}$ attiecībai jābūt lielākai.

Ilustracijai še noderēs šāda mērogu salīdzināšanas tabula:

Kādā mērogā sastādīts plāns	100 m dabā atbilst n cm uz plāna	1 cm uz plāna atbilst dabā		Pēc plāna iespējams noteikt mazāko lielumu dabā
		n cm	n m	
1 : 100	100,—	100	1,00	0,005 m = 0,5 cm
1 : 200	50,—	200	2,00	0,01 m = 1,0 cm
1 : 500	20,—	500	5,00	0,025 m = 2,5 cm
1 : 1.000	10,—	1.000	10,—	0,05 m = 5 cm
1 : 2.000	5,—	2.000	20,—	0,10 m = 10 cm
1 : 2.500	4,—	2.500	25,—	0,125 m = 12,5 cm
1 : 4.000	2,50	4.000	40,—	0,20 m = 20 cm
1 : 5 000	2,—	5.000	50,—	0,25 m = 25 cm
1 : 10.000	1,—	10.000	100,—	0,5 m = 50 cm
1 : 25.000	0,40	25.000	250,—	1,25 m = 125 cm
1 : 75.000	0,13333	75.000	750,—	3,75 m = 375 cm

Par vismazāko garumu, ko var ņemt ar ļoti labu cirkuli, pieņem $^1/_{10}$ mm, bet vismazāko garumu, ko var redzēt ar nebojātām, neapbruņotām acīm, $^1/_{20}$ mm.

No mērogu salīdzināšanas tabulas mēs redzam, ka mērogā 1 : 100 sastādītā plānā var izšķirt attālumus līdz $^1/_2$ cm, turpretim mērogā 1 : 10000 tikai 50 cm un mērogā 1 : 75000 — vairs tikai 3,75 m attālumus. Tātad, ja mums būs uzdots sastādīt plānu, lai pēc tā varētu noteikt attālumus ar 10 cm noteiktību, tad mēs nevarēsim to sastādīt mērogā 1 : 5000, jo tur mēs labākā gadījumā attālumus varēsim noteikt ar noteiktību 25 cm, bet plāns mums būs jāsastāda mērogā 1 : 2000 vai drošāk — 1 : 1000, kurā mēs varēsim attālumus noteikt jau ar 5 cm noteiktību.

Sastādīt plānu ar skaitlisko mērogu ir neērti, jo ikviens dabā izmērītais lielums attēlošanai uz plāna ir jāpārvērš dotā mērogā samazinātā lielumā.

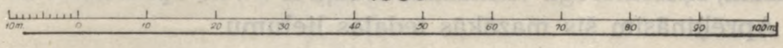
Tādēļ sastāda līnearos vai šķērsmērogus, pēc kuriem dabā izmērītos garumus ir iespējams paņemt ar cirkuli mērogā samazinātā lielumā.

Mēroga garumu, kas atbilst apaļam metru skaitam (10, 100, 1000) dabā sauc par *mēroga pamatu*. Piemēram, mērogs 1 : 5000; 1 cm uz plāna vienlīdzīgs 50 m dabā; 2 cm uz plāna vienlīdzīgi 100 m dabā. Tad mēroga pamats ir 2 cm. Mērogs 1 : 250; 1 cm uz plāna vienlīdzīgs 2,5 m dabā, bet 4 cm uz plāna vienlīdzīgi 10 m dabā. Tad mēroga pamats ir 4 cm.

67. Līnearais mērogs

Līnearais mērogs ir skaitliskam mērogam atbilstoša diagrama. Pieņemsim, ka mums ir uzdots pagatavot līnearo mērogu 1 : 1000. Lai to izdarītu, mums vispirms jānosaka mēroga pamats, t i., jānosaka attālums uz plāna, kas dabā atbilstu apaļām 10 vai 100 mēra vienībām. Mērogam 1 : 1000 noteiksim pamatu 1,00 cm. Tas dabā atbildīs 1,00 cm × 1000 = 1000 cm = 10 m.

Uz taisnes (kā tas redzams 56. zīmējumā) pēc vajadzības vairākkārt atliek pamatus.



56. zīm.

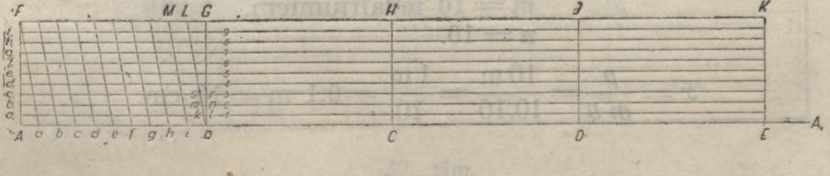
Pirmo pamatu sadala 10 daļās un to atdala ar 0. No nulles uz labo pusi pamatus sumē. Ja nu pēc šāda mēroga jāatliek uz plāna 55 m, tad labo cirkuļa kāju noliek uz 50. iedalījuma un kreiso uz 5. svītriņas no nulles pa kreisi. Cirkuļa kājiņu atstarpe mērogā 1 : 1000 ir 55 m. Taču arī šis mērogs ir neparocīgs, jo, piemēram, 55,70 m mums būtu jāņem 0,7 m pēc acumēra, t. i., desmitdaļas vispār būtu ņemtas nenoteikti.

Lai varētu paņemt pēc mēroga arī mazākas, ar neapbruņotu aci saredzamas daļas (konkretā gadījumā desmitdaļas), tad lieto šķērsmērogu, ko sauc arī par diagonalskalu, kā arī vēl par transversalmērogu.

68. Šķērsmērogs

Šķērsmēroga konstruēšanai tāpat vispirms jāizvēlas pamats, kas atbilstu apaļām 10, 100 vai pat 1000 mēra vienībām dabā. Pamatu apzīmēsim ar p.

Uz taisnes AA_1 (57. zīmējumā) atliekam zināmu skaitu (parasti 4 līdz 5) pamatu garumus $p = AB = BC = CD = DE$.



57. zīm.

Pamatu galu punktos A, B, C, D, E uzstādām brīvi izvēlētā garumā stateņus $AF = BG = CH \ldots = h$, ko sauc par *mēroga augstumu*. Stateņus sadalām vienādās n daļās (parasti 10 daļās) un savienojam ar paralelām taisnēm $Aa_1 = a_1b_1 = b_1c_1 = \ldots \frac{h}{n}$. Tāpat arī pamatu $p = AB$ un FG sadalām vienādās m daļās (parasti 10) $Aa = ab = bc = \ldots \frac{p}{m}$. Savienojot punktus B ar L un i ar M un tāpat pārējos līdz punktam a ar F, mēs dabūsim šķērsmērogu. Kā no zīmējuma redzam, šķērsmēroga vismazākā iedaļa ir kl, ko apzīmēsim ar x.

Aprēķināsim šīs mazākās iedaļas lielumu.

No $\triangle Bkl$ un $\triangle BLG$, kas ir līdzīgi, varam sastādīt proporciju:

$$\frac{kl}{LG} = \frac{Bl}{BG};\quad kl = \frac{Bl\,.\,LG}{BG},\quad \text{bet } Bl = Aa_1 = \frac{h}{n} \text{ un}$$

$$LG = Aa = \frac{p}{m};\quad BG = h.$$

Ieliekot formulā nozīmes, dabūsim, ka

$$kl = x = \frac{h\,.\,p}{n\,.\,m\,.\,h} = \frac{p}{mn}.$$

Tātad šķērsmērogā vismazākā iedaļa līdzinās pamatam, dalītam ar augstumu un pamata iedaļu skaitu reizinājumu.

No zīmējuma nepārprotami redzam, ka $mn = 2x$; $sr = 3x$ utt.

Piemērs. Atcerēsimies, ka lineārā mērogā par pamatu mērogam 1 : 1000 ņēmām 1 cm, kas atbilda 10 m dabā. Aprēķināsim šim pašam mērogam ar to pašu pamatu mazāko šķērsmēroga iedalījuma x lielumu:

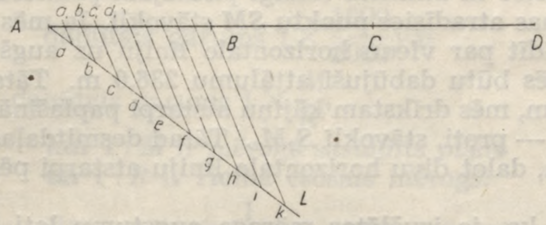
$$p = 10 \text{ m},$$
$$m = 10 \text{ iedalījumiem},$$
$$n = 10.$$

$$x = \frac{p}{m\,n} = \frac{10\,\text{m}}{10.10} = \frac{1\,\text{m}}{10} = 0{,}1 \text{ m} = 10 \text{ cm}.$$

69. Šķērsmēroga konstruēšana

Vispārējus paņēmienus šķērsmēroga konstruēšanā mēs jau apskatījām, runājot par mazākās iedaļas lielumu, bet neapskatījām jautājumu, kā sadalīt pamatu vienlīdzīgās daļās. To visērtāk izdarīt šādi:

58. zīmējumā pamats $p = AB = BC = CD$.



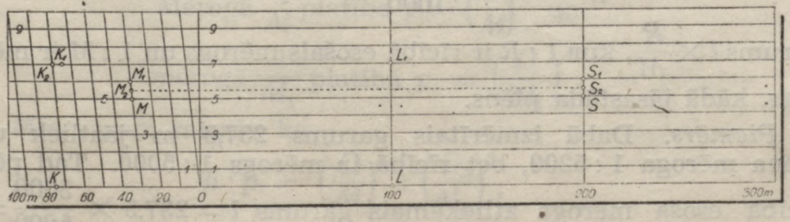
58. zīm.

Kā jau zinām, AB mums jāsadala 10 vienādās daļās. To precizi izdarīt tūlīt uz pamata ir ļoti grūti. Tādēļ mēs novelkam no punkta A brīvi izvēlētu palīglīniju AL un uz tās atliekam 10 vienādā garumā dalījumus $Aa = bc = cd = \ldots ik$. Punktu k savienojam ar B un ar šīs līnijas KB paralelēm iekrustojam pamatu punktos a, b, c utt. Šie krustojuma punkti būs sadalījuši pamatu 10 vienādās daļās.

70. Šķērsmērogu lietošana

Pieņemsim, ka mums pēc 59. zīmējuma mēroga ir jāuzliek uz plāna divi garumi:

1) 177,0 m un 2) 235,50 m.



59. zīm.

1) Vispirms atliksim 177,0 m. Cirkuļa labo kājiņu noliek uz 100,m iedaļu punktā L. Tad izvērš kreiso kājiņu (labo nekustinot) līdz aptuveni 75 m punktā K. Tad bīda abas cirkuļa kājiņas reizē uz augšu līdz punktam L_1K_1. Šajā stāvoklī, labo cirkuļa kājiņu no punkta L_1 neizkustinot, kreiso kājiņu precizi nostata divu līniju krustpunktā K_2. Attālums L_1K_2 būs uz plāna atliekamais lielums 177,0 m.

2) Arī 235,50 m atliksim līdzīgi pirmajam piemēram, un tad cirkuļa kājiņas atradīsies punktu SM stāvoklī. Ja mēs iedomātos kājiņas pabīdīt par vienu horizontalo līniju uz augšu stāvoklī S_1M_1, tad mēs būtu dabūjuši attālumu 236,0 m. Tātad, lai dabūtu 235,50 m, mēs drīkstam kājiņu atstarpi paplašināt tikai par pus atstarpi — proti, stāvoklī S_2M_2. Tātad desmitdaļas jānosaka pēc acumēra, dalot divu horizontalo līniju atstarpi pēc acumēra 10 daļās.

Protams, ka, ja izvēlētos mēroga augstumu ļoti lielu, mēs arī desmitdaļas varētu atzīmēt ar tādām pašām horizontalām līnijām, kā tagad vieniniekus un tādā gadījumā pēc acumēra būtu jāņem tikai $^1/_{100}$ metra. Taču tam nav praktiskas nozīmes, jo ne cirkuļa, ne arī acs jutība uz rasējamās plaknes tādus attālumus nespēj izšķirt.

71. Dažādu mērogu lietošana

Plāns jāsastāda citā mērogā nekā mūsu rīcībā esošais. Kā rīkoties? Piemēram, mūsu rīcībā ir mērogs 1 : 2000, bet plāns jāsastāda mērogā 1 : 1000. Ir zināms, ka dabā izmērītais garums l mērogā 1 : 2000 tiek samazināts 2000 reižu, bet mums jāsastāda plāns, lai garums būtu samazināts tikai 1000 reižu. Tātad katrs izmērītais garums būs jāreizina ar divi un jāatliek pēc esošā 1 : 2000 mēroga uz plāna. To varam formulēt šādi: dabā izmērītais garums $l \times \frac{2000}{1000}$ vai vispārināti dabā izmērītais garums $l \times \frac{R}{M}$, kur $1 : R$ ir rīcībā esošais mērogs un $1 : M$ ir mērogs, kādā jāsastāda plāns.

Piemērs. Dabā izmērītais garums 237,5 m jāatliek uz plāna mēroga 1 : 5200, bet rīcībā ir mērogs 1 : 5000. Tad pēc rīcībā esošā mēroga atliekamais garums $l = 237{,}5 \times \frac{5000}{5200} = 228{,}37$ m.

Ņemsim pretēju gadījumu: plāns jau sastādīts mērogā 1 : 1000, bet mums jānosaka pēc plāna ņemtais attālums dabā ar mēroga 1 : 2000 palīdzību.

Ir skaidrs, ka no plāna ņemtie attālumi mērogā 1 : 2000 uzrādīs 2 reizes lielāku attālumu nekā dabā esošais. Tātad mērogā dabūtie garumi jādala ar 2.

To formulēt varam šādi:

$$\text{dabūtais garums } l \times \frac{1000}{2000} \text{ vai}$$

vispārināti dabūtais garums $l \times \frac{M}{R}$,

kur 1 : M ir mērogā sastādīts plāns
un 1 : R ir rīcībā esošais mērogs.

Piemērs. Plāns sastādīts $\frac{1}{M} = 1 : 4200$ mērogā;

pēc rīcībā esošā mēroga $\frac{1}{R} = 1 : 5000$ no plāna ņemtais attālums ir 125 m. Kāds ir īstais dabā esošais attālums?

Pēc formulas varam rakstīt, ka īstais attālums

$$l = \text{dabūtam } 125{,}0 \text{ m} \times \frac{4200}{5000} = 105{,}0 \text{ m.}$$

72. Platības dažādos mērogos

Iedomāsimies dabā kādu kvadrata platību ar malu garumu D. Tā platība $P = D^2$. Sastādot šīs platības zemes gabala plānus divos mērogos $\frac{1}{M}$ un $\frac{1}{M_1}$, dabūsim uz plāna kvadratus, kuru platības būs šādas:

$$\text{Mērogā } \frac{1}{M} \text{ platība } p = \left(\frac{D}{M}\right)^2 \text{ un}$$

$$\text{mērogā } \frac{1}{M_1} \text{ platība } p_1 = \left(\frac{D}{M_1}\right)^2.$$

Mēs varam rakstīt, ka

$$p : p_1 = \left(\frac{D}{M}\right)^2 : \left(\frac{D}{M_1}\right)^2;$$

$$\frac{p}{p_1} = \frac{M_1^2}{M^2}.$$

Tā kā līdzīgu figuru platības attiecas tāpat kā attiecīgo malu kvadrati, tad šī platību sakarība ir spēkā ikvienai platībai, kas sastādīta dažādos mērogos. Tātad vienas platības attēli, kas sastādīti divos mērogos, attiecas pretēji proporcionali mērogu kvadratiem. Piemēram, ja viens un tas pats zemes gabals attēlots uz viena plāna mērogā $\frac{1}{1000}$ un uz otra $\frac{1}{2000}$, tad pirmā plāna laukums būs 4 reizes lielāks par otrā mērogā uzzīmēto plāna laukumu.

73. Nemetrisko garumu mēru mērogi

Visi vecie plāni ir sastādīti īpatnējos, tagad nepierastos mērogos, piemēram, 1 : 5200; 1 : 2600; 1 : 2100; 1 : 4200 utt., bet kopplāni 1 : 10400 un 1 : 8400. Mērogam 1 : 5200 par pamatu p ir pieņemta Vidzemes colla. Viena colla uz plāna atbilst 5200 Vidzemes collām vai 200 olektīm dabā. Lai ar tādā mērogā (1 : 5200) sastādītu plānu varēti ērti strādāt ar metrisko mēru vienību — metru, tad ir jākonstruē šķērsmērogs ar pamatu

$$p = 100 \text{ m dabā.}$$

To var aprēķināt šādi:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm uz plāna} = 52 \text{ m dabā} \\ \underline{x \text{ cm uz plāna} = 100 \text{ m dabā}} \\ x : 1 = 100 : 52. \end{array}$$

$$x = p = \frac{100}{52} \cong 1{,}923 \text{ cm} \cong 19{,}23 \text{ mm.}$$

Pēc šķērsmēroga, kas konstruēts ar pamatu 1,923 cm, noteiksim garumus, kas ņemti no 1 : 5200 mērogā sastādītā plāna dabā atbilstošiem garumiem metros.

Mērogs 1 : 4200 un 1 : 8400 cēlies no tā, ka līnijas mērītas saženos. Par pamatu ņemtais $p = 1$ collai, kas dabā atbilst 100 saženiem resp. 8400 collām.

Metrisko mēru sistemai arī šis mērogs ir jāpārkonstruē un mēroga pamats jāpārrēķina. Piemēram, mērogam 1 : 4200 pamatu aprēķināsim šādi:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm} = 4200 \text{ cm dabā} = 42{,}0 \text{ m} \\ \underline{x \text{ cm} = \text{———————} \; 100{,}0 \text{ m}} \end{array}$$

$$x = p = \frac{100}{42} = 2{,}38095 \text{ cm} \cong 23{,}81 \text{ mm.}$$

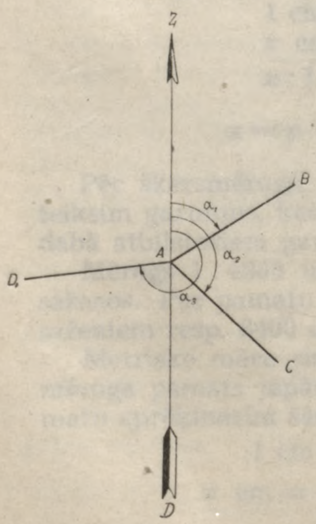
Tātad, ja mēs konstruēsim šķērsmērogu ar pamatu $p = 2{,}38095$ cm, tad mēs būsim izgatavojuši metriskās mēru sistemas mērogu 1 : 4200 un visi no vecā plāna ņemtie garumi pēc šā mēroga atbildīs metriskiem mēru garumiem dabā.

V. LĪNIJU ORIENTĒŠANA

74. Jēdziens par līniju orientēšanu

Mērīšanas darbus ģeodezijā arvien saista ar ziemeļu-dienvidu virziena līniju, t. i., ar meridiana līniju. Ja līniju virzienus nosaka ar horizontalo leņķu palīdzību no ziemeļu-dienvidu virziena līnijas, tad tādu darbību sauc par *līniju orientēšanu.* Piemēram, ja 60. zīmējumā līnija *ZD* attēlo ziemeļu-dienvidu virziena līniju, tad ar leņķi α_1 ir noteikta (orientēta) līnija *AB*, ar leņķi α_2 — līnija *AC* un ar leņķi α_3 — līnija AD_1.

Izšķir ģeografisko un magnetisko meridianu. Magnetisko meridianu nosaka ar magnetiskās šautriņas palīdzību. Par magnetisko meridianu sauc *zemes virsas griezuma līniju,* kuru dod vertikalas plaknes šķēlums, kas iet caur magnetiskās šautriņas asi šautriņas virzienā. Ģeografisko meridianu un debess puses mēs jau apskatījām ievadā. Pēc 60. zīmējuma mēs redzam, ka, ja mums būtu dabā jāorientē līnijas *AB*, *AC* un AD_1, tad būtu punktā *A* jānosaka meridiana līnijas *ZD* virziens un no šā virziena jāmērī leņķi α_1, α_2 un α_3. Uz plāna meridiana līnijas virzienu pieņemts attēlot no apakšas uz augšu (ziemeļi augšā, dienvidi apakšā) un vakaru-rītu virzienu perpendikulari meridiana virzienam. Lai uz plāna varētu orientēt 60. zīmējumā parādītās līnijas, tad vispirms ir jānovelk meridiana līnija *ZD;* uz tās jāizvēlas punkts *A* un tad, konstruējot attiecīgo līniju leņķus α_1, α_2 un α_3, mēs dabūsim līnijas *AB*, *AC* un AD_1 virzienus.



60. zīm.

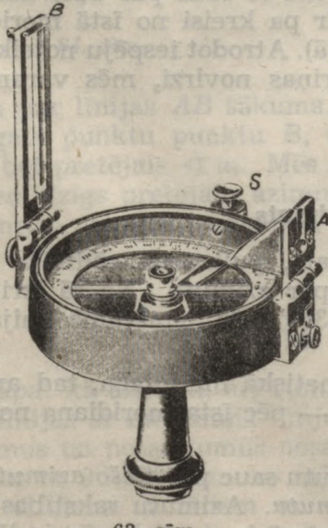
75. Magnetiskā šautriņa

Magnetiskā šautriņa parasti ir izgatavota no rūdīta tērauda. Šautriņa brīvi balstās uz tapiņas I. Ar konstruktivu iekārtojumu panāk, ka šautriņas smaguma centrs atrodas zemāk par atbalsta punktu (sk. 61. zīmējumu), kas veicina šautriņas ātrāku nostāšanos miera stāvoklī.

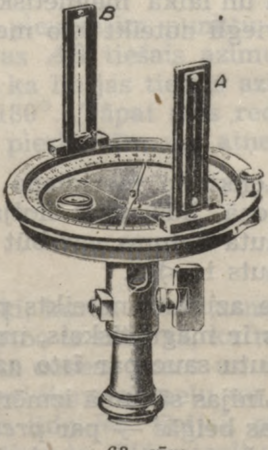
61. zīm.

Šautriņas daļā, kas atbalstās uz tapiņas *I*, parasti ir iestiprināts slīpēts akmens. Lai saudzētu šautriņas akmeni un atbalsta tapiņas galu no ātras bojāšanās, kas rodas no savstarpējas berzes šautriņas kustību laikā, tad šautriņa ierīkota tā, lai nelietošanas laikā to varētu pacelt un piespiest šautriņas ietverošās kārbiņas stiklam. Šo darbību sauc par aretēšanu. Ja šautriņas ievietotas apaļās kārbās ar gradu iedaļām (limbu), tad tās sauc par *busolēm,* bet jūrniecībā par *kompasiem.*

Busoles attēli parādīti 62. un 63. zīmējumā.



62. zīm.



63. zīm.

Ja šautriņas iekārtotas četrstūru kārbiņās, kurās šautriņu gali var pārvietoties tikai par 10°—15°, tad šādus instrumentus sauc par *orientbusolēm* jeb *deklinatoriem*.

Kad magnetiskā šautriņa zaudējusi savu jutību, tad vispirms jāpārbauda, vai šautriņas jutības traucējums nav radies no atbalsta punkta bojājuma. Ja atrod, ka tā ir nebojāta, tad šautriņas jāmagnetizē.

76. Magnetiskās šautriņas novirze

Magnetiskā šautriņa vienmēr nostājas ziemeļu-dienvidu virzienā un noteic magnetisko meridiana virzienu. Tā kā magnetiskās šautriņas virzienu ievērojamā mērā ietekmē atmosferiskie, meteoroloģiskie un ģeoloģiskie apstākļi, tad šautriņas virziens gandrīz nekad nesakrīt ar īsto meridianu, bet dod no pēdējā lielāku vai mazāku novirzi jeb deklinaciju, kas 64. zīmējumā parādīta ar ε. Īstā meridiana tiešā noteikšana ir samērā sarežģīts darbs un ietilpst augstākās ģeodezijas uzdevumos. Parastos uzmērīšanas darbos šautriņas norādīto ziemeļu-dienvidu virziena līniju pieņem par magnetisko meridianu.

Ja šautriņas ziemeļgals novirzās no īstā meridiana uz labo pusi, kā parādīts 64. zīmējumā, tad to sauc par *austrumu novirzi* (pozitivā), bet, ja novirze ir pa kreisi no īstā meridiana, tad tā ir *rietumu novirze* (negativā). Atrodot iespēju noteikt dotā vietā un laikā magnetiskās šautriņas novirzi, mēs varam pēc tās viegli noteikt īsto meridianu.

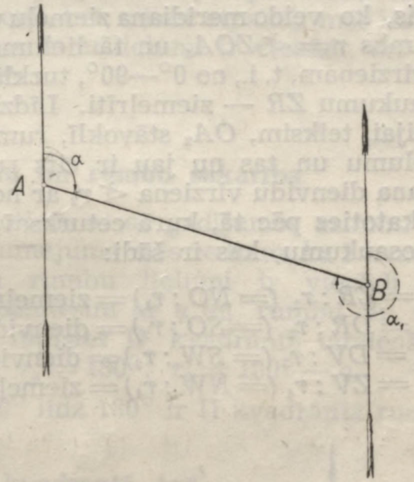
77. Azimuts

Leņķi no meridiana ziemeļgala, pulksteņa rādītāja gaitas virzienā, līdz dotai līnijai sauc par azimutu. No tā izriet, ka azimuta lielums var būt no 0°—360°. 65. zīmējumā līnijas AB azimuts ir $\sphericalangle \alpha$.

Ja azimuts noteikts pēc magnetiskā meridiana, tad arī azimuts ir magnetiskais, un otrādi — pēc īsta meridiana noteiktu azimutu sauc par *īsto azimutu*.

Līnijas sākumā izmērīto azimutu sauc par *tiešo azimutu*, bet līnijas beigās — par *pretējo azimutu*. Azimutu rakstības vienkāršošanai azimutu virzienus apzīmēsim ar iekavās ieslēgtiem līnijas gala punktu apzīmējumiem, turklāt pirmais jāliek tā punkta nosaukums, pie kura azimuts noteikts, piemēram, līnijas AB azimutu $\sphericalangle\, \alpha$ tad rakstīsim šādi: $(AB) = \alpha$. Tas nozīmē, ka AB līnijas azimuts ir $\sphericalangle\, \alpha$.

64. zīm.



65. zīm.

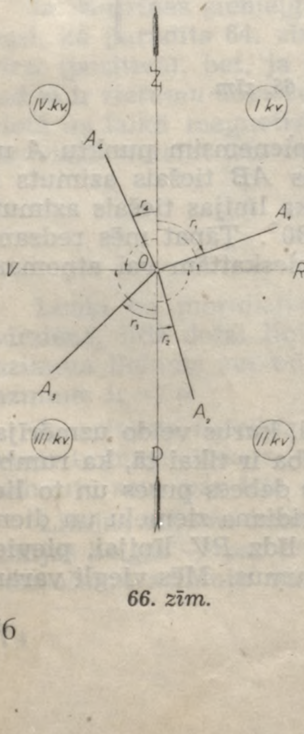
Ja par līnijas AB sākuma punktu pieņemsim punktu A un par gala punktu punktu B, tad līnijas AB tiešais azimuts ir $\sphericalangle\, \alpha$, bet pretējais $\sphericalangle\, \alpha_1$. Mēs redzam, ka līnijas tiešais azimuts ir vienlīdzīgs pretējam azimutam $\pm 180°$. Tāpat mēs redzam, ka līnijas azimuts nemainās, ja tam pieskaitām vai atņemam $360°$ leņķus.

78. Rumbi

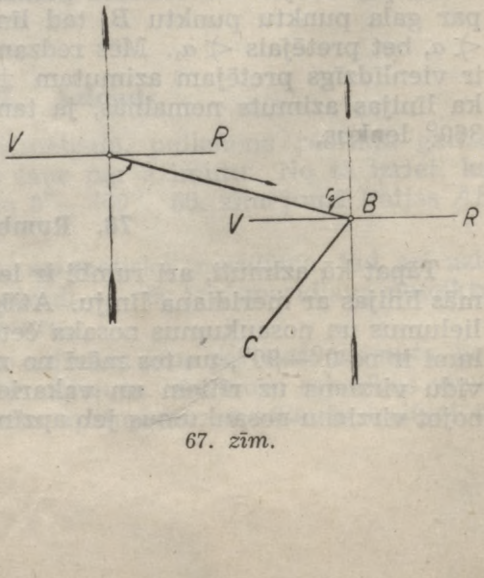
Tāpat kā azimuti, arī rumbi ir leņķi, kurus veido uzmērījamās līnijas ar meridiana līniju. Atšķirība ir tikai tā, ka rumbu lielumus un nosaukumus nosaka četras debess puses un to lielumi ir no $0°$—$90°$, un tos mērī no meridiana ziemeļu un dienvidu virziena uz rītiem un vakariem līdz RV līnijai, pievienojot virzienu nosaukumus jeb apzīmējumus. Mēs viegli varam iedomāties, ka, ja 66. zīmējumā meridiana virziens ZD krustojas perpendikulari ar rītu-vakaru virzienu RV, tad dotā punktā O plakne būs sadalīta 4 kvadrantos — I, II, III un IV kvadrantā (uz zemeslodes tādu pašu sadalījumu dos meridiana un paraleles krustošanās dotā punktā).

Protams, ka no dotā punkta O līnijas var iet visos virzienos. Pieņemsim, ka līnija iet I kvadrantā OA_1 virzienā, tad rumbs ir leņķis, ko veido meridiana ziemeļu virziens ar doto līniju OA_1, t. i., rumbs $r = \sphericalangle ZOA_1$ un tā lielums var būt no ZD līdz RV līniju virzienam, t. i., no $0°$—$90°$, turklāt šajā intervalā visu laiku ar nosaukumu ZR — ziemeļrīti. Līdzko līnijas virziens ir pāri RV līnijai, teiksim, OA_2 stāvoklī, rumba lielums ir pārsniedzis $90°$ lielumu un tas nu jau ir cits rumbs, proti, to skaita no meridiana dienvidu virziena $\sphericalangle r_2$ ar nosaukumu DR — dienvidrīti. Skatoties pēc tā, kurā ceturksnī rumbs atrodas, tas dabū savu nosaukumu, kas ir šādi:

I cet. $= ZR : r_1$ $(= NO : r_1) =$ ziemeļrīti (= Nord-Ost)
II cet. $= DR : r_2$ $(= SO : r_2) =$ dienvidrīti (= Süd-Ost)
III cet. $= DV : r_3$ $(= SW : r_3) =$ dienvidvakari (= Süd-West)
IV cet. $= ZV : r_4$ $(= NW : r_4) =$ ziemeļvakari (= Nord-West)



66. zīm.



67. zīm.

79. Tiešie un pretējie rumbi

Tāpat kā azimuti, arī rumbi ir tiešie un pretējie. Arī rumbus nosaka līnijas sākumos gājiena virzienā, bet līnijas beigās noteiktie rumbi ir pretējie. Piemēram, 67. zīmējumā gājiena virziens norādīts ar bultiņu, un līnijas AB rumbs ir $DR : r_2$, bet tās pašas līnijas pretējais rumbs ir $ZV : r_4$. Tas arī ir viegli saprotams, jo, pa vienu un to pašu līniju ejot vienā virzienā, mēs varam aiziet DR virzienā, bet, nākot atpakaļ, mēs iesim ZV virzienā. Tiešo un pretējo rumbu lielumi ir vienādi, un tie atškiras tikai ar nosaukumiem.

80. Azimutu un rumbu sakarība

Ģeodezijas aprēķinos ļoti daudzos gadījumos azimuti jāaprēķina rumbos. 1. Pēc 68. zīmējuma mēs redzam, ka I kvadrantā līnijas OA_1 azimutu un rumbu lielumi ir vienādi — no $0°$—$90°$ un, ja azimutu apzīmēsim ar α un rumbu ar r, tad $\alpha = ZR : r_1$. 2. Ja līnija atradīsies II kvadrantā virzienā OA_2, tad mēs redzam, ka $\alpha_2 + r_2 = 180°$; $r_2 = 180° - \alpha_2$.

Azimuti intervalā no $90°$ līdz $180°$ ir II kvadranta rumbi ar nosaukumu $DR : r_2$.

3. Ja līnija atradīsies III kvadrantā, tad

$$\alpha_3 = r_3 + 180°;\ r_3 = \alpha_3 - 180°.$$

Azimuti intervalā no $180°$ līdz $270°$ ir III kvadranta rumbi ar nosaukumu $DV : r_3$.

4. Ja līnija atradīsies IV kvadrantā, tad

$$\alpha_4 + r_4 = 360°;\ r_4 = 360° - \alpha_4.$$

Azimuti intervalā no $270°$ līdz $360°$ ir IV kvadranta rumbi ar nosaukumu $ZV : r_4$.

Sarindojot izteiksmes:

I kvadrantā $r_1 = \alpha_1$; nos. $ZR : r_1$;

II kvandrantā $r_2 = 180° - \alpha_2$; nos. $DR : r_2$;

III kvadrantā $r_3 = \alpha_3 - 180°$; nos. $DV : r_3$;

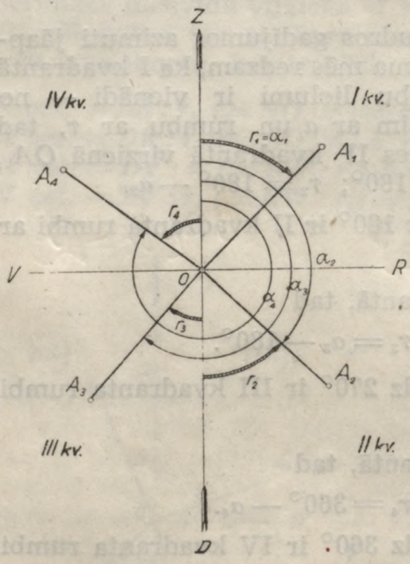
IV kvadrantā $r_4 = 360° - \alpha_4$; nos. $ZV : r_4$.

Ņemsim *piemērus.* Doti azimuti; aprēķināt rumbus:

$(AB) = 245°30' = $ (III kvadr. $r_3 = 245°30' — 180°) = DV : 65°30'$
$(BC) = 170°15' = $ (II kvadr. $r_2 = 180° — 170°15') = DR : 9°45'$
$(CD) = 309°09' = $ (IV kvadr. $r_4 = 360° — 309°09') = ZV : 50°51'$
$(DE) = 90°02' = $ (II kvadr. $r_2 = 180° — 90°02') = DR : 89°58'$
$(EF) = 75°00' = $ (I kvadr. $r_1 = 75°00') = ZR : 75°00'$

Doti rumbi; aprēķināt azimutus:

$AB = ZV : 3°10'$ (IV kvadr. $\alpha_4 = 360° — r_4) = (AB) = 356°50'$
$BC = DR : 51°37'$ (II kvadr. $\alpha_2 = 180° — r_2) = (BC) = 128°23'$
$CD = ZR : 89°15'$ (I kvadr. $\alpha_1 = r_1) = (CD) = 89°15'$
$DE = DV : 70°50'$ (III kvadr. $\alpha_3 = r_3 + 180°) = (DE = 250°50'$
$EF = DV : 90°00'$ (III /IV kvadr. robež.) $= (EF) = 270°00'$



68. zīm.

69. zīm.

81. Divu līniju azimutu un šo līniju veidotā leņķa sakarība

Pieņemsim, ka 69. zīmējumā ir noteikts līniju *AC* un *AB* veidotais platais leņķis β un līnijas *AB* azimuts α_1.

Tad līnijas *AC* azimutu α_2 mēs varam aprēķināt: $(AC) = \alpha_2 = \alpha_1 + \beta$.

Pieņemsim otru gadījumu: ir noteikti leņķa abu malu azimuti $(AB) = \alpha_1$ un $(AC) = \alpha_2$.

Jāaprēķina līniju veidotais leņķis β:

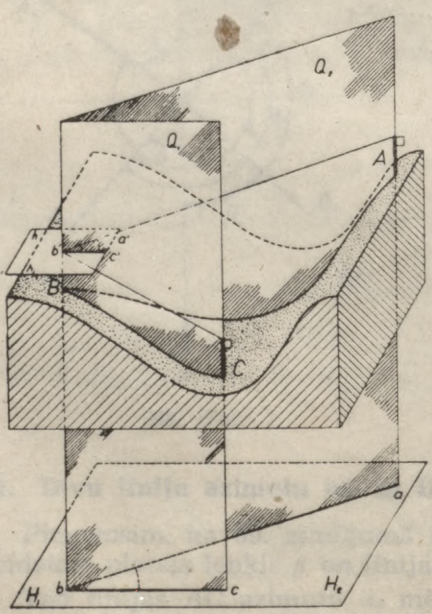
$$\sphericalangle \beta = \alpha_1 - \alpha_2.$$

No uzrādītā piemēra varam spriest, ka, ja ir izmērīti leņķa malu azimuti, tad pēc tiem var aprēķināt pašu leņķi, bet, ja ir izmērīts leņķa vienas malas azimuts un leņķis, tad var aprēķināt leņķa otras malas azimutu.

VI. MAGNETISKO AZIMUTU UN RUMBU MĒRĪŠANA

82. Leņķa horizontalās projekcijas matemątiskie noteikumi. Kolimacijas plakne

Uzmērījamās līnijas krustojoties var veidot dažāda lieluma leņķus. Leņķu veidotājas līnijas reti kad atrodas horizontalā stāvoklī, bet gan zemes virsas nelīdzenumu dēļ lielākā vai mazākā slīpumā.



70. zīm.

Piemēram, 70. zīmējumā attēlotās zemes virsas līnijas *AB* un *BC*, kas cēlušās no vertikalo plakņu Q_1 un Q_2 šķēluma ar zemes virsu, ir dažādi liektas un slīpas, un tieši horizontalā stāvoklī nav neviens līnijas posms.

Ja mēs iedomājamies, ka līnijas *AB* un *BC* ir projektētas uz horizontalās plaknes H_1H_2, tad redzam, ka arī līniju veidotais leņķis *ABC* uz plaknes attēlojas kā līniju horizontalo projekciju leņķis *abc*. No tā mēs varam spriest, ka, nevērojot dabā esošos līniju slīpumus, šo līniju veidotie leņķi uz horizontalās plaknes projecējas kā līniju horizontalo projekciju veidotie leņķi. Ja nu mēs pie 70. zīm. iedomātos, ka dabā virs leņķa ABC virsotnes ir novietota horizontala plakne hh_1 un caur līnijām AB un BC ejošās vertikalās plaknes Q_2 un Q_1 šķeļ plakni hh_1, tad arī uz šīs plaknes attēlosies leņķa ABC horizontalā projekcija $a^1b^1c^1$. No tā mēs varam spriest, ka, lai dabā izmērītu horizontalos leņķus, ir vajadzīgi tādi instrumenti, kuriem būtu: 1) horizontali nostādāmas plaknes, uz kurām projecētos leņķu malas resp. leņķu veidotājas līnijas horizontalā projekcijā un 2) tāda vizēšanas (tēmēšanas) ierīce, kuru var novietot uz līniju projecētajām vertikalām plaknēm Q_1 un Q_2.

Plaknes Q_1 un Q_2 sauc par *kolimacijas plaknēm* jeb vizēšanas plaknēm. Tātad par kolimacijas plaknēm sauc tādas vertikalas plaknes, uz kurām gul dabā izmērījamo leņķu virsotnes un malas.

83. Busole un tās sastāvdaļas

Busole ir instruments, ar kuru var izmērīt līniju azimutus vai rumbus tieši dabā. Busole sastāv no cilindriskas kārbas ar stikla vāku (sk. 62. zīmējumu). Kārbas dibenā ierīkota magnetiskā šautriņa. Šautriņa brīvi balstās uz tapiņas ar noasinātu galu. Busoli cilājot vai pārnesot no vienas vietas uz otru, šautriņu piespiež (aretē) ar tam nolūkam ierīkotās skrūves S un sviriņas palīdzību pie stikla vāka. Kārbas dibenā nekustīgi piestiprināts apaļais līmeņrādis, kura ass ir perpendikulara pret graduēta loka plakni, kas ierīkota magnetiskās šautriņas augstumā cilindriskās kārbas iekšpusē. Graduēto loka plakni sauc par *limbu*.

84. Dioptri

Virs busoles kārbas diametrali pretējās pusēs ir ierīkotas vizēšanas ierīces — dioptri. 62. zīmējumā dioptri uzrādīti ar apzīmējumiem A un B. Acs dioptram A (tas ir dioptrs, pie kura, izdarot vizēšanu, jāpieliek acs) ir ierīkota šaura sprauga, kuras gals dažreiz ir ar mazu lokveida paplašinājumu. Priekšmeta dioptram B (dioptrs, kas vizēšanas laikā vēršas pret priekšmetu) ir tāda pati sprauga kā acs dioptram, tikai daudz platāka, kuras vidū iestiprināts melns pavediens (parasti dzīvnieka sars). Plakni, kas iet caur priekšmeta dioptra pavedienu un acs dioptra spraugas vidu, sauc par *dioptru kolimacijas plakni.* Busoles kārbas apakšējā daļā ierīkota ierīce kārbas piestiprināšanai pie stativa vai (atsevišķos gadījumos) pie mieta.

85. Stativi

Instrumenta stabilai nostādīšanai un ērtai lietošanai nepieciešams piemērots atbalsts, turklāt tāds, ar kuru var instrumentu nostatīt vajadzīgā punktā un kuru viegli var pārnest no vienas vietas uz otru. Šādus speciali izgatavotus balstus sauc par *instrumentu stativiem.* Stativam jābūt pietiekami stabilam, iespējami vieglam, ērti un ātri uzstatāmam, izturīgam lietošanā un parocīgam transportēšanai.

Vienkāršākais stativs ir spieķis-miets, kas iesprausts zemē un kura augšgalā uzmaukts vai citādi piestiprināts viens vai otrs instruments.

Visplašāk lietojamais stativa veids ir trijkāji. Trijkāji sastāv no instrumenta piestiprināšanai izveidotas galvas-plaknes (vai kona) un trim kājām. Stativa kājas parasti izgatavotas no pāros ar starpklucīšiem savienotām koka līstītēm vai apaļas formas kārtiņām, apmēram 2,5 cm ∅. Lai stativu kāju lejas galus varētu vieglāk un stabilāk iespiest zemē, tiem pierīkoti apkalumi ar pedaļiem. Stativu galvas veidotas gan no koka, gan arī no metala dažādā konstrukcijā un izskatā. Dažiem stativiem pie galvas pierīkota instrumentu piestiprināmā skrūve, kuras apakšgalā izveidots kāsītis, kas noder svērteņa piekāršanai — instrumenta centrēšanas vajadzībām.

Stativs der darbam, ja tam: 1) kāju lejas galu apkalumi turas blīvi un nekustīgi; 2) atsevišķu sastāvdaļu savienojumi un sastiprinājumi tāpat ir blīvi un kārtībā; 3) galvā nav atlīmējušos vietu (ja galva izgatavota no koka), spraugu vai citādu bojājumu, kas traucē stabilitati un lietošanu; 4) uzstādītais stativs pēc kāju augšgalu skrūvju pievilkšanas stāv stingri.

Stativi jāsarga no ilglaicīga mitruma un lielām karstuma ietekmēm, kā arī no triecieniem. Iespējami jānodrošinās pret stativa bojāšanu un pret atsevišķu detaļu nozaudēšanu transporta laikā. Laiku pa laikam nedaudz jāieeļļo stativu galvas un kāju līstīšu skrūvju vītnes.

86. Instrumenta centrēšana un nostatīšana horizontalā stāvoklī

Ja 70. zīmējumā parādītais leņķis ABC mums būtu jāizmērī ar instrumentu, kuram ir limbs ar gradu vai to daļu iedaļām, tad, lai uz limba iedaļām varētu nolasīt leņķa lielumu, nepieciešams ne tikai lai limba plakne būtu horizontalā stāvoklī, bet arī lai limba centrs atrastos uz vertikales $b'Bb$, tas ir, lai limba centrs projecētos uz leņķa ABC virsotnes punktā B. Praktiskā darbā limba centra projecēšanu uz leņķa virsotnes sauc par *instrumenta centrēšanu*. Centrēšanu izdara ar svērteņa palīdzību, piekarot to pēc acumēra horizontalā stāvoklī nostādītam limba plaknes centram un tādā stāvoklī bīdot instrumentu ar stativu pēc vajadzības tikmēr, kamēr svērteņa virziena līnija projecējas punktā B.

Kad tas panākts, tad ar līmeņrāža palīdzību nostata limbu precizi horizontalā stāvoklī un atkal pārbauda, vai svērteņa virziena līnija (svērteņa nekustīgā stāvoklī) sakrīt ar leņķa virsotni — punktu B.

87. Busoles pārbaude

Busolei uzstāda šādas prasības:

1) Magnetiskai šautriņai jābūt jutīgai.
2) Instrumenta sastāvdaļās nedrīkst ietilpt dzelzs.
3) Limba gradu iedaļām jābūt pareizām.
4) Šautriņai jābūt līdzsvarotai.
5) Šautriņai jābūt bez ekscentrības kļūdas.
6) Šautriņas magnetiskajai asij jāsakrīt ar tās ģeometrisko asi.
7) Dioptru kolimacijas plaknei jābūt stateniskai limba plaknei.
8) Dioptru kolimacijas plaknei jāiet caur limba plaknes nulles diametru.

Pārbaudes izdara šādi:

1) Magnetiskajai šautriņai jābūt jutīgai: pēc acumēra nostata limbu horizontalā stāvoklī. Atbrīvo šautriņu un pēc tās apstāšanās (nomierināšanās) nolasa limba iedaļas pēc viena šautriņas gala. Pēc tam ar metala priekšmetu (nazi) novirza šautriņas galu uz vienu pusi, ļauj tai nomierināties un nolasa limba iedaļas atkal no tā paša šautriņas gala. Pirmajam un otram nolasījumam jābūt vienādiem. Šo pārbaudi izdara uz dažādām limba iedaļām vairāk reižu.

Ja nolasījumi nav vienādi, tad prasība nav izpildīta, un šautriņas nepareizībai var būt 3 cēloņi: 1) šautriņa ir vāji magnetizēta, 2) šautriņas tapiņas galotnīte nav labi pielaikota vai tā ir bojāta, un 3) šautriņas atbalsta akmens nav pietiekami labi noslīpēts.

Pēdējos divus cēloņus novērst (tos izlabot) var tikai smalkmechaniķis. Šautriņu nomagnetizēt var ar pakavveida magnetu, kas spēj pacelt vismaz 200 gramu svaru. Katras šautriņas gals jāslīpē ar magnetu no vidus uz galiem (sk. 71. zīmējumu) ar polu, pretēju šautriņas gala magnetismam.

71. zīm.

2) Instrumenta sastāvdaļās nedrīkst ietilpt dzelzs. Instrumenta stativu uzgaļi un citi atsevišķu daļu sastiprinājumi dažkārt mēdz būt no dzelzs. Jāpārbauda, vai minētās dzelzs daļas neizsauc šautriņas novirzi. Pārbaudei šautriņu nostata uz tapiņas pēc acumēra horizontalā stāvoklī uz cieta, neitrala pamata, piemēram, akmens vai koka, un piebīda instrumenta dzelzs daļas tādā attālumā no šautriņas, kādā tās atrodas normalā instrumenta lietošanas stāvoklī, un vēro, vai šautriņa dzelzs daļu ietekmē maina virzienu vai arī dzelzs daļas neizsauc šautriņas novirzi. Ja šautriņa novirzās, tad dzelzs daļas jāapmaina ar citu materialu.

3) Limba gradu iedaļām jābūt pareizām. Gradu iedaļu pareizību pārbauda ar cirkuļa palīdzību. Iedaļas parasti ir pareizas, t. i., savā starpā vienādas. Nepareizas iedaļas izlabot var tikai lietpratējs specialās darbnīcās.

4) Šautriņai jābūt līdzsvarotai. Nostata busoles limba skalu horizontalā stāvoklī, atbrīvo šautriņu un vēro, vai tās abi gali ir vienādā augstumā attiecībā pret limba plakni. Ja šautriņa nav līdzsvarota, tad uz paceltā gala uzlipina vaska gabaliņu vai arī pārbīda metala plāksnīti, kas parasti ir uzmaukta vienam šautriņas galam, kamēr šautriņa pieņem nepieciešamo līdzsvara stāvokli.

5) *Šautriņai jābūt bez ekscentrības kļūdas.* Nostatām busoli horizontalā stāvoklī. Nolasām uz limba gradu iedaļas abos šautriņas galos, pēc tam pagriežam busoli par 45° un atkal nolasām iedaļas no abiem šautriņu galiem. Tādos pašos intervala pagriezienos izdarām nolasījumus 5 reizes. Ja visi nolasījumi ir vienādi (rumbiskā limba iedalījumā) vai arī tie atšķiras tieši par 180°, tad ekscentritates kļūdas nav. Ja nolasījumi atšķiras, tad šautriņai ir ekscentrības kļūda un, lai dabūtu pareizu rumbu, jānolasa pēc abiem šautriņu galiem un jāņem abu nolasījumu aritmetiskais vidējais.

Pierādījums. Pieņemsim, ka 72. zīmējumā busoles limbu centrs ir C, šautriņa griežas ap asi m un limba nulles diametrs ir $00'$.

Līnijas CM rumba lieluma nolasījums tad būs no šautriņas ziemeļu gala On un dienvidu gala O^1S.

Ja nebūtu ekscentrības kļūdas, tad šautriņa atrastos n^1S^1 stāvoklī un tad nolasījumi būtu bijuši on^1 *un* o^1s^1, tie būtu arī vienādi un abi rādītu līnijas CM rumba lielumu.

No 72. zīmējuma redzams, ka

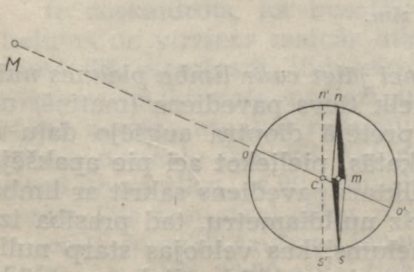
$$on^1 = on - nn^1,$$

$$o^1s^1 = on^1 = o^1s + s^1s,$$

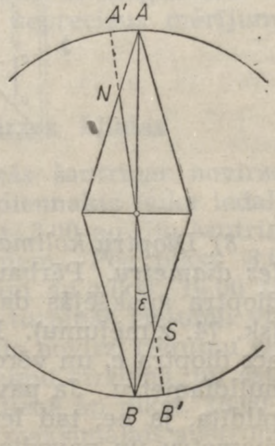
$$\text{tad } on^1 = \frac{on - nn^1 + o^1s + s^1s}{2}.$$

Tā kā $nn^1 = ss^1$, tad

$$on^1 = \frac{on + o^1s}{2}.$$



72. *zīm.*



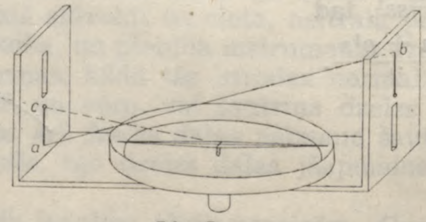
73. *zīm.*

Busoles šautriņas ekscentrības kļūda ir grūti labojama arī mechaniskās darbnīcās.

6) Šautriņas magnetiskajai asij jāsakrīt ar tās ģeometrisko asi. Pieņemsim, ka 73. zīmējumā šautriņas ģeometriskā ass parādīta ar līniju AB, bet magnetiskā ass ar līniju NS. Abu asu savstarpējās novirzes leņķis ir ε, kas nolasījumā no limba dos $(AA^1 = BB^1)$ novirzes lielumu, izteiktu limba iedaļās.

Kļūdas noteikšanai no busoles ir jānoņem stikla vāciņš un jānolasa limba iedaļas. Tad noņem šautriņu no tapiņas, pārliek atbalsta uzmavu šautriņas otrā pusē un ar apakšu uz augšu šautriņu uzliek iesmiņam. Nolasa atkal no limba, un, ja pirmais un otrs nolasījums neatšķiras, tad abas asis sakrīt. Ja nolasījumos ir starpība, tad tā ir divkārtēja novirzes kļūda, kas vienlīdzīga 2ε. Instrumentu kļūdu labot grūti pat specialistam smalkmechaniķim.

7) Dioptru kolimacijas plaknei jābūt stateniskai limba plaknei. Ar līmeņrāža palīdzību nostata busoli horizontalā stāvoklī un apmēram 20 m no instrumenta pakar auklā svērteni. Nostata instrumenta dioptru kolimacijas plakni pret svērteņa auklu un skatās, vai priekšmeta dioptra pavediens sakrīt ar svērteņa auklu. Ja pavediens sedz auklu — prasība izpildīta, bet, ja pavediens šķērso aklu, tad busole bez dioptru izlabošanas nav lietojama.



74. *zīm.*

8) Dioptru kolimacijas plaknei jāiet caur limba plaknes nulles diametru. Pārbaudei jānovelk tievs pavediens (matiņš) no dioptra apakšējās daļas a uz pretējā dioptra augšējo daļu b (sk. 74. zīmējumu). Pēc tam skatās, pieliekot aci pie apakšējā acs dioptra c, un vēro, vai novilktais pavediens sakrīt ar limba nulldiametru. Ja pavediens sedz nulldiametru, tad prasība izpildīta, ja ne, tad leņķiskais lielums, kas veidojas starp nulldiametru un pavedienu, izteic novirzes kļūdas lielumu. Šādu novirzes kļūdu sauc par *kolimacijas kļūdu.*

Strādājot ar neizlabotu busoli, noteiktie azimuti (rumbi) būs kļūdaini kolimacijas kļūdas apmērā.

88. Busoles uzmērījumu kļūdas

Busoles uzmērīšanas darbos var rasties šādas kļūdas:
1) vietējās deviacijas kļūdas,
2) šautriņas diennakts novirzes kļūdas.

89. Vietējās deviacijas jeb apgabala magnetisma kļūdas

Dažkārt gadās, ka zināms zemes apgabals ir magnetisks. Tādos gadījumos uz vienas un tās pašas līnijas dažādās līnijas vietās mērītais azimuta lielums jūtami atšķiras. Tādēļ, izdarot busoles uzmērījumu darbus, vispirms ir jānoskaidro, vai līnijas azimuta (varbūtējā) atšķirība ir novērošanas kļūdu vai magnetiskās šautriņas vietējā deviacija. Ja viena līnijas azimuta atšķirība ir konstatēta, tad novērojumi ir jāatkārto, un, ja pārbaudītie novērojumi nedod izmaiņas noteikto atšķirīgo azimutu lielumos, tad nesaskaņa jāuzskata par vietējo deviaciju. Ja jānoskaidro zināma apgabala magnetisms, tad to izdara, nospraužot dažādos virzienos taisnas līnijas. Tad katrai līnijai nosaka ar busoli azimutus vairākos punktos. Ja azimuti ir konstanti, t. i., tie neuzrāda izmaiņas, kas pārsniegtu pieļaujamības robežas, tad apgabals nav magnetisks. Pretējā gadījumā apgabals ir magnetisks un busoles lietošana nav ieteicama, jo dos neprecizus mērījumu rezultatus.

90. Šautriņas diennakts novirzes kļūdas

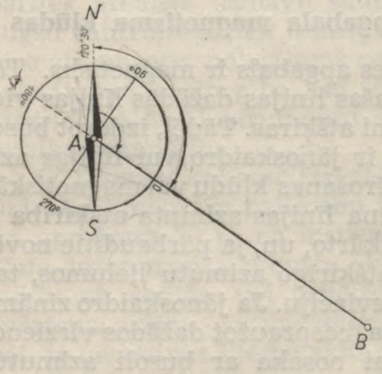
Ir noskaidrots, ka busoles magnetiskās šautriņas novirzes lielums un virziens mainās atkarībā no diennakts laika iedalījuma. Tā, piemēram, Viduseiropā ap plkst. 8.00 no rīta šautriņa sasniedz maksimalo novirzi uz austrumiem. Pēc plkst. 8.00 sākas novirze atpakaļ rietumu virzienā un ap plkst. 10.00 sasniedz normalo stāvokli, bet novirze vēl turpinās rietumu virzienā un ap plkst. 14.00 sasniedz maksimalo novirzi rietumu virzienā. Pēc tam atkal sākas novirze austrumu virzienā, un savu normalo stāvokli šautriņa ieņem otrreiz dienā ap plkst. 18.00—20.00. Ap plkst. 22.00 atkal tiek sasniegts maksimalais austrumu virziens.

91. Azimutu un rumbu mērīšana ar busoli

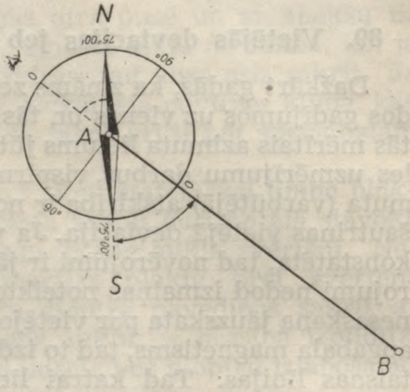
Busoles limba gradu iedaļu numeracijas kārtība atsevišķos instrumentos var būt dažāda:

1) Ar pieaugumu pulksteņa rādītāja gaitas virzienā no 0°—360°.
2) Ar pieaugumu pretēji pulksteņa rādītāja virzienam no 0°—360°.
3) Ar iedaļu numeraciju četros kvadrantos no 0°—90°.

Busoli ar pēdējo limba iedaļu kārtību sauc par rumbisko busoli.



75. zīm.



76. zīm.

Skatoties pēc tā, kāda numeracijas kārtība ir busoles limbam un kā uz busoles ir piestiprināti dioptri, līniju azimutus var izmērīt ar dažādiem paņēmieniem, no kuriem parastākie uzrādīti 75. un 76. zīmējumā. Ja limba iedaļu numeracijas kārtība iet no 0°—360° pulksteņa rādītāja virzienā un dioptru pāris (alidade) piestiprināts 0°—180° diametra virzienā, tad, lai izmērītu līnijas *AB* (sk. 75. zīmējumu) azimutu, jārīkojas šādi: nostājas ar busoli līnijas sākuma punktā *A*. Busoli centrē uz *A* punktu, nostata horizontali, atbrīvo šautriņu, ļauj tai nostāties miera stāvoklī un caur dioptriem vizē uz punktu *B*. Kad vizura ir pareiza un šautriņa atrodas miera stāvoklī, nolasa no limba to gradu iedaļu, kuru uzrāda šautriņas ziemeļu gals. Līnijas *AB* azimuts tad būs 360° minus nolasītais gradu lielums. Līdzīgi jārīkojas arī rumbu noteikšanā ar rumbiskām busolēm, kā tas attēlots 73. zīmējumā.

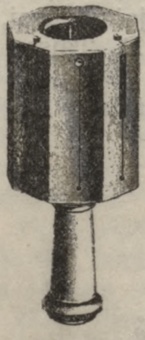
VII. EKERI

93. Dioptru ekeri

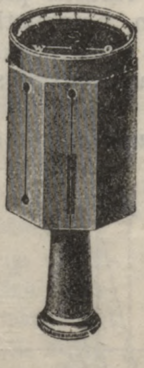
Ekers ir instruments, ar kura palīdzību var dabā konstruēt taisnus resp. 90° leņķus. Ekerus var iedalīt divās grupās: 1) ekeri ar tiešo vizēšanu — *dioptru ekeri* — un 2) *optiskie* jeb *refleksijas ekeri.*

93. Dioptru ekeri

Dioptru ekerus mūsu laikos gandrīz nekad vairs nelieto. Vienkāršākais dioptru ekers ir krusta ekers. Tas sastāv no diviem perpendikulari sastiprinātiem līnealiem, zem kuriem pierīkots spieķis ar metala uzgali. Dioptru ekeriem ir vēl cilindriskas, nošķelta kona, lodes un astoņstūra prizmas formas (77., 78. un 79. zīmējumā parādīti dioptrisko ekeru attēli).



77. zīm.



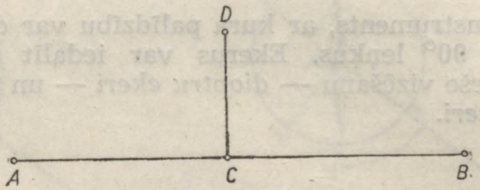
78. zīm.

79. zīm.

Šo ekeru dioptri ierīkoti tā, lai divas tuvākās vizuras — kolimacijas plaknes dotu 45° vai 90° lielus leņķus. Priekšmeta dioptri dažreiz ierīkoti ar paplašinātu spraudziņu, kuru šķērso tievs pavediens spraudziņas garākā virzienā. Labākais acs dioptru spraugu platums ir no $^1/_2$ līdz $^3/_4$ mm. Platāka sprauga nav vēlama, jo pie lielāka platuma pamazinās ekera noteiktība.

94. Dioptru ekeru lietošana

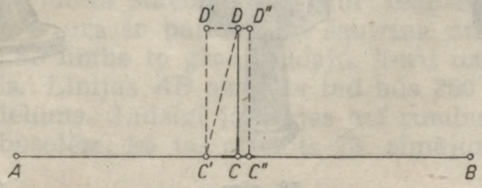
1) Uz taisnas līnijas (AB) dotā punktā (C) uzstatīt stateņi (sk. 80. zīmējumu).



80. zīm.

Ļoti uzmanīgi un precizi centrē ekeru uz līnijas punktā *C*. Ja ekeram ir spieķis resp. stativs, tad to nostata uz līnijas *AB* punktā *C*. Pēc tam griež ekeru ap vertikalo asi, kamēr viena vizuras līnija (alidade) sakrīt ar līnijas *AB* virzienu. Vai ekers nostatīts pareizi, to pārbauda, skatoties uz līnijas galos iespraustiem signaliem caur ekera dioptru abām pretējām pusēm. Ja ekers nostatīts pareizi, tad vizuras plaknei jāsakrīt ar abiem signaliem *A* un *B*. Pēc tam, neizkustinot instrumentu, skatās caur dioptriem, kas atrodas stateniski iepriekšējai vizurai, un nosprauž vizuras (kolimacijas) plaknē stigmietu *D*. Taisne *CD* ir stateniska taisnei *AB*.

2. No dotā punkta (D) nolaist stateni uz līnijas (AB) (sk. 81. zīmējumu).



81. zīm.

Uz līnijas AB izvēlas punktu C^1, kura savienotāja līnija ar punktu D pēc acumēra šķiet stateniska līnijai AB. Nostata punktā C^1 ekeru un nosaka īsto līnijas AB stateni šajā punktā. Tas atrodas virzienā C^1D^1. Tātad punkts C^1 ir jāpabīda pa līniju AB virzienā uz punktu B par attālumu D^1D. To novērtē pēc acumēra un nostājas domātā punktā C. Ja attāluma D^1D novērtējums nav bijis pareizs un ekers ir nostatīts punktā C^{11}, tad jārīkojas līdzīgi iepriekšējam gadījumam, kamēr atrasts punkts C, kurā līnija AB un līnija CD atrodas uz ekera divām savstarpēji perpendikularām vizuras plaknēm.

95. Dioptru ekeru pārbaudes

1) Ikviena dioptru pāra (alidades) acs dioptru spraugai un priekšmeta dioptru pavedienam jāatrodas vienā vizuras plaknē.

2) Ja ekers nostatīts lietošanas stāvoklī, tad vizuras plaknēm jābūt vertikalām.

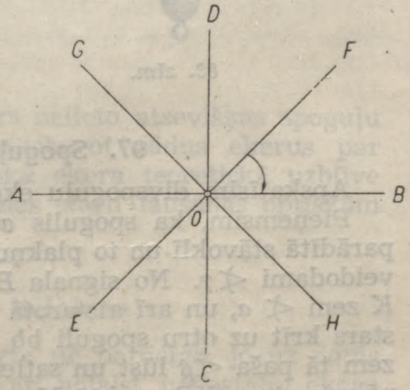
3) Visām vizuras plaknēm jākrustojas vienā vertikalā taisnē, un leņķiem, kas veidojušies no šo plakņu krustošanās, jābūt vienādiem.

Pirmo pārbaudi izdara tā, ka skatās caur acs dioptra spraugu un uzmanīgi vēro, vai priekšmeta dioptra pavediens ir paralels acs dioptra spraugas malai. Ja ir — prasība izpildīta. Ja nav — jāizlabo pavediena stāvoklis.

Otru pārbaudi izdara ar svērteņa palīdzību, t. i., plakņu stāvokli pārbauda pēc brīvi, nekustīgi karājošās auklas, kuras brīvā galā piestiprināts svērtenis.

Trešo pārbaudi izdara šādi: nostata ekeru pareizā lietošanas stāvoklī (sk. 82. zīmējumu) punktā O un alidadu vizuras plakņu (kolimacijas plakņu) virzienos AB, CD, EF un GH iesprauž signalus (stigmietus).

Tad, griežot ekeru ap vertikalo asi, izmaina alidades vizuras plakņu virzienus, novizējot uz kādu citu signalu. 82. zīmējumā alidades kolimacijas plakņu sākotnējais stāvoklis izmai-



82. zīm.

nīts tā, ka AB vizuras plaknes vietā piegriezts un novizēts ar vizuras plakni EF (uz punktu B). Pēc tam pārbauda, vai arī tagad citu alidadu vizuras plakņu virzieni sakrīt ar iespraustajiem signaliem. Ja sakrīt, tad visi leņķi, kas veidojas no vizuras plakņu krustošanās, ir vienādi lieli un plakņu krustošanās notiek vienā vertikālā taisnē. Ja nesakrīt, tad ekeru izlabot var tikai speciālā darbnīcā.

96. Spoguļekeri

Taisnu leņķu konstruēšanai bieži lieto spoguļekerus. To konstrukcija pamatota uz spoguļu refleksijas principa, tas ir, ka uztvertais un atstarotais stars attiecībā pret spoguļa plakni veido vienādi lielus leņķus. 83. zīmējumā parādīts spoguļekeru attēls, bet 84. zīmējumā prizmatiskā ekera attēls.

83. zīm.

84. zīm.

97. Spoguļekeru teorija

Apskatīsim divspoguļu ekeru teoriju.

Pieņemsim, ka spogulis *aa* un *bb* novietoti 85. zīmējumā parādītā stāvoklī un to plakņu turpinājumi krustojas punktā O, veidodami $\sphericalangle\gamma$. No signala B stars krīt uz spoguli *aa* punktā K zem $\sphericalangle\alpha$, un arī atstarotā stara KL leņķis ir α. Atstarotais stars krīt uz otru spoguli *bb* punktā L zem $\sphericalangle\beta$, tad no jauna zem tā paša $\sphericalangle\beta$ lūst un satiekas ar savu pirmo no priekšmeta nākušo staru KB punktā M.

No $\triangle KOL$ varam rakstīt, ka

$$\gamma + (90^\circ - \alpha) + (90^\circ - \beta) = 180^\circ;$$

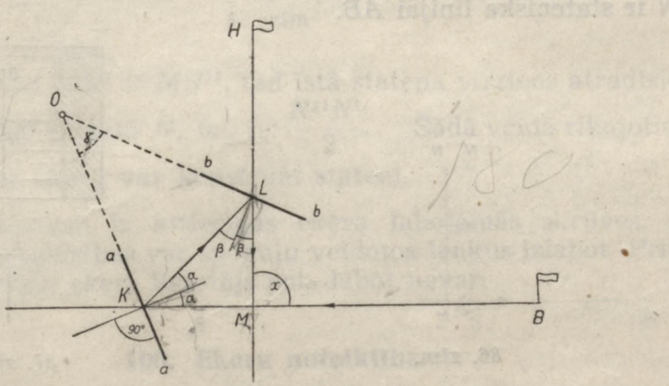
$$\gamma = \alpha + \beta.$$

No $\triangle KLM: \sphericalangle x = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta).$

Tad

$$x = 2\gamma.$$

Izsakot vārdos: divreiz atstarotais stars, krustojoties ar no priekšmeta nākušo staru, veido leņķi, kas ir divreiz lielāks par abu spoguļu veidoto leņķi.



85. *zīm.*

Tātad, ja mēs gribam, lai $\sphericalangle x = 90^\circ$,

tad $90^\circ = 2\gamma$

un $\gamma = \frac{90^0}{2} = 45^\circ$.

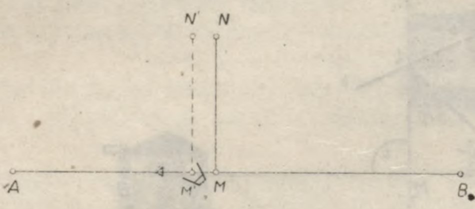
Jaunāko tipu spoguļekeros vairs nelieto atsevišķas spoguļu plaknes, bet spoguļotas prizmas, nosaucot šādus ekerus par *prizmatiskiem ekeriem.* Prizmatiskā ekera teoretiskā uzbūve pamatota uz atstarošanas un gaismas staru laušanas optiskām likumībām.

98. Spoguļekeru lietošana

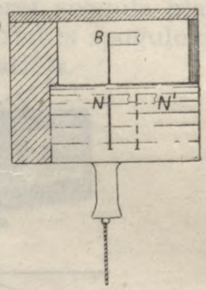
Spoguļekeru lietošana ir ļoti ērta un parocīga, jo uz dotās līnijas stateni var uzstatīt un tāpat arī nolaist, nenostatot ekeru uz stativa, bet turot to rokā.

Pieņemsim, ka mums ar divspoguļu ekeru uz līnijas AB 86. zīmējumā no punkta N jānolaiž statenis.

Noejam uz līnijas AB pēc acumēra domātā stateņa vietā, piemēram, punktā M^1. Turot rokā ekeru, vizējam caur lodziņu uz punktu B un tajā pašā laikā skatāmies, vai punkta N attēls spogulī sakrīt ar punkta B signalu 87. zīmējumā. Ja attēls atrodas spogulī punktā N^1 un nesakrīt ar B (sk. 87. zīmējumu), tad tas nozīmē, ka esam uz līnijas AB punktā M^1 (sk. 86. zīmējumu) un mums vēl jāiet uz priekšu, kamēr attēls N spogulī sakrīt ar līnijas AB vizuru resp. ar signalu B. Šajā stāvoklī ekera vertikalā projekcija uz līnijas AB ir punkts M un līnija MN ir stateniska līnijai AB.



86. zīm.



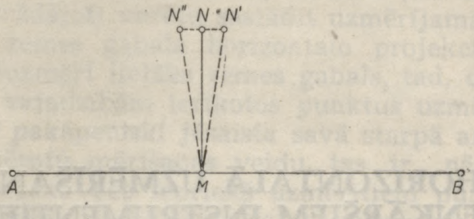
87. zīm.

Ekera projecēšanai uz līnijas dabā vislabāk lietot pietiekama smaguma svērteni, kas piekārts zem svērteņa roktura. Stateņa uzstatīšana punktā M uz dotās līnijas ir vēl vienkāršāka. Nostājas punktā M un ar rokas mājienu bīda palīgu ar stigmietu tikmēr, kamēr stigmieta attēls sakrīt ar vizuras līniju AB. Gluži līdzīga ir arī visu pārējo spoguļekeru lietošana.

99. Spoguļekeru pārbaude

Spoguļekeriem ir tikai viena pārbaude, proti: ekera veidotam leņķim jābūt taisnam, t. i., 90° lielam.

Pārbaudi ieteicams izdarīt uz līdzenas zemes virsas. Uz līnijas AB 88. zīmējumā brīvi izvēlētā punktā M uzstatām stateni, vizējot uz signalu B, un uz tā apmēram 30 m attālumā no ekera iespraužam stigmietu punktā N^1. Pēc tam apgriežamies par 180° un uz tās pašas līnijas un punkta, vizējot uz signalu A, uzceļam stateni un iespraužam stigmietu punktā N^{11}. Ja punkts N^1 un N^{11} sakrīt vienā punktā N, tad ekers ir pareizs. Ja nesakrīt, tad ekers ir nepareizs.



88. zīm.

Ja attālumi $MN^1 = MN^{11}$, tad īstā stateņa virziens atradīsies uz līnijas MN punktā N, tas ir: $\frac{N^{11}N^1}{2}$. Šādā veidā rīkojoties, ar nepareizu ekeru var konstruēt stateni.

Spoguļekeriem ir attiecīgas ekera labojamās skrūves, ar kurām pēc vajadzības var spoguļu veidotos leņķus izlabot. Prizmatiskos ekerus ekera lietotājs pats labot nevar.

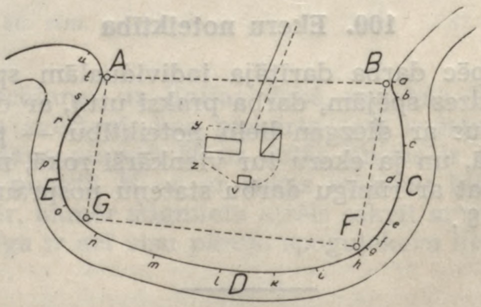
100. Ekeru noteiktība

Skatoties pēc darba darītāja individualām spējām (darba noteiktību, redzes spējām, darba praksi utt.), ar ekeru var nospraust stateņus ar diezgan lielu noteiktību — pat līdz $\pm$ 1′. Kalnainā vietā, un ja ekeru tur vienkārši rokā, noteiktība samazinās, un pat ar rūpīgu darbu stateņu nospraušanā ieviešas kļūdas līdz $\pm$ 8′.

VIII. HORIZONTALĀ UZMĒRĪŠANA AR VIENKĀRŠIEM INSTRUMENTIEM

101. Kontura. Poligons

Dabā esošās situacijas ierobežotājas līnijas, piemēram, upes vai ezeru krastu līnijas, mēdz apzīmēt ar vārdu kontura. Tā 89. zīmējumā attēlotās upes *EDC* krastu, pagalma, ceļa un ēku veidotājas līnijas sauc par konturām — pagalma kontura, ēku konturas, ceļa kontura utt. Konturu līnijas var ietvert noslēgtu laukumu, piemēram, ēkas konturas, bet konturu līnijas var būt arī nenoslēgtas, piemēram, ceļa un upes konturas ir nenoslēgtas.



89. zīm.

Ja līnijas mērīšanas vajadzībām izvēlētas tā, lai tās izveidotu noslēgtu daudzstūri, tad šādu daudzstūri sauc par *poligonu*.

Piemēram, 89. zīmējumā attēloto četrstūri *ABFG* var saukt par poligonu.

102. Uzmērīšanas pamatlikums

Zemes gabalu horizontalā uzmērīšana jāizdara ar rūpīgu apsvērumu, lai pēc uzmērīšanas datiem (tos katrā gadījumā attiecīgi apstrādājot) varētu sastādīt uzmērījamā zemes gabala plānu resp. zemes gabala horizontalo projekciju samazinātā formā. Ja jāuzmērī lielāks zemes gabals, tad, dabā esošos vai uzmērīšanas vajadzībām ierīkotos punktus uzmērījot, tie gandrīz vienmēr pakāpeniski jāsaista savā starpā ar katram gadījumam piemērotu mērīšanas veidu, tas ir, nākošais punktu stāvoklis jānosaka pēc iepriekš uzmērītiem punktiem. Tā kā katrā uzmērījumu darbā ieviešas nenovēršamās kļūdas, tad ar katra nākošā punkta mērījumu nenovēršamā kļūda palielinās, t. i., otra punkta kļūdā ietilpst tā paša un arī pirmā punkta mērījuma kļūda, trešā punkta kļūdā ietilpst tā paša, otra un pirmā punkta mērījuma kļūda utt., un jo uzmērījamais punkts atrodas tālāk no mērīšanas sākuma punkta, jo vairāk kļūdu sakrājas — sumējas. Lai šādu kļūdu sakrāšanos mazinātu, tad visā uzmērījamā zemes gabalā jāierīko atbalsta punkti, kurus atsevišķi ir iespējams uzmērīt ar katrā gadījumā iespējamāko precizitati, un tad no šo atbalsta punktu līnijām jāuzmērī viss zemes gabals. Piemēram, ja mēs pieņemam, ka 89. zīmējumā attēlotais upes līcis ir samērā prāvs zemes gabals, tad tā uzmērīšanai vispirms izvēlamies poligonu *ABFG;* noteicam poligona virsotnes un malas, un tad upes krasta un citas situacijas konturas uzmērīšanas darbus saista ar poligona virsotnēm un malām. No sacītā varam secināt, ka uzmērīšanas darbi jāiekārto tā, lai tie sekotu no vispārēja darba uz atsevišķo (detalizēto) darbu.

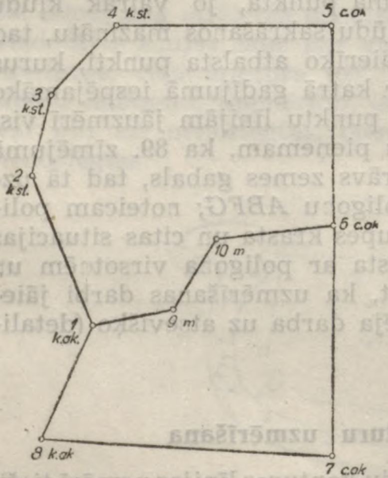
103. Līkveida konturu uzmērīšana

Dažādi liektās (līkveida) situaciju konturas līnijas nemērī tieši, bet uz līkveida līnijas nosaka tik daudz punktu, lai tie (bez vērā ņemamām kļūdām) dotu iespēju attēlot līkveida līnijas uz plaknes. Piemēram, ja mums būtu jāuzmērī 89. zīmējumā parādītās upes *CDE* iekšējais krasts, tad mēs to varētu izdarīt, noteicot upes krastu ar punktiem *a, b, c, d, e,... s, t, u* un tos katru atsevišķi uzmērījot. Punktus izvēlas tādās vietās un savstarpējos attālumos, lai katra atsevišķa līnija starp diviem punktiem būtu uzskatāma praktiski par taisnu līniju. Konturu līniju punktus, kuros līkveida līnija strauji maina virzienu, pāriet taisnā līnijā vai veido leņķi, sauc par *raksturīgiem punktiem.* Piemēram, 89. zīmējumā pagalma konturu punkti *v, z, y* ir konturu raksturīgie punkti.

Līkveida konturu uzmērīšanas vajadzībām nospraustās taisnās palīglīnijas sauc par *maģistralēm.* Piemēram, ja 89. zīmējumā līnijas *BF, FG* un *GA* ir nospraustas upes krasta uzmērīšanas vajadzībām, tad tās sauc par maģistralēm.

104. Poligona nospraušana

Ja uzmērījamās platības poligona virsotnes var brīvi izvēlēties, tad tas jādara ar tādu apsvērumu, lai, pirmkārt, virsotnes atrastos stabilā vietā, kurā būtu ērta leņķu mērīšana ar instrumentu; otrkārt, lai poligona malas ietu pa apvidu, kas mazāk apgrūtina līniju mērīšanas darbus, un, treškārt, lai poligona malas būtu izlietojamas arī kā maģistrales situacijas uzmērīšanai.



90. zīm.

Ja poligona virsotnes jau iepriekš noteiktas, tad jāapsver jautājums, vai situacijas uzņemšanai nav nepieciešami palīgpunkti un līnijas, kuras pēc vajadzības jāizvēlas un jāapzīmē ar punktiem.

Virsotņu punkti, kuru pastāvēšana nepieciešama ilgāku laiku, jāapzīmē. Par virsotņu zīmēm lieto: akmeņus ar uzkaltu krustu, koka stabus, betona-cementa zīmes, metala caurules u. c. Virsotnēs, kurām ir tikai uzmērīšanas laika nozīme, liekami tikai mietiņi.

Stingri jāievēro noteikums: *nekad neuzsākt uzmērīšanu, pirms nav iekārtotas punktu zīmes.* Nekādā gadījumā nedrīkst papriekš izdarīt mērīšanu pēc pagaidu zīmēm un vēlāk ielikt nodomātās, pastāvošās zīmes, jo pat visrūpīgākā darbā punktus nav iespējams precizi ielikt iepriekš izmērītā virsotnē.

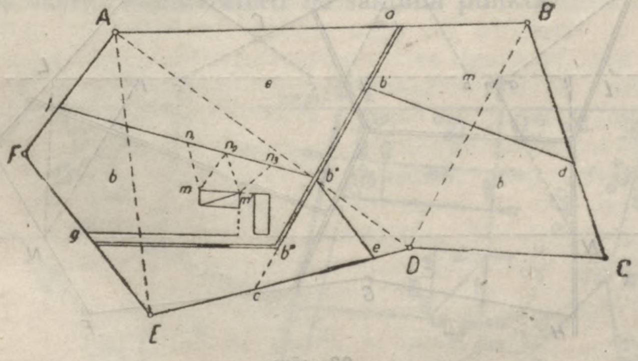
Lai daudzu virsotņu poligonu nospraušanā nesamainītu poligona virsotnes, reizē ar virsotņu izvēli un atzīmēšanu jāsastāda poligona virsotņu schema, kurā virsotnes numurē un apraksta. 90. zīmējumā parādīta uzmērīšanas poligona virsotņu schema ar virsotņu apzīmējumiem:

k. st. — kupica, koka stabs,
c. ak. — apakšzemes centrs, akmens ar krustu,
m. — mietiņi maģistrales apzīmēšanai.

Kad virsotnes ir atzīmētas ar piemērotām zīmēm, var sākt uzmērīšanas darbus.

105. Uzmērīšana ar garuma mēru

Dažkārt rodas nepieciešamība izdarīt uzmērīšanas darbus arī tad, kad nav citu mērīšanas instrumentu kā tikai viena vai otra veida līniju garuma mērīšanas rīks, t. i., mērsloksne, rulete, lauka cirkulis u. c.



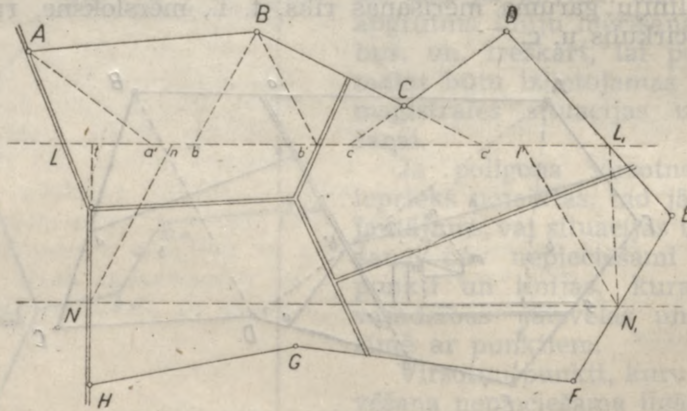
91. zīm.

Uzmērīšana ar šādiem rīkiem pieļaujama, ja uzmērīšanas darba noteiktību neprasa augstāku par $\frac{1}{500}$. Uzmērīšanas darbus var izdarīt ar šādiem mērīšanas paņēmieniem:

1) Sadalot poligonu tik daudz dažādos trijstūros, lai visas poligona virsotnes un malas būtu noteiktas ar savstarpēji saistītām trijstūru virsotnēm un malām. Pieņemsim, ka mums jā-

uzmērī 91. zīmējumā parādītais daudzstūris (poligons) *ABCDEF* un tajā esošā situacija.

Mēs redzam, ka, ja mēs sadalītu poligonu trijstūros *FAE, EAD, ABD* un *DBC* un izmērītu visu trijstūru malas, tad pēc malu garumiem mēs šo poligonu varētu konstruēt ar cirkuļa palīdzību. Ja tajā pašā laikā uz trijstūru malām mēs atzīmētu garumus situacijas krustojumu vietās, piemēram, a, b^1, b^{11}, b^{111} un C utt., tad mēs jau būtu noteikuši arī daudzu situacijas raksturīgo punktu atrašanās vietas. Konstruējot dabā vēl papildu trijstūrus, piem., $\triangle\, n_1\ m\ n_2$ ēkas stūra m noteikšanai un $\triangle\, n_2$ $m^1\ n_3$ stūra m^1 noteikšanai, un izmērījot šo trijstūru malas, mēs pēc ēkas izmēru noteikšanas varētu attēlot uz plaknes arī ēkas $m\ m^1$ atrašanās vietu. Turpinot vēl papildu trijstūru konstruēšanu un izmērīšanu, mēs varam tikai ar līniju mērījamo rīku vien uzmērīt nelielas zemes platības un attēlot tās uz plaknes.



92. *zīm.*

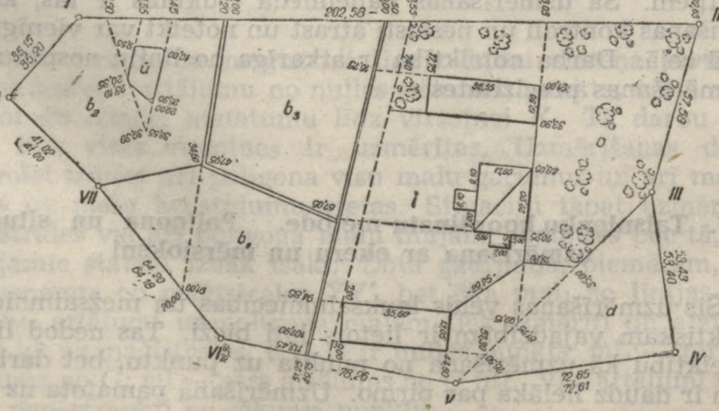
2) Ja izmērījamā platība ir lielāka, tad trijstūra konstruēšana visā poligonu platībā ir jau grūtāka, un tādā gadījumā šo pašu uzmērīšanas paņēmienu var papildināt ar palīglīniju — maģistraļu konstruēšanu. Pieņemsim, ka 92. zīmējumā parādītam poligonam *ABCDEFGH* ir samērā liela platība — ap 90 ha un attālums pat starp šaurākām vietām, piem., starp *C* un *G,* ir liels (pāri par 300 m), tā ka trijstūrus, kas sastāv no poligona malām, grūti konstruēt.

Tādā gadījumā jāizvēlas palīglīnijas LL_1 un NN_1, tās rūpīgi jāizmērī un uz tām jākonstruē trijstūri, kuri noteiktu poligonu virsotnes. Palīglīnijas jeb maģistrales savā starpā savukārt jāsaista ar trijstūriem, piemēram, $\triangle tNn$ un $\triangle l'L_1N_1$. Konstruējot uz maģistrales LL_1 $\triangle LAa'$, dabūsim poligona A virsotni; ar $\triangle Bbb^1$ dabūsim B virsotni; ar $\triangle cCc'$ dabūsim C virsotni; ar $\triangle cDL_1$ dabūsim virsotni D. Darba kontrolei katrā ziņā jāizmērī arī poligona malas AB, BC, CD.

Tā turpinot trijstūru konstruēšanu un to malu mērīšanu, uzmērī poligonu un tajā esošo situaciju.

106. Situacijas uzmērīšana

Pieņemsim, ka 93. zīmējumā parādītā poligona — zemes gabala robežas ir jau noteiktas un mums jāuzņem tikai situacija. Rīcībā ir tikai līniju garumu mērīšanas rīks. Mērījumu skaitļus visērtāk ir rakstīt stateniski mērījamai līnijai — tai blakus, bet attālumus skaitīt nepārtraukti no sākuma punkta.



93. zīm.

Piemēram, no I punkta uz II — grāvja mala ir 47,20 m, otra grāvja mala — 49,00, ceļa grāvja malas 100,00 un 101,50 m; ceļa mala 108,55 m un līdz II punktam 202,63 m. Atpakaļ mērītās līnijas garums — 202,58 m — pierakstīts virs līnijas. Šāds rakstīšanas veids dod labu pārskatāmību un norāda arī mērīšanas virzienu (pierakstīto skaitļu pieauguma virzienā). Ja līnija izmērīta bez starppunktiem — visā garumā nepārtraukti, tad rezultatu raksta paraleli atbilstošai līnijai, piem., (IV—V) = 72,65 un 72,61 m — vienu mērījuma skaitli zem otra.

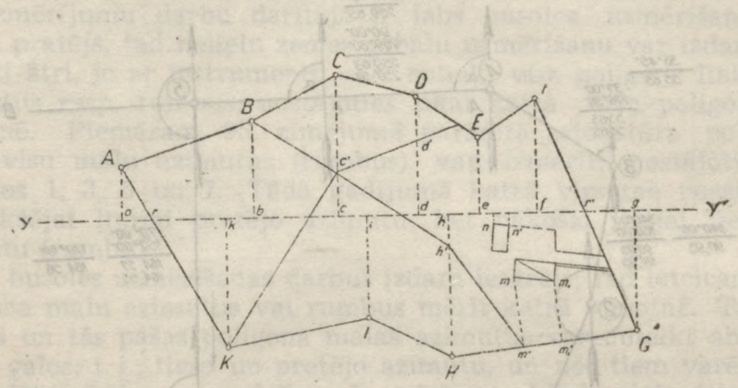
No klātpieliktā zīmējuma redzam, ka situacijas uzmērīšanā no punkta uz punktu, ja ir iepriekš noteiktas poligona līnijas (vai arī to vietā citā gadījumā maģistrales), ir ļoti maz vajadzīgs konstruēt trijstūrus, bet var izlīdzēties, turpinot situacijas konturu līnijas līdz dotām, jau uzmērītām līnijām un uzmērīt vajadzīgās krustošanās vietas. Tā, piemēram, savienojot tīruma b_2b_3 grāvja turpinājumu ar poligona VI—VII līniju un izmērījot attālumu no VI virsotnes līdz grāvja turpinājuma krustpunktam 20,00 m, mēs varam precizi un viegli iezīmēt poligonā grāvja (47,20 m) — (47,95 m) virzienu. Izmērījot šajā virzienā grāvja garumu 47,95 m un atliekot to uz grāvja virziena līnijas, mēs esam dabūjuši triju lauku (tīrumu) b_1b_2 un b_3 robežpunktu. Līdzīgi uzņemta arī pārējā situacija, izņemot dīķi $\bar{u}$, kas uzņemts ar trijstūra un dīķa malas turpinājumu mērījumiem. Darba kārtība viegli redzama un saprotama pēc ierakstītajiem skaitļiem. Šā uzmērīšanas paņēmiena trūkums ir tas, ka uzmērīšanas kontroli un nesaisti atrast un noteikt var vienīgi grafiskā ceļā. Darba noteiktība ir atkarīga no līniju nospraušanas un mērīšanas precizitates.

107. Taisnleņķu koordinatu metode. Poligona un situacijas uzmērīšana ar ekeru un mērsloksni

Šis uzmērīšanas veids lauksaimniecības un mežsaimniecības praktiskām vajadzībām ir lietots ļoti bieži. Tas nedod lielāku noteiktību kā uzmērīšana no punkta uz punktu, bet darba ražība ir daudz lielāka par pirmo. Uzmērīšana pamatota uz taisnleņķu koordinatu principa.

Pieņemsim, ka mums pēc šā paņēmiena jāuzmērī 94. zīmējumā parādītais daudzstūris *ABCDEFBHIK*.

Ja koordinatu ass *YY'* (biežāk to sauc par maģistrali) vietu var brīvi izvēlēties, tad to dara ar tādu apsvērumu, lai no tās ar ekeru varētu uzmērīt poligona virsotnes. Abscisas šajā gadījumā būs stateņi no YY' ass uz attiecīgām virsotnēm. Mērīšanu uzsāk no maģistrales viena gala, turklāt tā stateņa vietu (uz maģistrales), ar kuru nosaka pirmo uzmērījamo virsotni, sauc par sākuma jeb nullpunktu. Pieņemsim, ka esam uzsākuši mērīšanu no kreisās uz labo. Pēc 94. zīmējuma sākuma jeb nulles punkts mums ir uz maģistrales YY' punktā a. Uzceļ stateni (aA), izmērī tā garumu līdz virsotnei A. Tad

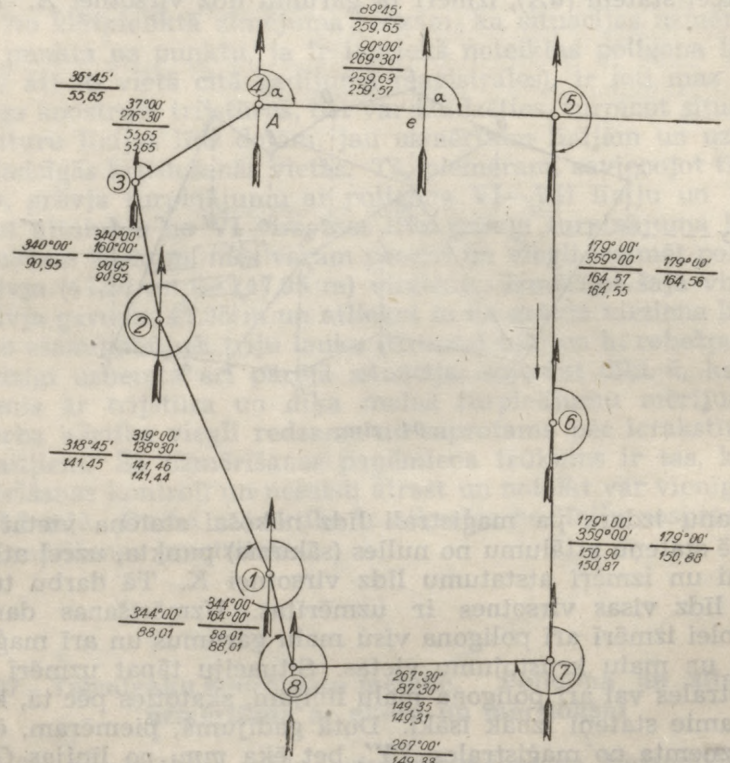


94. zīm.

mērīšanu izdara pa maģistrali līdz nākošai stateņa vietai k, atzīmē stateņu attālumu no nulles (sākuma) punkta, uzceļ atkal stateni un izmērī atstatumu līdz virsotnei K. Tā darbu turpina, līdz visas virsotnes ir uzmērītas. Uzmērīšanas darba kontrolei izmērī arī poligona visu malu garumus un arī maģistrales un malu krustojumu vietas. Situaciju tāpat uzmērī no maģistrales vai arī poligona malu līnijām, skatoties pēc tā, kur mērījamie stateņi iznāk īsāki. Dotā gadījumā, piemēram, ēka nn_1 uzņemta no maģistrales YY', bet ēka mm_1 no līnijas GH. Stateņu attālumi uz poligona malām tiek izmērīti un atzīmēti tāpat kā uz maģistrales, t. i., G ir nulles punkts; $m^1{}_1$ — pirmais attālums no G; m^1 — otrs attālums no G utt. Visi attālumi skaitāmi nepārtraukti no sākuma punkta.

108. Atsevišķa zemes gabala uzmērīšana ar busoli. Slēgta poligona uzmērīšana

Zemes gabalu uzmērīšana ar busoli pamatota uz atzinuma, ka uz nelielām platībām magnetisko meridianu virzieni ir savā starpā paraleli. Ja iedomāsimies, ka caur 95. zīmējumā attēlotā



95. zīm.

zemes gabala malu virsotnēm 1, 2, 3 . . . 8 iet savā starpā paralelas līnijas (magnetiskie meridiani), tad zemes gabala malu virzieni attiecībā pret meridiana līnijām būtu konstanti. Piemēram, ja mēs iedomātos, ka esam noteikuši līnijas *AB* azimutus *a* punktā 4 un punktā *e*, tad līnijas *AB* azimuta lielums būs abās vietās vienāds. Ja pieņemam, ka punkts *A* mums ir noteikts un mēs gribam noteikt 5. punkta atrašanās vietu attiecībā pret punktu *A*, tad mums bez līnijas *AB* virziena, t. i., azimuta, ir jāzina daudzstūra malas 4 līdz 5 garums, kuru uzliekot uz līnijas *AB* dabūsim punktu 5.

Tādā pašā veidā mēs varam noteikt 6. punkta stāvokli attiecībā pret 5. punktu; 7. punkta attiecību pret 6. punktu utt. Ja uzmērījamā apvidū nav magnetiskās šautriņas vietējā deviacijā un uzmērījumu darbu darītājs ir labs busoles uzmērīšanas darbu pratējs, tad nelielu zemes gabalu uzmērīšanu var izdarīt sevišķi ātri, jo ar instrumentu var noteikt visa poligona līniju azimutus resp. rumbus, nostājoties tikai katrā otra poligona virsotnē. Piemēram, 95. zīmējumā parādītā astoņstūra poligona visu malu azimutus (rumbus) var izmērīt, nostājoties punktos 1, 3, 5 un 7. Tādā gadījumā katrā virsotnē nosaka iepriekšējai līnijai pretējo azimutu, bet nākošai līnijai tiešo azimutu (rumbu).

Ja busoles uzmērīšanas darbus izdara iesācējs, tad ieteicams poligona malu azimutus vai rumbus mērīt katrā virsotnē. Tad vienas un tās pašas poligona malas azimutus var noteikt abos līniju galos, t. i., tiešo un pretējo azimutu, un pēc tiem varētu kontrolēt mērījumu pareizību. Ja mērījuma kļūda pieļaujama, tad par mērījuma gala rezultatu ņemams aritmetiskais vidējais no abiem mērījumu rezultatiem.

Izdarot poligona uzmērīšanas darbus, jāievēro ģeodezijas darbos pieņemtais *noteikums, ka poligonu malu azimutu vai virsotņu leņķu mērīšanu var uzsākt no jebkuras poligona virsotnes, bet darbs jāturpina pulksteņa rādītāja gaitas virzienā, tas ir, lai poligons atrastos pa labi.* Tādu uzmērīšanas kārtību sauc par *poligona gājienu.*

Ar šādu uzmērīšanas kārtību ir noteikti arī poligona malu (līniju) sākuma un gala punkti. Tā, piemēram, pēc 95. zīmējuma poligona malas (3—4) sākums ir 3. virsotnē, bet malas beigu punkts virsotnē 4 un nekādā ziņā otrādi.

95. zīmējumā uzrādītā poligona malu azimuti mērīti (kā tas redzams no zīmējumā uzrādītiem azimutu lielumu ierakstiem) ar busoli, kurai sīkākā gradu iedaļa ir bijusi $1/2^{\circ}$, t. i., 30′.

Mērījumu rezultati, divreiz mērītie līniju garumi un azimuti pierakstīti attiecīgām poligona malām. Busoles un tāpat citos uzmērīšanas darbos nepieciešams tūlīt uzmērīšanas laikā visus mērījumu rezultatus sakopot atsevišķā žurnalā. Šādu žurnalu sauc par *uzmērīšanas* vai *ģeodezijas žurnalu.* Busoles uzmērījumam žurnalu var iekārtot pēc šāda parauga:

109. Žurnals busoles uzmērījumam

Uzmērījums izdarīts melioracijas darbu vajadzībām 1945. g. julijā.

Poligona virsotņu №	Uzmērītie azimuti vai rumbi			Izmērīto malu		Piezīmes
	tiešie 0°0'	pretējie 0°0'	vidējie 0°0'	garumi m	slīpuma leņķi 0°	
1						
	319°00'	138°30'	318°45'	141,46		
2				141,44		
	340°00'	160°00'	340°00'	90,95		
3				90,95		
	37°00'	276°30'	36°45'	55,65		
4				55,65		
	90°00'	269°30'	89°15'	259,63		
5				259,57		
	179°00'	359°00'	179°00'	164,57		
6				164,55		

Pie žurnala uz blakus lapas (vai arī atsevišķas lapas) rūpīgi sastādāms (saka arī vedams) abriss. Par abrisu sauc rūpīgi, saprotami un skaidri pēc acumēra sastādītu uzmērījamā zemes gabala skici, kurā uzrādāmas poligona virsotnes ar to apzīmējumiem, situacijas konturas un to uzmērīšanas paņēmieni un dati, zemes izmantošanas apzīmējumi utt. Mērīšanas žurnalam un abrisai ir sevišķi svarīga nozīme, jo pēc tajos uzrādītiem uzmērīšanas datiem ir jāsastāda plāns. Tādēļ abriss jāsastāda ar tādu apsvērumu, lai plāna sastādīšanai to varētu izmantot ikviens ģeodets bez jebkādiem citiem paskaidrojumiem.

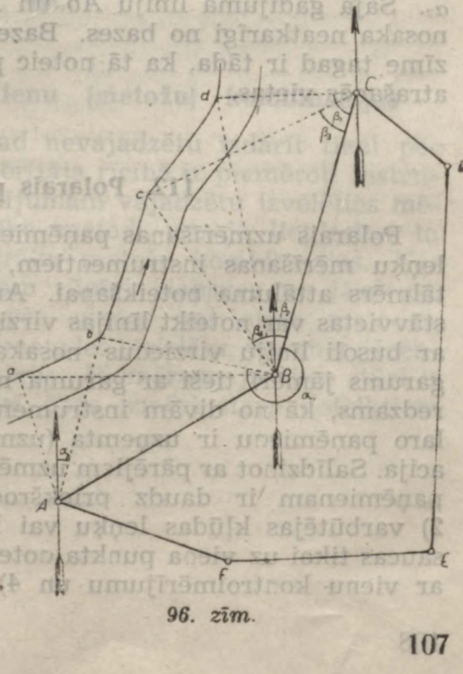
110. Norādījumi busoles lietošanā

Uzmērīšanas darbos ar busoli vēl jāievēro, ka magnetiskās šautriņas novirzi izsauc tās tuvumā esošie varbūtējie dzelzs un tērauda priekšmeti — mērsloksne, iesmiņi, cirvis, kabatas nazis, telefona stieples utt. Tādēļ jāuzmanās, lai magnetiskās šautriņas novirzi neietekmētu uzrādītie vai tiem līdzīgi traucētāji blakus apstākļi. Tā kā tādi metala priekšmeti var būt arī acīm neredzami (zem zemes virskārtas esošā dzelzsrūda u. c.)

un šautriņas normalā novirze tiks traucēta mērītājam nenojaušot, tad vēlams līnijas azimutu noteikt abos galos, t. i., tiešo un pretējo. Tiešā un pretējā azimuta teoretiskā atšķirība, protams, būs 180°. Praktiski mērījuma rezultatā tomēr ietilps vēl atšķirība, kas būs cēlusies no nenovēršamās kļūdas. Atšķirības lielums — kļūda, nedrīkstētu būt lielāka par $^1/_2$°, t. i., 30′. Busoles uzmērījumu darbi nav pieskaitāmi lielas noteiktības ģeodezijas darbiem, tādēļ šo uzmērīšanas paņēmienu lieto tad, kad uzmērījuma vajadzībai ir vispārējas ilustracijas raksturs, piemēram, kāda zemes gabala iepriekšējai rekognoscēšanai u. tml. Mērīšanas darbos ar busoli labos apstākļos kļūda nedrīkst būt lielāka par $\frac{1}{300}$, max $\frac{1}{200}$. Apskatīsim dažus īpatnējus uzmērīšanas paņēmienus, kurus var lietot uzmērījumu darbos ar busoli.

111. Tiešais krustojumu paņēmiens

Uzmērīšanu ar krustojumu paņēmienu ģeodezijā lieto samērā plašos apmēros. Šis uzmērīšanas paņēmiens zemākajā ģeodezijā ir sevišķi nepieciešams tajos gadījumos, kad atsevišķu situacijas punktu vai virsotņu noteikšana ar citiem mērīšanas paņēmieniem ir apgrūtinoša vai pat neiespējama. Krustojumu uzmērīšanas paņēmienu var izdarīt ar visiem horizontalo leņķu mērīšanas instrumentiem. Piemēram, ja 96. zīmējumā būtu attēlota ap 50 m plata upe un tās krasts *abcd* mums būtu jāuzmērī no poligona malām *AB* un *BC*, tad izdevīgākais krasta uzmērīšanas veids būtu krustojumu paņēmiens.



96. zīm.

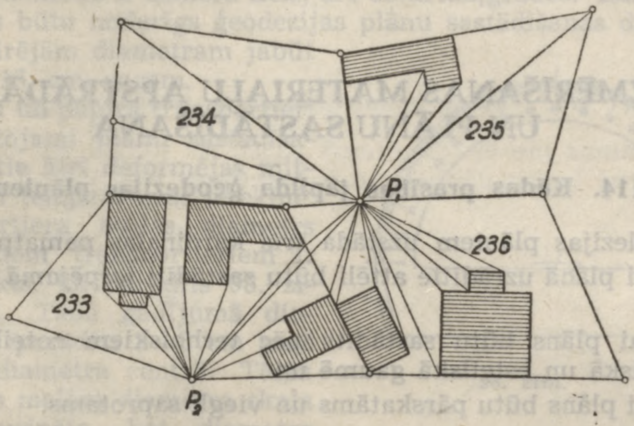
Līnijas, šajā gadījumā poligona malas, AB un BC, no kurām ar krustojumu paņēmienu nosaka punktu atrašanās vietas, sauc par *bazēm*. Ja poligona malas neoder bazes vajadzībām, tad bazes jānosprauž īpaši un katrā ziņā jāiesaista poligonā.

Ja mēs apskatām 96. zīmējumā trijstūri BdC, tad redzam, ka punkta d atrašanās vietu var noteikt ar $\triangle$ malu(bazi) BC un tai piegulošiem leņķiem β_1 un β_2, tas ir, punkts d atrodas šo leņķu veidotāju līniju krustošanās punktā. Gluži līdzīgi nosakāmi arī visi pārējie upes krasta raksturīgie punkti, t. i., a, b un c. Vispārinot varam teikt, ka, izmērījot bazes gala punktos leņķus starp bazi un virzieniem uz uzmērījamiem punktiem, šo leņķu veidotāju līniju krustošanās punkts nosaka uzmērījamā punkta atrašanās vietu attiecībā pret bazi.

Uzmērījumu darbos ar busoli līniju veidotos leņķus tieši izmērīt nevar, jo ar šo instrumentu, kā mēs to jau zinām, līniju virzienus nosaka pēc magnetiskā meridiana, pieņemot, ka uz nelielām platībām magnetisko meridianu virzieni ir paraleli. Apskatīsim upes krasta raksturīgākā punkta b (sk. 96. zīmējumu) noteikšanas paņēmienus ar busoli. Mēs redzam, ka punkta b atrašanās vietu nosaka līnijas Ab un Bb krustošanās punkts, bet līnijas virzienus nosaka ar azimutiem α_1 un α_2. Šajā gadījumā līniju Ab un Bb virzienus (t. i., azimutus) nosaka neatkarīgi no bazes. Bazes vajadzība un tās mēru nozīme tagad ir tāda, ka tā noteic pašu atbalsta pūnktu A un B atrašanās vietas.

112. Polarais paņēmiens

Polarais uzmērīšanas paņēmiens ir ērti lietojams ar tādiem leņķu mērīšanas instrumentiem, kuriem ir optiska ierīce — tālmērs attāluma noteikšanai. Ar tādu instrumentu no vienas stāvvietas var noteikt līnijas virzienu un garumu. Uzmērījumā ar busoli līniju virzienus nosaka ar azimutiem, bet līnijas garums jāmērī tieši ar garuma mērīšanas rīku. 97. zīmējumā redzams, kā no divām instrumentu stacijām P_1 un P_2 ar polaro paņēmienu ir uzņemta (uzmērīta) samērā sarežģīta situacija. Salīdzinot ar pārējiem uzmērīšanas paņēmieniem, polaram paņēmienam ir daudz priekšrocību: 1) liela darba ražība, 2) varbūtējas kļūdas leņķu vai līniju garumu mērījumos atsaucas tikai uz viena punkta noteikšanu, 3) kļūdas viegli atrast ar vienu kontrolmērījumu un 4) no viena instrumenta stāv-punkta — pola ir iespējams (atklātā vietā) uzņemot sarežģītas situacijas daudz raksturīgo punktu. Trūkumi: ja uzmērījuma noteiktība nepieļauj lietot tālmēru, tad pie lielāka attāluma (no pola līdz noteicamam punktam) jāizdara gari līniju mērījumi. Šī uzmērīšanas metode nav lietojama bez leņķu mērījamā instrumenta.



97. zīm.

113. Uzmērīšanas paņēmienu (metožu) kombinacijas

Situacijas uzņemšanu nekad nevajadzētu izdarīt tikai pēc vienas metodes, bet, ja vien mērītāja rīcībā ir piemēroti instrumenti, katram atsevišķam gadījumam vajadzētu izvēlēties mērīšanas apstākļiem piemērotāko metodi un, ja lietderība to prasa, lietot vienā darbā vairāku metožu kombinacijas. Tas katrā atsevišķā darbā ģeodetam rūpīgi jāapsver un jāizlemj, kādu situacijas daļu uzņemt pēc vienas vai otras metodes. Jāievēro, ka, lai arī pēc kādas metodes strādātu, vienmēr jācenšas iegūt arī kontroles mērījumus. Piemēram, ja ēkas stūri ir noteikti, tad kontrolei jāizmērī ēkas izmēri starp noteiktiem stūra punktiem.

IX. UZMĒRĪŠANAS MATERIALU APSTRĀDĀŠANA UN PLĀNU SASTĀDĪŠANA

114. Kādas prasības jāpilda ģeodezijas plāniem

Ģeodezijas plāniem uzstāda trīs kardinalas pamatprasības:

1) lai plānā uzrādītie attēli būtu sastādīti *iespējamā precizitatē,*

2) lai plāns būtu sastādīts pēc techniskiem noteikumiem harmoniskā un estetiskā gaumē un

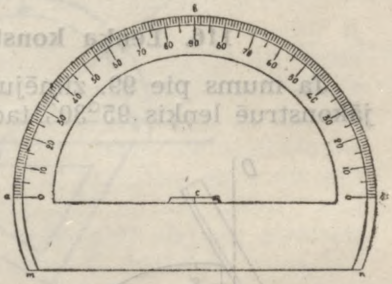
3) lai plāns būtu pārskatāms un viegli saprotams.

No tā mēs varam spriest, ka ģeodezijas plāna sastādīšana jāizdara ar vislielāko rūpību, uzmanību un noteiktību. Darbus izdarot, nedrīkst pieļaut pat vismazākās paviršības. Visiem rasējamiem piederumiem jābūt pārbaudītiem un labā lietošanas kārtībā. Tiem jābūt izgatavotiem no tāda materiala, lai, tos lietojot un uzglabājot, tie nedeformētos. Tā, piemēram, nekad nav ieteicams plānus sastādīt, ņemot vajadzīgos attālumus pēc paša, uz papīra konstruētā mēroga. Lai arī cik rūpīgi mēs konstruētu mērogu, tajā vienmēr ietilps nenovēršamās zīmēšanas kļūdas, kuras, mums pašiem nezinot, kļūdaini ietekmēs pēc tā ņemtos lielumus. Ja arī pieņemtu, ka mērogs konstruēts bez kļūdām, arī tad mēs ar papīra mērogu nevaram precizi strādāt, jo cirkuļa adatiņas iegrimes apmērus papīra mērogā mēs nevaram ne noteikt, ne arī novērst. Jau pēc neilga papīra mēroga lietošanas tas sadurstīšanas dēļ kļūst pilnīgi nederīgs. Tādēļ plānu sastādīšanai jālieto rūpīgi izgatavotie metala mērogi, bet arī tad mēroga iedaļu pareizība jāpārbauda ar cirkuli.

115. Transportieris

Leņķu konstruēšanas un mērīšanas rīku (uz plāniem) sauc par *transportieri.* Transportierus pagatavo no dažāda materiala — no papīra, metala, celuloida u. c. Transportieris ir pusaploce vai aploce, kas sadalīta grados un pusgrados, bet, ja aploces diametrs ir samērā liels, arī ceturtdaļgrados. Lai transportieris būtu noderīgs ģeodezijas plānu sastādīšanas darbiem, tad tā ārējām diametram jābūt vismaz 15 cm garam.

Koka un papīra transportieri nav lietojami plānu sastādīšanai, jo tie ātri deformējas mitrumā un temperaturas ietekmē. Transportiera nulles diametrs *acd* dažiem transportieriem ir pārtraukts, kā parādīts 98. zīmējumā. Tādā gadījumā diametrs ir parādīts 2—3 cm garā gabalā diametra centrā. Tālāk uz abām malām diametra skala ir sašaurināta, bet diametra gali redzami loka gradu iedalījumā. Tādā gadījumā diametru nosaka punkti: 0°, *C*, 180°. Transportierim jāatbilst šādām prasībām:



98. zīm.

1) Transportiera iedaļu un diametra skalas apakšējai daļai jābūt plaknei.

2) Diametra skalas ārējās malas šķautnei jābūt paralelai nulles diametram.

3) Transportiera lokam jābūt pareizam.

4) Gradu un to daļu iedalījumiem jābūt pareiziem.

Transportiera pārbaudes ir ļoti vienkāršas, taču tās jāizdara rūpīgi. Pirmo pārbaudi izdara ar pareizu līnealu, pieliekot to dažādos virzienos transportiera plaknei, un skatās pret gaismu, vai līneala mala sakrīt ar transportiera apakšējo plakni.

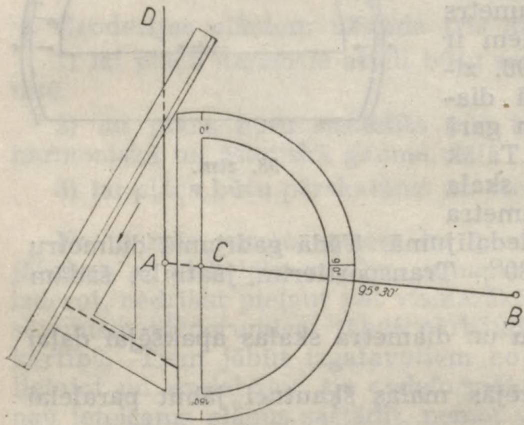
Otru pārbaudi izdara, atzīmējot uz papīra punktus: 0° svītriņu, *C* punktu un 180° svītriņu, tad paliek trijstūri ar līnealu transportiera diametra skalas ārējai malai, noņem transportieri un bīda trijstūri gar līneala malu, līdz kamēr otra trijstūra mala šķērso atzīmētās vietas, kas noteic nulldiametru.

Transportiera loka pareizību pārbauda ar ģeometriskā ceļā rūpīgi konstruētu loku.

Gradu iedaļu pareizību pārbauda ar cirkuli, salīdzinot atsevišķu iedaļu intervalus. Taisna leņķa pareizību var pārbaudīt ar ģeometriski pareizi konstruētu stateni. Transportieru tipu ir daudz un dažādi, gan ar veselu, gan ar pusloku, gan ar alidadām un nonijiem. Vislielākā noteiktība (ap 5′ robežojošo kļūdu) sasniedzama ar transportieriem, kuriem pierīkots nonijs.

116. Leņķa konstruēšana ar transportieri

Ja mums pie 99. zīmējumā parādītās līnijas *AB* punkta *A* jākonstruē leņķis 95°30′, tad to ieteicams izdarīt šādi.



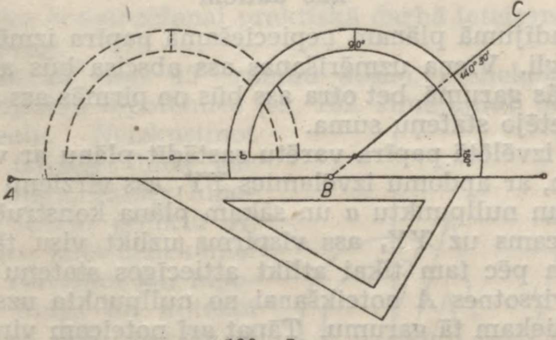
99. zīm.

Novieto uz līnijas *AB* transportieri tā, lai tā centrs *C* un dotā gradu 95°30′ svītriņa noteikti atrastos uz līnijas *AB*. Lai to iespējami pareizi izdarītu, gradu nolasījumi jāskatās līnijas *AB* virzienā. Skatoties iedaļu un centra virzienu no sāniem, var viegli rasties paralakss, jo transportiera iedaļu svītriņas atrodas augstāk par novilkto līniju *AB*. Pēc tam piebīda transportiera diametra skalas ārējai malai trijstūra hipotenuzu, bet trijstūra garākai katetei līnealu. Atņemot transportieri, bīda trijstūri gar līnealu, kamēr hipotenuza iet caur punktu *A*. Caur punktu *A* gar hipotenuzu novilkta līnija *AD* veido konstruējamā leņķa 95°30′ malu.

117. Leņķu mērīšana ar transportieri

Lai noteiktu uz plāna attēlotā, piemēram, 100. zīmējumā parādītā leņķa *ABC* lielumu, jārīkojas šādi.

Pieliek trijstūra hipotenuzu rūpīgi vienai leņķa malai, teiksim, *AB*, tad hipotenuzai pieliek transportieri un bīda gar trijstūra malu, kamēr transportiera centrs nonāk precizi uz līnijas *BC*. Nolasījums no transportiera dod meklējamā leņķa lielumu grados. Ja leņķa mala *BC* nav pietiekami gara un nav iespējams iedaļas nolasīt no transportiera, tad šī mala pēc vajadzības jāpagarina. Dotā gadījumā leņķis ir 140°30′ liels.

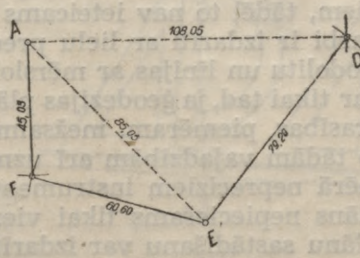


100. zīm.

118. Plānu sastādīšana pēc garummēra uzmērīšanas datiem

Vispirms jāizvēlas attiecīgam plānam vajadzīgais papīra lielums. Papīra izmēru noteikšanai katrā atsevišķā gadījumā rūpīgi jāizkalkulē uzmērījumā iegūtie skaitļi un uzmērītā zemes gabala aptuvens veids. Kad tas izdarīts un arī iekalkulēts, kādā vietā atradīsies pirmais trijstūris vai maģistrale, tad var sākt sastādīt plānu. Pieņemsim, ka pēc 101. zīmējumā parādītā zemes gabala konstruēšanai ierakstītiem skaitļiem jāsastāda plāns.

Pieņemsim, ka esam izkalkulējuši, ka $\triangle AEF$ malai *AE* jāatrodas uz plāna papīra norādītajā vietā — starp punktiem *A* un *E*. Pēc mēroga uzliekam *AE* līnijas garumu 85,05 m. Tad pēc līnijas $AF = 45{,}03$ m un $EF = 60{,}60$ m garumiem ar adatu cirkuli dotajā mērogā konstruējam $\triangle FAE$ virsotni *F*.



101. zīm.

Savienojot attiecīgās virsotnes, esam dabūjuši plānā poligona malas *AF* un *EF*. Līdzīgā veidā, pēc dotajiem garumiem konstruējot attiecīgus trijstūrus, mēs varam sastādīt visa uzmērītā zemes gabala plānu.

119. Plānu sastādīšana pēc ekera un garummēra uzmērīšanas datiem

Šajā gadījumā plānam nepieciešamā papīra izmērus noteikt ir ļoti viegli. Viena uzmērīšanas ass abscisa būs abrisā uzrādīta visā tās garumā, bet otra ass būs no pirmās ass ņemto divu garāko pretējo stateņu suma.

Lai uz izvēlētā papīra varētu sastādīt plānu ar vajadzīgiem uzrakstiem, ar apdomu izvēlamies YY_1 ass virzienu (sk. 94. zīmējumu) un nullpunktu *a* un sākam plāna konstruēšanas darbus. Ieteicams uz YY_1 ass vispirms uzlikt visu tās izmērīto garumu un pēc tam tikai atlikt attiecīgos stateņu attālumus. Poligona virsotnes *A* noteikšanai no nullpunkta uzstādām stateni un atliekam tā garumu. Tāpat arī noteicam virsotņu *B* un *K* vietas. Uz punkta *c* stateņa mums ir atzīmēta arī apstrādājamā lauka robeža, kuru tūlīt atzīmējam. Savienojot attiecīgos punktus, dabūjam plānā poligona attēlu.

Kontrolei noder izmērītie poligona malu garumi *AB*, *BC*, *AK* utt., kuriem jāsakrīt pieļaujamās kļūdu robežās ar plānā konstruētiem *AB*, *BC* utt. Tādā pašā veidā, ievērojot maksimalo noteiktību un rūpību, sastādāms visa uzmērītā zemes gabala plāns.

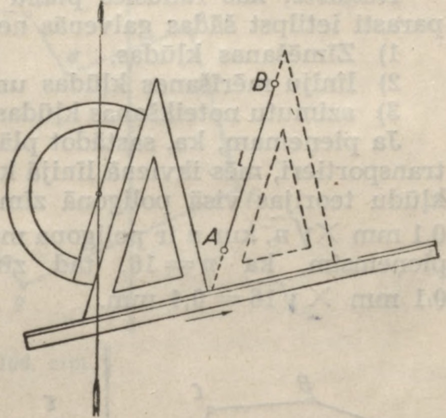
120. Plānu sastādīšana ar transportieri

Šis plānu sastādīšanas paņēmiens ir viens no visneprecizākiem, tādēļ to nav ieteicams lietot gadījumos, kad uzmērīšanas darbi ir izdarīti ar lielu precizitati, piem., kad leņķi mērīti ar teodolitu un līnijas ar mērsloksni. Plānu sastādīt ar transportieri var tikai tad, ja ģeodezijas plānam neuzstāda augstas noteiktības prasības, piemēram, mežsaimniecībā cirsmu ierīkošanai u. tml., jo tādām vajadzībām arī uzmērīšanas darbi tiek izdarīti ar samērā nepreciziem instrumentiem — busoli vai goniometru un plāns nepieciešams tikai vienreizējai saimnieciskai vajadzībai. Plānu sastādīšanu var izdarīt vai nu pēc rumbiem, vai azimutiem. Uzliekot uz plāna poligona malas pēc rumbiem vai azimutiem, mēs tūlīt pēc iekšējiem leņķiem (ja tādi izmērīti) varam pārbaudīt darba pareizību. Tas nebūtu iespējams, ja poligons būtu uz papīra attēlots tikai pēc iekšējiem leņķiem un nebūtu aprēķināti azimuti vai rumbi.

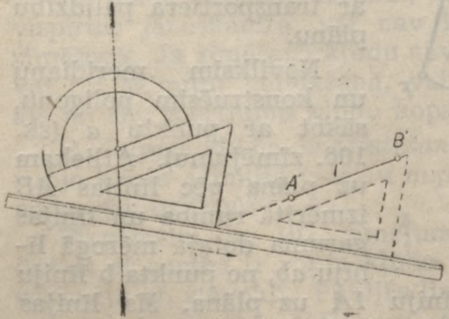
121. Rumbu konstruēšana

Rumbu konstruēšanai praktiskā darbā ieteicams lietot šādus paņēmienus:

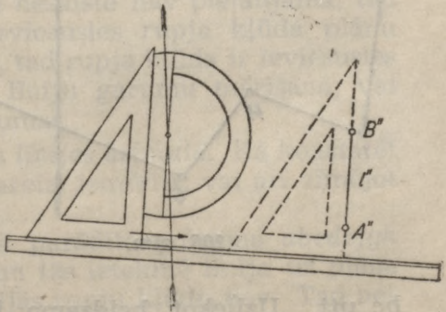
1) No 20° līdz 45° rumbu attēlo, pieliekot transportiera malai trijstūra hipotenuzu (sk. 102. zīmējumu), bet īsākai katetei līnealu. Neizkustinot līnealu, trijstūri bīda gar līneala malu, kamēr hipotenuza šķērso punktu A, caur kuru jāiet uzliekamai līnijai. Novelkot gar hipotenuzu līniju un atliekot uz tās no dotā punkta A līnijas garumu l dotajā mērogā, mēs esam noteikuši līnijas AB atrašanās vietu uz plāna.



102. zīm.



103. zīm.



104. zīm.

2) Ja rumba lielums ir no 45° — 90°, tad transportierim piebīda trijstūra hipotenuzu un līnealu garākai katetei (sk. 103. zīmējumu). Bīdot trijstūri gar līneala malu, kamēr hipotenuza krusto doto punktu A^1 un atliekot uz novilktās līnijas dotā mērogā garumu l^1, mēs dabūjām uz plāna līnijas A^1B^1 attēlu.

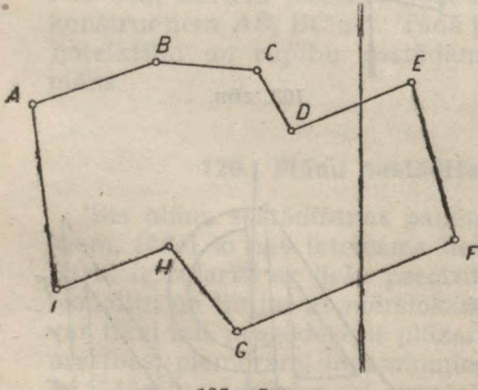
3) Ja rumba lielums ir no 0° līdz 20°, tad transportierim pieliek trijstūra garāko kateti un līnealu īsākai katetei (sk. 104. zīmējumu).

122. Nesaiste plānu sastādīšanā ar transportieri

Nesaistē, kas radusies plānu sastādīšanā ar transportieri, parasti ietilpst šādas galvenās nenovēršamo kļūdu grupas:

1) Zīmēšanas kļūdas,
2) līniju mērīšanas kļūdas un
3) azimutu noteikšanas kļūdas.

Ja pieņemam, ka, sastādot plānu pēc rumbiem ar vienkāršu transportieri, mēs ikvienā līnijā kļūdāmies par 0,1 mm, tad pēc kļūdu teorijas visā poligonā zīmēšanas kļūda būs vienlīdzīga 0,1 mm $\times \sqrt{n}$, kur n ir poligona malu skaits. Ja mēs, piemēram, pieņemsim, ka $n = 16$, tad zīmēšanas kļūdas nesaiste ir 0,1 mm $\times \sqrt{16} = 0{,}4$ mm.



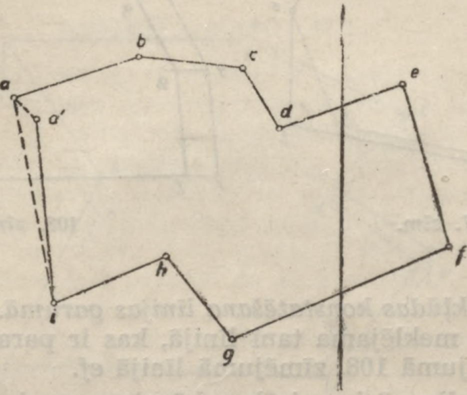
105. zīm.

Pieņemsim, ka 105. zīmējumā parādītais poligons *ABCDEFGH* ir uzmērīts bez kļūdām, un mēs pēc rumbiem un līniju garumiem sastādīsim ar transportiera palīdzību plānu.

Novilksim meridianu un konstruēsim poligonu, sākot ar punktu *a* (sk. 106. zīmējumu). Atliekam uz plāna pēc līnijas *AB* izmērītā rumba un līnijas garuma dotajā mērogā līniju *ab*, no punkta *b* līniju *bc* utt. Uzliekot beidzamo līniju *IA* uz plāna, šīs līnijas garumam un virzienam vajadzētu iekļauties starp punktiem *i* un *a*. Tomēr nenovēršamo zīmēšanas kļūdu ietekmē beidzamajā zīmējumā līnija IA nekad nesakrīt ar ia, bet rodas lielāka vai mazāka novirze no sākuma punkta a. Līnija IA ieņem citu virzienu un dažkārt arī citu (dotajā piemērā) attālumu ia^1, un mēs dabūjam nenosietu poligonu ar absoluto nesaisti aa^1.

Relativā nesaiste $f = \frac{aa^1}{ab + bc + cd + \dots ia} = \frac{aa^1}{L}$.

Ja relativā nesaiste nepārsniedz pieļaujamās nesaistes robežas, tad var sākt nesaistes nosiešanu.



106. zīm.

Rupjo kļūdu noteikšana

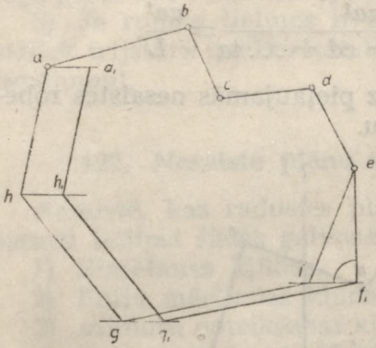
Ja, plānu sastādot, izrādās, ka nesaiste nav pieļaujama, tad vispirms jānoskaidro, vai nav ieviesusies rupja kļūda plānu zīmēšanā. Ja zīmēšanā kļūdu nav, tad rupja kļūda ir ieviesusies vai nu azimutu noteikšanā, vai līniju garumu mērīšanā, vai arī no abu mērījumu kļūdu kopsumas.

1) *Rupjas kļūdas konstatēšana līnijas azimutā.* Kā konstatēt rupjo kļūdu azimutā (vai nu nepareizi izmērīts, vai arī zīmējot nepareizi uzlikts)?

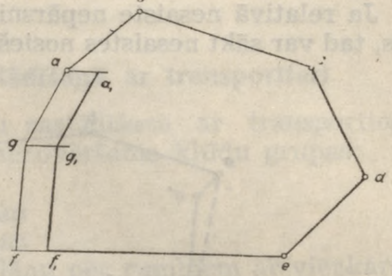
Pieņemsim, ka 107. zīmējumā parādītā poligona $abcdefgh$ līnijas ef rumbā ir rupja kļūda un tās ietekmē līnija uz plāna uzzīmēta ef_1 stāvoklī. Pārējās līnijās rupju kļūdu nav. Tad nenosietais poligons attēlosies $abcdef_1g_1h_1a_1$ ar nesaistes lielumu aa_1.

Rupja kļūda būs tajā līnijas azimutā, kura līnija būs aptuveni jeb tieši stateniska nesaistei aa_1.

Pēc zīmējuma mēs redzam, ka nesaistei stateniska ir līnija ef_1 un rupja kļūda ir šīs līnijas azimutā.



107. *zīm.*



108. *zīm.*

2) *Rupjas kļūdas konstatēšana līnijas garumā.* Rupja kļūda līniju garumā meklējama tanī līnijā, kas ir paralela nesaistei. Konkretā gadījumā 108. zīmējumā līnijā ef.

Ja vienā poligonā ir vairāk nekā viena rupja kļūda, tad to noteikšana pēc apskatītām pazīmēm nav iespējama.

123. Nesaistes nosiešana

Sastādot plānu pēc rumbiem vai azimutiem ar transportiera palīdzību, pat visrūpīgākā darba rezultatā radīsies vērā ņemama nesaiste. Piemēram, 109. zīmējumā parādīts poligons, kura plānu sastādot ir radusies absoluta nesaiste ,kas vienlīdzīga aa^1, un poligons izveidojies ar virsotnēm $a, b^1, c^1, \dots h^1$ un a^1. Relativā nesaiste $f = \frac{aa'}{L}$ ir pieļaujama. Lai nesaisti nosietu, punktus a un a^1 savieno ar taisni un caur visām poligona virsotnēm novelk nesaistei paralelas taisnes. Tā kā absolutā nesaiste aa^1 ir radusies uz visa poligona perimetra L, t. i., uz $L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots l_n$, tad nesaiste uz vienas garuma mēra vienības ir $\frac{aa'}{L}$;

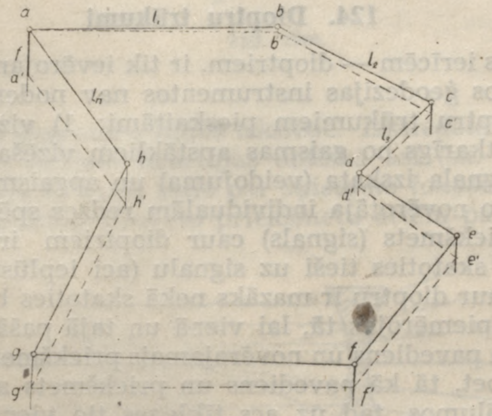
tad $bb' = \frac{aa'}{L} \cdot l_1;$

$$cc' = \frac{aa'}{L} \cdot (l_1 + l_2);$$

$$dd' = \frac{aa'}{L} \cdot (l_1 + l_2 + l_3);$$

. . . .

$$aa' = \frac{aa'}{L} \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + \ldots l_n) = aa'.$$



109. zīm.

Aprēķinātos nesaistes nosiešanas lielumus atliek uz attiecīgām paralelēm. Dabūtos punktus *a*, *b*, *c* utt., *h* un *a* savienojot, dabūjam uzmērītā poligona plānu, kas sastādīts dotajā mērogā.

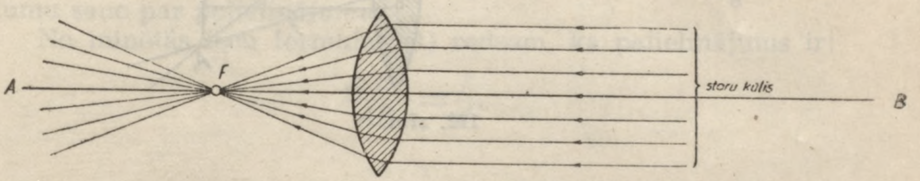
X. TĀLSKATI

124. Dioptru trūkumi

Vizēšanas ierīcēm — dioptriem, ir tik ievērojami trūkumi, ka tie precizākos ģeodezijas instrumentos nav noderīgi. Ievērojamākiem dioptru trūkumiem pieskaitāmi: 1) vizēšanas kļūdas lielums ir atkarīgs no gaismas apstākļiem vizēšanas laikā, novērojamā signala izskata (veidojuma) un apgaismojuma un ļoti lielā mērā no novērotāja individualām redzes spējām; 2) novērojamais priekšmets (signals) caur dioptriem ir vājāk saredzams nekā skatoties tieši uz signalu (acī ieplūstošais gaismas daudzums caur dioptru ir mazāks nekā skatoties brīvi) un 3) vizējot acij jāpiemērojas tā, lai vienā un tajā pašā laikā priekšmeta dioptra pavediens un novērojamais priekšmets būtu skaidri saredzami, bet, tā kā pavediens un priekšmets atrodas no acs dažādos attālumos, tad uz acs tīklenes tie vienā laikā nedod vienādi skaidrus attēlus. Šo dioptru trūkumu ietekmē nav iespējams ar dioptriem vizēt uz ļoti tāliem priekšmetiem un vispār vizēšanā nav iespējams sasniegt lielu noteiktību. Tādēļ augstvērtīgos ģeodezijas instrumentos dioptru vietā lieto tālskatus. Lai saprastu tālskata uzbūves principialos pamatus, apskatīsim acs, redzes un optikas pamatojumus.

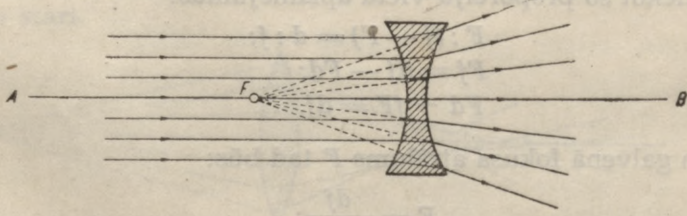
125. Optikas pamati

Ir zināms, ka gaismas stari, pārejot no vienas (optikas) vides otrā, uz to robežas maina virzienu, tas ir, lūst, turklāt lauztais stars atrodas staru krišanas plaknē. Pamatojoties uz šo atzinumu, ir konstruēti optiskie stikli — lēcas, ar divām liektām virsām vai vienu liektu virsu un otru plakni. Lēcu virsas ir noslīpētas, un liektajai virsai parasti ir lodes forma, tādēļ lēcu virsas sauc par *sferiskām* virsām. Taisni, kas iet caur stikla sferisko virsu centriem, sauc par *galveno optisko asi.* 110. zīmējumā parādīta optiskā ass ar līniju *AB.* Optiskai asij paralelus staru kūļus izliektā lēca savāc vienā punktā *F*, kuru sauc par *galveno fokusu.*



110. zīm.

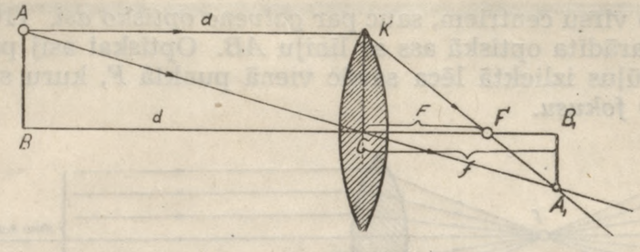
Ieliektā lēca staru kūļus izkliedē. Izkliedēto staru iedomātie atpakaļējie virzieni krustojas optiskā asī (sk. 111. zīmējumu) vienā punktā *F*, kuru sauc par *šķietamo fokusu.* Šīs lēcu staru laušanas īpašības izmanto priekšmetu attēlu palielināšanai.



111. zīm.

126. Lēcas formula

Pieņemsim, ka 112. zīmējumā punkts A atrodas no lēcas optiskā centra C attālumā $d = BC = AK$ un no galvenās optiskās ass attālumā $AB = CK$. Novelkot galvenai optiskai asij paralelu staru, kas iet caur punktu A, t. i., AK, un staru, kas sakrīt ar blakus asi, t. i., ACA_1, atradīsim punkta A attēlu A_1, kas atrodas blakus ass un lauztā stara KA_1 krustojuma punktā A_1. Attēla A_1 attālumu līdz lēcas centram (galvenās ass virzienā CB_1) apzīmēsim ar f. Galvenā fokusa atstatumu līdz lēcas centram C apzīmēsim ar F. Tad $B_1F^1 = f - F$.



112. zīm.

Pēc $\triangle ACB$ un $\triangle A_1CB_1$ varam rakstīt, ka

$$AB : A_1B_1 = CB : CB_1. \quad (1)$$

No līdzīgiem $\triangle A_1F^1B_1$ un CF^1K izriet, ka

$$KC : A_1B_1 = CF^1 : B_1F^1. \quad (2)$$

Tā kā $KC = AB$, tad: $CF^1 : B_1F^1 = CB : CB_1$.

Ieliekot šo proporciju vietā apzīmējumus:

$$F : (f - F) = d : f; \quad (3)$$

$$Ff = df - Fd; \quad (4)$$

$$Fd + fF = df. \quad (5)$$

Un galvenā fokusa attālums F tad būs:

$$F = \frac{df}{d+f}.$$

Izdalot (5) formulas locekļus ar reizinājumu dfF, dabūjam lēcas formulu:

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

Ieliektās lēcas formula ir

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F}.$$

127. Attēla palielinājums

Ja mēs iedomājamies, ka 112. zīmējumā AB ir priekšmets, tad atgrieznis A_1B_1 ir priekšmeta attēls.

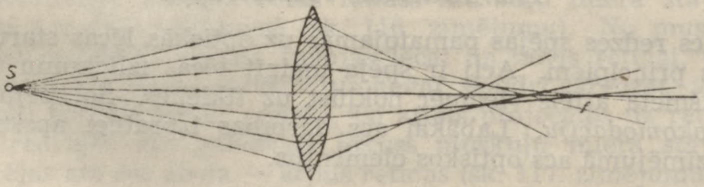
Attēla lineārā lieluma attiecību pret priekšmeta lineāro lielumu sauc par *palielinājumu.*

No minētās lēcu formulas (1) redzam, ka palielinājums ir:

$$\frac{A_1B_1}{AB}=\frac{f}{d}.$$

128. Jēdziens par sferisko un chromatisko aberaciju

Ir novērots (sevišķi stipri liektām) lēcām, ka stari, kas iziet no viena punkta, pēc laušanas lēcā precizi vienā punktā vairs nesaiet. Šo parādību sauc par *sferisko aberaciju.* Piemēram, ja 113. zīmējumā mēs iedomātos, ka stari iziet no punkta S, tad tie pēc iziešanas caur lēcu krustojas dažādos punktos, turklāt tā, ka stari, kas krīt uz lēcas malām, krustojas tuvāk lēcai nekā centralie stari.



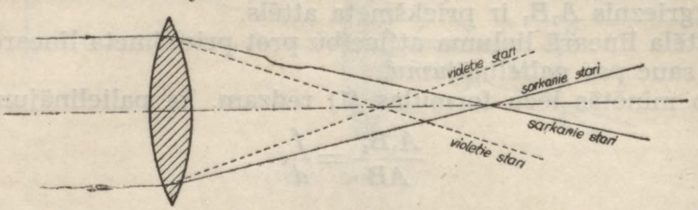
113. *zīm.*

Ja uz lēcu krīt plašs staru kūlis, tad sferiskās aberacijas ietekmē attēls iznāk izplūdis. Šīs aberacijas samazināšanai optiskos instrumentos lieto diafragmas. Diafragma aizsedz lēcas malas tā, lai caur lēcu ietu tikai centralie stari. Līdz ar to caur lēcu iziet mazāk gaismas un attēls iznāk tumšāks.

Chromatiskā aberacija

Kā zināms, gaisma sastāv no daudziem krāsainiem stariem. Optiskai lēcai ir īpašība violetos starus lauzt stiprāk par pārējiem, un tie salasās vienā punktā — vistuvāk lēcai. Sarkanos starus lēca lauž vājāk, un tie salasās vienā punktā — vistālāk no lēcas.

Pārējie stari salasās pēc kārtas starp iepriekš minētiem diviem punktiem dažādi (sk. 114. zīmējumu). Šo parādību sauc par *chromatisko aberaciju.*



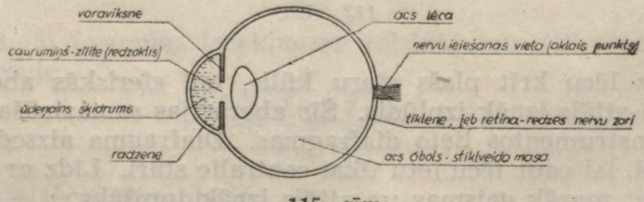
114. zīm.

Chromatiskās aberacijas ietekmē attēla malās rodas varavīksnaina nokrāsa.

Chromatisko aberaciju novērš, sakopojot vienā optiskā instrumentā vairākas piemēroti izliektas un ieliektas lēcas, kas pagatavotas no dažāda stikla ar dažādiem staru laušanas koeficientiem.

129. Kritiskais redzes leņķis

Acs redzes spējas pamatojamas uz optiskās lēcas staru laušanas principiem. Acij ir spēja mainīt lēcas izliekumu tā, ka priekšmeta attēls vienmēr nokļūst uz tīklenes. Šo spēju sauc par *okomodaciju.* Labākai acs darbības izpratnei apskatīsim 115. zīmējumā acs optiskos elementus.

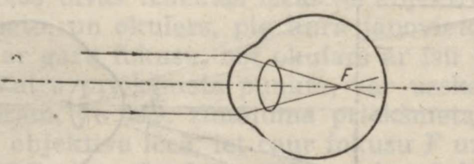


115. zīm.

Lai acs saredzētu priekšmetu, nepieciešams, lai tā attēls atrastos uz tīklenes. Attālumu, kādā acs redz priekšmetu acs muskuļu *miera* stāvoklī, sauc par acs *tāluma punktu. Tuvuma punkts* ir attālums, no kura acs redz priekšmetu vislielākā muskuļu sasprindzinājumā.

Vislabākais redzes attālums ir tāds priekšmeta attālums no acs, kad bez acs muskuļu piepūles dažādu sīkumu saskatāmība ir vislabākā. Atkarībā no vislabākā redzes attāluma lieluma acis iedala trīs pamatgrupās: normalās, tuvredzīgās un tālredzīgās.

Normalā acs redz tālus priekšmetus bez acs muskuļu piepūles. Tās tāluma punkts atrodas bezgalībā. Priekšmets, kas tuvojas acij no bezgalības, acij saskatāms, arvien vairāk sasprindzinot muskuļus. Normalās acs tuvuma punkts atrodas 10 cm attālumā, bet labākais redzes atstatums ir 25 cm.



116. zīm.

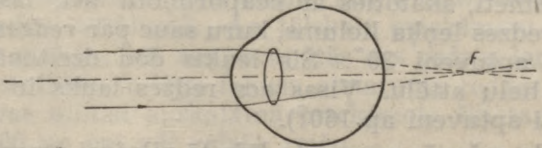
Acs muskuļu miera stāvoklī normalās acs galvenais fokuss atrodas uz retinas.

Tuvredzīgās acs galvenais fokuss muskuļu miera stāvoklī atrodas acs ābola iekšpusē (sk. 116. zīmējumu). No muskuļu piepūles galvenais fokuss tuvojas lēcai un nevis retinai, tādēļ tuvredzīgā acs tālus priekšmetus nevar skaidri saredzēt, jo acs muskuļu piepūle nevar panākt, lai attēls projecētos uz retinas.

Tālredzīgās acs galvenais fokuss muskuļu miera stāvoklī projecējas aiz acs ābola — ārpus retinas (sk. 117. zīmējumu).

Tālredzīgai acij nav tāluma punkta. Vislabākais redzes atstatums arvien ir lielāks par normalo.

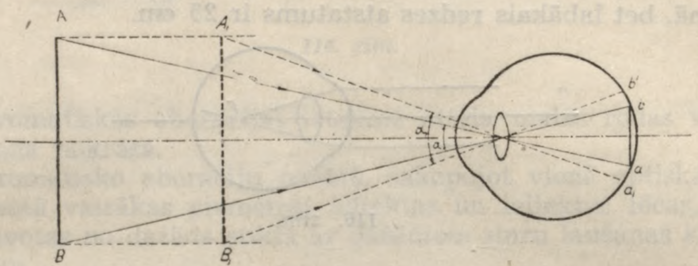
Lai acs muskuļa miera stāvokļa laikā tuv- un tālredzīgo acu fokusus dabūtu uz retinas, acīm jāpielaiko attiecīgās lēcas.



117. zīm.

130. Skaidras redzes noteikumi

Ja apskatāmais priekšmets ir liels, tā apskatīšana ar aci noris pa atsevišķām priekšmeta daļām. Tas notiek tāpēc, ka uz retinas atrodas neliels laukums (to sauc par *dzelteno plankumu)*, kas ir gaismas visjutīgākā acs daļa, un tādēļ aci pagriež tā, lai acs optiskā ass būtu vērsta pret apskatāmā priekšmeta daļu. Tādēļ pirmais skaidras redzes noteikums ir priekšmeta attēla dabūšana dzeltenā plankumā.



118. zīm.

Otrs skaidras redzes noteikums ir, lai apgaismojums būtu piemērots priekšmeta apskatīšanai.

Trešais skaidras redzes noteikums ir, lai priekšmeta redzes leņķis nebūtu mazāks par robežleņķi.

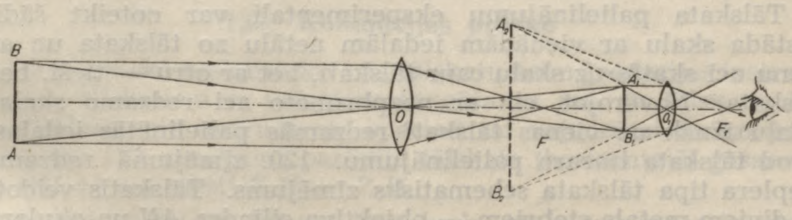
Par *redzes leņķi* sauc leņķi, ko veido divi stari, kas iet no priekšmeta galiem uz acs optisko centru. 118. zīmējumā attēlotais $\sphericalangle \alpha$ ir priekšmeta AB redzes leņķis.

Ja iedomāsimies, ka šis pats priekšmets ir novietots tuvāk acij stāvoklī A^1B^1, tad redzes leņķis būs lielāks, t. i., $\sphericalangle \alpha'$. Varam teikt, ka jo acij tuvāk ir kāds priekšmets, jo redzes leņķis ir lielāks un lielāks ir arī priekšmeta attēls. Tādēļ arī tālie priekšmeti, skatoties ar neapbruņotu aci, izskatās mazi. Mazākais redzes leņķa lielums, kuru sauc par *redzes robežleņķi*, ir $26''$ vai aptuveni $30''$. Šis leņķis dod dzeltenā plankumā 0,002 mm lielu attēlu. Visas acs redzes lauks ir mazāks par 180° (vidēji aptuveni ap 160°).

No attēla rašanās momenta līdz tā pilnīgai izprašanai galvas smadzenēs paiet zināms laika sprīdis — ap 0,1 sek., tādēļ tādas gaismas staru parādības, kas seko viena otrai ar īsākiem starpbrīžiem nekā 0,1 sek., acs tver kā nepārtrauktas parādības.

131. Keplera tālskatis

Ļoti tālu, kaut arī lielu priekšmetu redzes leņķi ir ļoti mazi. Tādēļ tālu priekšmetu novērošanai lieto teleskopus jeb tālskatus, ar kuru palīdzību neapbruņotās acs redzes robežleņķi vairākkārt palielina. Ģeodezijas instrumentos iebūvē tādus tālskatus, kas daudzu gadu praksē ir izrādījušies par vislabāk piemērotiem, tā saucamos apgriezta attēla jeb astronomiskos tālskatus. Tādam tālskata tipam piederīgs arī Keplera tālskatis. To izgudrojis 1611. gadā astronoms Keplers. Keplera tālskatī ir iekonstruētas divas izliektas lēcas — objektivs, kas vēršams pret priekšmetu, un okulars, pie kura jānovieto acs. Tālskata objektivs ir ar garu fokusu, bet okulars ar īsu fokusu. Starus, kas nāk no katra priekšmeta punkta, var uzskatīt par paraleliem. Piemēram, no 119. zīmējuma priekšmeta B punkta nāk stars un lūst objektiva lēcā, iet caur fokusu F uz savas optiskās blakus ass BOB_1, kas atrodas gandrīz galvenā fokusa attālumā. Tāpat projecējas arī stars, kas nāk no priekšmeta punkta A.



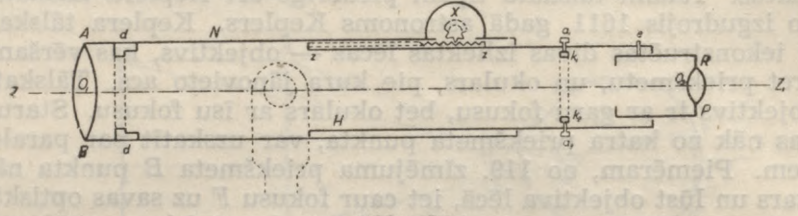
119. zīm.

Tādējādi dabūjam īstu, stipri samazinātu, apgrieztu priekšmeta attēlu A_1B_1. Šo īsto attēlu skata caur okularu, ko novieto tādā attālumā, lai A_1B_1 atrastos starp okularu un tā galveno fokusu, bet okulara veidotais šķietamais attēls A_2B_2 atrastos no acs labākās redzes attālumā. Ar tālskati priekšmetu apskata redzes leņķī $A_2O_1B_2$, bet neapbruņotās acs redzes leņķis ir AOB. Atkarībā no tālskatu lēcu fokusa atstatuma redzes leņķa palielinājums var atbilst apskatāmā priekšmeta šķietamam tuvinājumam 1000 un pat vēl vairāk reižu.

Var atrast, ka tālskatis palielina apmēram tik reižu, cik reižu tā objektiva fokusa attālums ir lielāks par okulara fokusa attālumu. Ja objektiva fokusa attālumu apzīmēsim ar F_1 un okulara fokusa attālumu ar F_2, tad tālskata palielinājums, ko apzīmēsim ar p,

būs: $p = \frac{F_1}{F_2}$.

Tātad, lai dabūtu stipru palielinājumu, objektivam jābūt ar lielu, bet okularam ar mazu fokusa attālumu.



120. zīm.

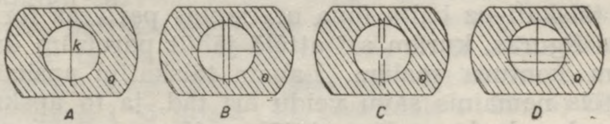
Tālskata palielinājumu eksperimentali var noteikt šādi: nostāda skalu ar vienādām iedaļām netālu no tālskata un ar vienu aci skatās uz skalu caur tālskati, bet ar otru — tieši, bez tālskata. Novērojot, cik ar neapbruņoto aci redzamo skalas iedaļu iznāk uz vienas tālskatī redzamās palielinātās iedaļas, atrod tālskata līnearo palielinājumu. 120. zīmējumā redzams Keplera tipa tālskata schematisks zīmējums. Tālskatis veidots no diviem metala stobriem — objektiva cilindra *AN* un okulara stobra *HH*. Pēdējais ierīkots tā, lai to varētu iebīdīt un izbīdīt no objektiva stobra. Objektiva cilindra galā iestiprināta divpusīgi izliekta lēca O_1, bet okulara galā — okulara lēca O_2. Līniju ZZ_1, kas savieno objektiva un okulara centrus, sauc par *tālskata optisko asi.* Vizuras līnijas noteikšanai okulara stobrā ierīkota diafragma ar pavedieniem k_1k_2, kas krustojas taisnā leņķī (horizontali un vertikali). Iedomāto līniju, kas savieno pavedienu krustpunktu ar objektiva centru, sauc par *tālskata vizuras asi* un pašu stobra asi sauc par *tālskata ģeometrisko asi.* Pavediena krustiņa labošanai pierīkotas skrūvītes a_1a_2 un stateniski šim pārim tāds pats (diametrali pretēji novietots) skrūvīšu pāris. Okulara stobra vienmērīgai pārbīdīšanai objektiva stobrā iekārtota ierīce, kuru sauc par *kremoljeru X* un *zz.*

Okulara pārbīdīšanas ierīce — vītnes vai slīpa sprauga — *e.* Lai tālskata stobrs neatspoguļotu, tad tā iekšiene ir melnināta.

132. Tālskata tīkliņš

Tālskatī ierīkoto pavedienu krustiņu sauc arī par *tālskata tīkliņu*. Pavedienu tīkliņš parasti sastāv no īpatnējas formas metala plāksnītes — diafragmas, kurā iestiprināti savstarpēji perpendikulari, tievi pavedieni — zirnekļa stīdziņas. Dažos instrumentos diafragmā iestiprināta stikla plāksnīte, kurā iegravētas divas savstarpēji perpendikularas, ļoti tievas līnijas (pavedieni).

121. zīmējumā parādīti schematiski tālskata tīkliņu paraugi.



121. zīm.

133. Koļimacijas plakne

Bez iepriekš uzskaitītām trīs tālskatu asīm ģeodezijas instrumentos tālskatiem ir vēl tālskata gāšanas ass, jo tālskatis ir piestiprināts pie instrumenta speciali tai vajadzībai ierīkotiem balstiem. 122. zīmējumā parādīta tālskata (horizontalā) gāšanas ass *HH* un ass balsti Z_1H un Z_2H.

Atcerēsimies, ka, lai noteiktu leņķu malu horizontalās projekcijas, tad vizuras līnijai ir jāatrodas uz kolimacijas plaknes. Tālskata vizuras ass atradīsies uz kolimacijas plaknes tad, ja vizēšanas ass būs perpendikulara pret horizontalo asi, pretējā gadījumā vizēšanas ass, griežoties ap tālskata horizontalo asi, veidos nevis plakni, bet konisku virsu.

134. Tālskata sagatavošana lietošanai

Labam ģeodezijas tālskatim jāpilda šādas prasības: 1) Tālskatim jādod pietiekami gaišs, asi zīmēts un pareizs, nedeformēts attēls. 2) Tālskata tīkliņam jābūt labi saskatāmam, tā pavedieniem jābūt pietiekami tumšiem, bet tomēr smalkiem (tieviem), lai neaizsegtu par daudz lielu novērojamā priekšmeta daļu. 3) Tālskata mechanismam — kremoljerai (fokusējamās lēcas pārbīdītājam), okulara iestādīšanas ierīcei utt. jābūt kārtībā un jādarbojas viegli un vienmērīgi. 4) Pie tālskata jābūt klāt objektiva aizsargvāciņam, saules staru blendei, tāpat adatai vai skrūvgriezim (atkarībā no izlabojamo skrūvju veida) tīkliņu skrūvju griešanai (tīkliņa labošanas vajadzībām).

135. Tālskata pārbaudes

1) Prasību, vai attēls ir gaišs un asi zīmēts, pārbauda, novērojot ar tālskati uz balta fona uzzīmētas pareizas formas ģeometriskas figuras, kurām arī attēlā jābūt pareizām un ar bezkrāsainām konturu malām. Labam tālskatim apskatāmās figuras attēls nemainīs savu veidu arī tad, ja to apskatīsim ar tālskata redzes lauka malām. Attēla gaišums un asums var būt nepietiekošs vienkārši tāpēc, ka stikli ir netīri. Ja stiklu notīrīšana nedod apmierinoši skaidrus attēlus, tad defekts meklējams stiklu optiskās īpašībās, un tās labot var vienīgi speciālisti īpašās darbnīcās.

Tālskata redzes lauka centralā daļā attēls mēdz būt vispareizākais, tādēļ visos novērojumos jācenšas lietot šo centralo daļu. Tā strādājot, arī ar vāju tālskati var iegūt apmierinošus mērīšanas rezultatus.

2) Tīkliņa labu saskatāmību panāk, noregulējot novērotāja redzei atbilstošā attālumā okularu, kādam nolūkam okulariem ir iekārtotas vai nu jau minētās vītnes, vai slīpa sprauga ar skrūvīti, vai līdzīgi ierīkojumi. Ja tālskata mechanismi nedarbojas apmierinoši, iemesls var būt iekļuvušie putekļi, sabiezējusi eļļa vai līdzīgi defekti, ko var novērst pats novērotājs. Ja tas nelīdz, nepieciešama izlabošana darbnīcā.

3) Trešās prasības pārbaude saprotama no uzstādītās prasības.

4) Gandrīz vai bez izņēmuma objektiva lēcas ir salīmētas no vairākām kārtām. Līmviela saules staru un spilgtas gaismas ietekmē ķimiski mainās un zaudē caurspīdību, dzeltē vai atlīmējas, un tamlīdzīgas izmaiņas var padarīt objektivu jūtami sliktāku, pat nelietojamu; tādēļ arī pastāv prasība, lai objektiva aizsargvāciņš būtu pastāvīgi pie rokas un normali objektivu atsedz tikai tiešā novērošanas laikā, tādējādi to labāk pasargot arī no putekļiem vai nevēlamas pieskaršanās. Saules staru blendi lieto, ja novērojamais signals atrodas tuvu virzienam,

kādā stāv saule. Blendei neesot ir iespējams, ka tālskatī iespīdošie saules stari traucēs novērošanu; reti, bet tomēr ir iespējams, ka reflektētie stari var bojāt novērotāja redzi.

Runājot par tālskatiem, lieto vairākus optikas techniskus nosaukumus. Tie būtu: 1) objektiva brīvais caurmērs, t. i., tā objektiva lēcas caurmēra daļa, kas nav aizsegta no metala ietveres; 2) regulējami vai nekustīgi iestiprināts objektivs. Parasti objektiva ietvere nekustīgi ieskrūvēta tālskata korpusā. Zināmos gadījumos (piem., dažiem nivelieriem) objektivs turas tālskata korpusā uz 3 vai 4 regulēšanas skrūvītēm, kas atļauj to pārvietot nedaudz sāniski, tādējādi panākot objektiva optiskā centra pilnīgu sakrišanu ar tālskata korpusa ģeometrisko asi; 3) objektiva *gaismas spēja* vai attiecība starp objektiva brīvo caurmēru un tā fokusa attālumu. To izteic daļas veidā 1 : 9,5; 1 : 12. Instrumentos lietoto tālskatu objektivu gaismas spēja parasti ir starp 1 : 5 līdz 1 : 12, visbiežāk 1 : 10; 4) tālskata redzes lauka leņķis, tas ir, apvāršņa daļa izteikta grados, kādu var pārskatīt, nemainot tālskata stāvokli. Instrumentu tālskatiem redzes lauks mēdz būt no 1°—2°; 5) tīkliņu *brīvais caurmērs*, reizē ar ko okulara redzes lauka caurmērs parasti ir 5—8 mm. Šo caurmēru izvēlas ne lielāku kā divas trešdaļas no okulara fokusa garuma, lai to caur okularu varētu ērti saredzēt līdz pat malām; 6) tālskata *palielinājums reizēs*, ko varētu raksturot kā attiecību starp leņķi, kādā novērotāja acs redz priekšmeta šķietamo attēlu tālskatā un leņķi, kādā priekšmets ir skatāms dabā. Tā kā novērošanas leņka lielums izšķirīgi noteic saskatāmību, tad var secināt, ka tālskatis, kas palielina 20 reižu, arī 20 reižu pavairos saskatāmības iespējas. Matematiska optika norāda vairākus ceļus, kā aprēķināt tālskata palielinājumu. Praktiski ar pietiekamu noteiktību palielinājumu var aprēķināt, dalot objektiva fokusa garumu ar okulara fokusa garumu: $v = \frac{f}{F}$. Ja šo datu nav, palielinājumu noteic, novērojot netālu — ap 10 m no instrumenta — nostādītu latu, un tad tieši saskaita, cik saredzamu dalījumu uz latas pārklāj viens tālskatī redzamais dalījuma attēls. Iegūtais skaits dos diezgan pareizu palielinājuma skaitu reizēs; 7) tālskata *izšķiršanas spēja* izteikta sekundēs. Tā kā acs droši izšķir konturas, kas skatītas normalā redzes attālumā (25 cm) un aizņem leņķi 60″, ļoti labas redzes gadījumā pat 20—30″, tad tālskatī saskatīs taisni par palielinājuma reižu skaitu šaurākus sīkumus 60″ : *V*, kur *V* ir tālskata palielinājums reizēs; 8) tīkliņa diegu caurmērs — absolutais —

izteikts mikronos un leņķiskais izteikts sekundēs, par cik ir jāpagriež tālskatis, lai tīkliņa diega aizsegtais attēla konturas sīkums no jauna būtu redzams.

136. Paralaksa novēršana

Ja tālskata tīkliņa plakne nesakrīt ar attēla plakni, tad rodas nevēlama parādība, ko sauc par paralaksu. Tālskatī paralakss ir tad, ja, acs stāvoklim izmainoties (uz augšu, uz leju vai sāniem) okulara priekšā, mainās arī pavedienu stāvoklis attiecībā pret labā asumā nostādīta priekšmeta attēlu. Paralaksa novēršanu izdara, noregulējot okularu tādā attālumā no tālskata tīkliņa, kas ir atbilstošs novērotāja redzei. Par okulara nostādīšanu tā, lai attēls sakristu ar tīkliņa plakni, jāsaka, ka, ja kāds novērotājs to ir piemērojis savai redzei, tad viņš ar tālskati var strādāt pie dažādiem vizēšanas attālumiem, nemainot vairāk tīkliņa un okulara savstarpējo attālumu. Bet, ja ar to pašu instrumentu strādā cits novērotājs ar citu acs redzes spēju, tad pirms vizēšanas viņam jāpārbauda varbūtējais paralakss.

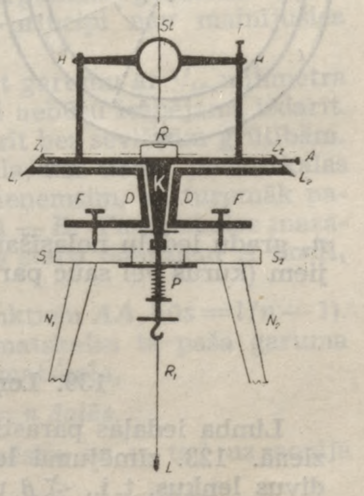
XI. TEODOLITS

137. Teodolita uzbūve un sastāvdaļas

Jau kopš viduslaikiem horizontalo leņķu mērīšanas instrumentus dažās valstīs sauc par *teodolitiem*. 1752. gadā matemātiķis T. Maijers atrada un teoretiski pamatoja leņķu mērīšanu ar limba „atkārtošanu" (latiniski — repeticiju), un līdz mūsu laikiem teodolita konstrukcijā ir sasniegta gandrīz vai maksimali iespējamā precizitate horizontalo leņķu mērīšanā. Tā, piemēram, ar augstjutīgiem teodolitiem var izmērīt leņķus ar 10″, 1″ un pat ar 0,1″ noteiktību.

Teodolitus iedala divos tipos: *vienkāršos* un *repeticijas* (jeb atkārtojošos) teodolitos. Vienkāršā teodolita uzbūves principus apskatīsim 122. zīmējumā uzrādītajā teodolita schematiskā griezumā.

F un F — kompakts, masivs trijgalis ar segtām (vai arī vaļējām) ceļskrūvēm, kas veido instrumenta apakšdaļu. Ceļskrūvju vītņu berze ir regulējama. DD — trijgaļa cilindriskas (vai nedaudz koniskas) vidusdaļas vertikals cilindrs, kurā ietverta alidades ass. K — koniskas formas alidades ass. Z_1 un Z_2 — alidades plakne (horizontala). Z_1H un Z_2H — tālskata balsti. R — līmeņrādis. HH — tālskata horizontalā gāšanas ass. St — tālskatis. F un F — instrumenta paceļamās skrūves. L_1 un L_2 — limba disks — plakne (horizontala). S_1 un S_2 — stativa galva. P — instrumenta piestiprināmā skrūve ar atsperi. L — svērtenis. R_1 — āķis, aiz kura aizkabina svērteņa auklu. N_1 un N_2 — stativa kājas. A — alidades piestiprināmā skrūve. T — tālskata piestiprināmā skrūve.



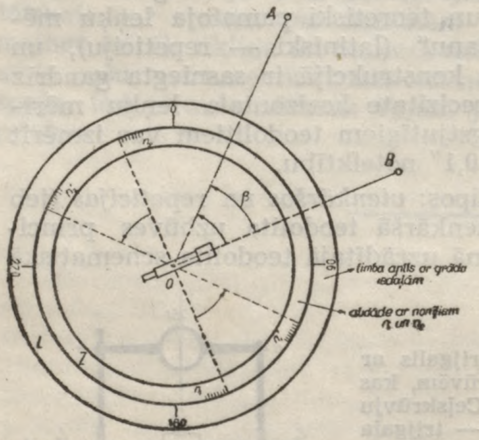
122. zīm.

Tālskata un alidades piestiprināmām skrūvēm ir vēl pierīkotas mikrometriskas skrūves.

Vienkāršiem teodolitiem limba disks L_1 un L_2 ir nekustīgi savienots ar instrumenta apakšdaļu — trijgali F un F. Trijgaļa vidū esošā cilindra iekšpuse ir koniski izdobta. Šajā konveida iedobumā ievietota alidades ass. Ar limba un alidades palīdzību nosaka — izmērī — leņķu lielumus. Apskatīsim tos atsevišķi.

138. Limbs un alidade

123. zīmējumā schematiski attēlots limbs un alidade. Vienkāršiem teodolitiem limba aploce (gredzens) L nekustīgi piestiprināta instrumenta pamatnei (trijgalim)). Limba gredzena iekšmalā iegravētas gradu iedaļas no 0°—360° leņķu lielumu noteikšanai. Limba vidū griežas aploces plakne (retos gadījumos līneals) Z, kas aizņem visu limbu izgriezumu un cieši piekļaujas limba malām. Šo aploces plakni Z sauc par alidadi. Uz alidades nekustīgi piestiprināti tālskata balsti un tālskatis — vizēšanai. Bez tam alidades apļa ārējā malā diametrali pretējās pusēs ierīkoti indeki n_1 un n_2 gradu iedaļu nolasīšanai. Teodolitos indeki aizstāti ar nonijiem (kurus vēl sauc par vernjeriem).



123. zīm.

139. Leņķu mērīšanas princips

Limba iedaļas parasti ir numurētas pulksteņa rādītāja virzienā. 123. zīmējumā leņķa malas AO un BO faktiski veido divus leņķus, t. i., $\sphericalangle\beta$ un leņķi $360° - \beta$, kuri poligonā viens būs poligona iekšējais leņķis, bet otrs ārējais leņķis. Izdarot leņķu mērījumus, mums ir jāprot mērīšanas darbus iekārtot tā, lai mēs šo darbu rezultātā dabūtu mums vajadzīgā leņķa lielumu. Tā kā leņķa mērījumi ir saistīti ar leņķa malām, tad turpmāk lietosim leņķu malu nosaukumus: leņķa labā un leņķa kreisā mala, turklāt malu nosaukumus izšķirsim, ja iedomāsimies sevi nostājušos leņķa virsotnē ar skatu mērījamā leņķa bisektrises virzienā.

Iedomāsimies, ka mums jāizmērī leņķis β. Limbs nostiprināms nekustīgi. Novizējam uz leņķa labās malas gala punktu *B*. Tad pēc pirmā nonija n_1 nolasām gradu iedaļas, piemēram, 157°30'. Pagriežam alidadi tā, lai vizuras līnija sakristu ar kreisās malas gala punktu *A*. Tad nonijs n_1 ieņems stāvokli n'_1 un nonijs n_2 ieņems stāvokli n'_2, tas ir, noniji un tālskata vizuras ass būs aprakstījuši vienādu loku, kas ar limba iedaļām izteiksies grados.

Pieņemsim, ka n'_1 nolasījums ir 115°00, tad mērītā leņķa lielums $\beta = 157°30' - 115°00 = 42°30'$.

140. Nonijs jeb vernjers

Nonijs jeb vernjers ir palīglīdzeklis, kas atvieglo mēru vienību sīko iedaļu precizu nolasīšanu.

Garuma mēru sīko iedaļu noteikšanai derīgās palīgierīces principus aprakstījis portugalietis Petro Noniuss jau 16. gadsimtā, bet 17-ajā gadsimtā Augšburgundas ģeometrs Pjers Vernjers. Palīgierīces iekārtošanas principi nav mainījušies līdz pat mūsu dienām.

Ja mums uzstādītu prasību noteikt garumu ar $^1/_{10}$ milimetra noteiktību, tad to ar neapbruņotu aci nebūtu iespējams izdarīt. Turpretī ar noniju mēs to varam izdarīt bez sevišķām grūtībām.

Nonijs ir īsa, pārbīdāma palīgskala, kas noder pamatskalas mazākās iedaļas daļu noteikšanai. Pieņemsim, ka turpmāk parādītā 124. zīmējumā pamatskala ir $A - B$. Pamatskalas mazākās iedaļas lielums ir l. Iedaļu skaits starp punktiem A un A_1 ir $n - 1$.

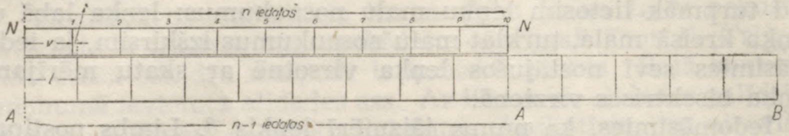
Tad pamatskalas garums starp punktiem AA_1 būs $= l(n - 1)$.

Nonija skala *NN* sadalīta uz pamatskalas tā paša garuma AA_1 par vienu iedaļu vairāk nekā pamatskala,

$$\text{tas ir: } (n - 1) + 1 = n \textit{ daļās.}$$

Nonija vienas iedaļas vērtību apzīmēsim ar v, tad uz nonija skalas garums $AA_1 = n \cdot v$.

Vērtību starpību $l - v = t$ sauc par *nonija noteiktību*. Aprēķināsim t lielumu.



124. zīm.

Tā kā uz abām skalām ņemts viens un tas pats garums AA_1, tad

$$nv = l\,.\,(n - 1);$$
$$nv = ln - l;$$
$$ln - nv = l;\; n\,(l - v) = l;$$
$$l - v = \frac{l}{n};\text{ tā kā } l - v = t, \text{ tad}$$
$$t = \frac{l}{n};\; l = t\,.\,n.$$

Tātad nonija noteiktība $t = l - v$, t. i., t ir vienlīdzīgs pamatskalas iedaļas lielumam (vērtībai) minus nonija iedaļas vērtība v; t ir vienlīdzīgs pamatskalas iedaļas vērtībai l, dalītai ar nonija skalas iedaļu skaitu n; viena pamatskalas iedaļa l ir vienlīdzīga nonija noteiktībai t, reizinātai ar nonija iedaļu skaitu n, t. i., $l = t\,.\,n$. Šīs formulas ir spēkā arī loka garuma (gradu) iedalījumiem. Starpība ir tikai tā, ka pamatskala šeit ir loks ar iedalījumiem, bet nonijs ir ap loku (vai arī loka iekšējā daļā) cieši slīdoša loka daļa ar iedalījumiem, kuri ir nedaudz mazāki par loka iedaļu lielumu.

141. Nonija aprēķināšana

1) Skala iedalīta milimetros. Jākonstruē nonijs ar $^1/_{10}$ mm noteiktību.

$l = 1{,}0$ mm; $\quad l - v = t;$

$t = 0{,}1$ mm; $\quad v = 1.00 \text{ mm} - 0{,}1 \text{ mm} = 0{,}9$ mm;

$$n = \frac{l}{t} = \frac{1{,}0}{0{,}1} = 10;$$

nonija skalas garums $= n\,.\,v = 9{,}00$ mm.

2) Skala iedalīta 2 milimetros. Jākonstruē nonijs ar skalas garumu, kas ir vienlīdzīgs 20 mm un ar noteiktību 0,1 mm.

$$t = 0{,}1 \text{ mm}; \qquad 2\,(n-1) = 20; \quad nv = 20 \text{ mm};$$

$$l = 2{,}0 \text{ mm}; \qquad 2n - 2 = 20; \quad v = \frac{20}{11} = 1{,}818 \text{ mm};$$

$$n \,.\, v = l\,(n-1) = 20 \text{ mm}; \; 2n = 22;$$

$$n = 11.$$

Protams, ka atlikt garumu $v = 1,\ 818$ mm 11 reižu tā, lai kopgarums precizi sakristu ar 20 mm garumu, ir neiespējami, bet uzdevumu var viegli izpildīt, ja mēs lietojam paņēmienu, kas apskatīts mēroga pamata sadalīšanai vienādās daļās.

3) Loks sadalīts grados. Konstruēt noniju ar noteiktību 1′:

$$l = 1^\circ; \; n = \frac{l}{t} = \frac{1^0}{1} = \frac{60'}{1} = 60;$$

$$t = 1';$$

$$v = l - t = 59';$$

$$\text{nonija loka garums} = n\,.\,v = 60\,.\,59' = 59^\circ.$$

4) Loks sadalīts $^1/_3$ grados. Konstruēt noniju ar noteiktību 30″.

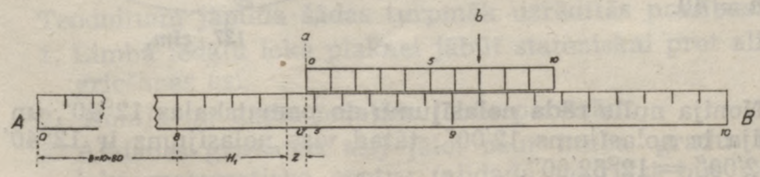
$$l = 20'; \qquad n = \frac{l}{t} = \frac{1200}{30} = 40;$$

$$t = 30''; \qquad v = l - t = 19'30'';$$

$$\text{nonija loka garums} = n\,.\,v = 40\,.\,19'30'' = 13^\circ.$$

142. Nonija lietošana

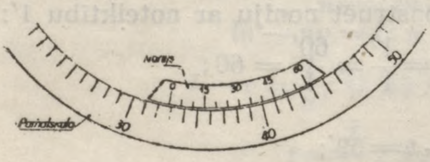
Pieņemsim, ka 125. zīmējumā pamatskala ir AB un izmērījamais gabals mums būtu no A līdz punktam a.



125. zīm.

Ja vienas skalas mazākā iedalījuma vērtība ir viens, tad mēs redzam, ka izmērījamais garums ir 84 plus vēl garums z. Jau pēc acumēra redzam, ka z ir lielāks par pusi no vienas pamatskalas iedaļas, bet tieši kāda daļa, to pateikt nevaram. Tas mums jānosaka ar noniju. Virs skalas AB atrodas nonijs; mēs pabīdām to gar pamatskalu tik tālu, lai nonija 0 iedaļa sakristu ar punktu a. Tagad skatāmies uz nonija skalu no kreisās uz labo un vērojam, kura nonija iedaļas svītriņa sakrīt ar pamatskalas svītriņu. Redzam, ka tā ir ar bultu b parādītā 7. nonija svītriņa. Tātad attālums $z = 7t$ (t nonijā noteiktība), un kopējais Aa garums ir: $84 + 7t$.

1. piemērs. Pamatskala sadalīta grados. Nonijs ir ar 5′ noteiktību. Jānolasa gradu iedaļa pēc 126. zīmējuma.



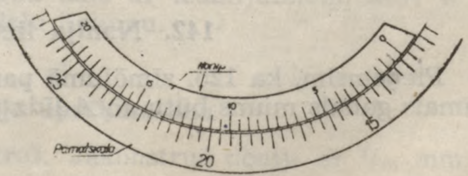
126. zīm.

$$l = 1°; \quad n = \frac{l}{t} = 12;$$
$$t = 5'.$$

Nolasa šādi: nonija nulle atzīmē 32° un vairāk nekā pusi no grada iedalījuma (aptuveni $^3/_4$). Tātad sakrītošai nonija svītriņai arī jābūt pāri pusei — ap 40′, tā arī ir — nonijs rāda 45′. Tātad viss nolasījums ir 32°45′.

2. piemērs. Pamatskala sadalīta 20′, nonija noteiktība ir 30″. Jānolasa pēc 127. zīmējuma.

$l = 20'$;
$t = 30''$;
$v = 19'30''$;
$n = 40$.

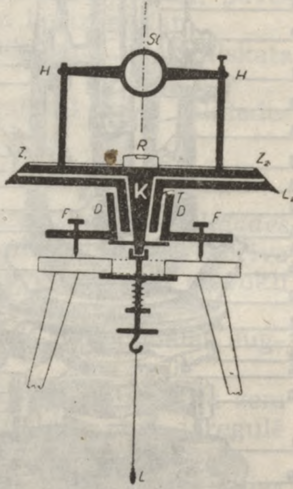


127. zīm.

Nonija nulle rāda nolasījumu no pamatskalas 12°40′, un uz nonija ir nolasījums 12′00″, tātad viss nolasījums ir 12°40′ + + 12′00″ = 12°52′00″.

143. Vienkāršie un atkārtojošies teodoliti

Atkārtojošos teodolitus dažreiz sauc arī par repeticijas teodolitiem. To atšķirība no vienkāršiem teodolitiem ir tā, ka arī limba plakne *LL* ir ierīkota tā, ka tā var griezties ap savu vertikalo asi par pilnu (360°) leņķi. Šajā instrumentā vertikalā ass *K* (128. zīmējums) ir nekustīgi saistīta tikai ar alidadi, turklāt alidades ass *K* ir ietverta limba asī *T*, un pēdējā savukārt iekļaujas instrumenta pamatnes vertikalā asī *DD*, kas vienīgā ir nekustīgi saistīta ar trijkāji. Ar šādu konstrukciju ir panākts tas, ka arī limbu kopā ar alidadi var griezt ap vertikalo asi par 360°. Limbu var neatkarīgi no alidades piestiprināt nekustīgā stāvoklī ar limba piestiprināmām skrūvēm.



128. zīm.

Limba mikrometrisko kustību vajadzībām ir pierīkota mikrometriskā skrūve.

Atkārtojošā teodolita ārējā raksturīgā pazīme ir tieši šī limba piestiprināmā skrūve.

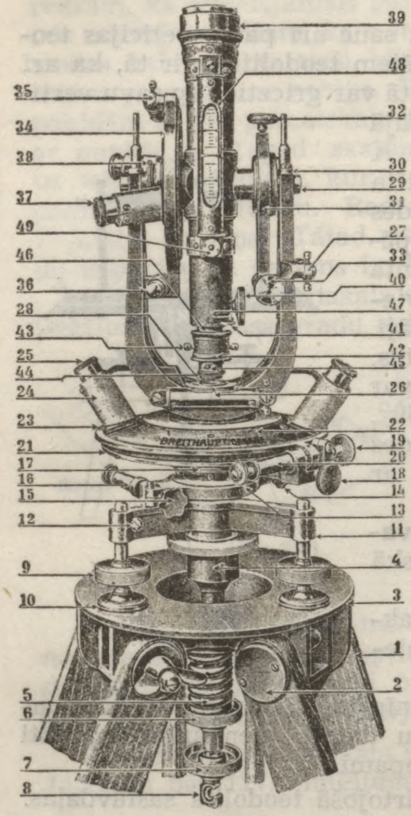
Atkārtojošais teodolits ir vispilnīgākais instruments horizontalo leņķu mērīšanai dabā. Mūsu dienās vienkāršie teodoliti lietošanā tikpat kā nav vairs sastopami.

129. zīmējumā apskatīsim atkārtojošā teodolita sastāvdaļas.

144. Teodolita pārbaudes

Teodolitam jāpilda šādas turpmāk uzrādītās prasības:

1. Limba iedaļu lokā plaknei jābūt stateniskai pret alidades griešanas asi.
2. Nonija un limba iedaļām jābūt pareizām.
3. Alidades griešanas asij jāiet caur limba gradu iedaļu loka matematisko centru (alidade nedrīkst būt ekscentriska).



129. *zīm.*

1. — Stativa kājas zars. 2. — Bulta stativa kājas sastiprināšanai. 3. — Stativa galva. 4. — Instrumenta piestiprināmā skrūve. 5. — Piestiprināmās skrūves atspere. 6. — Piestiprināmās skrūves satveramā ripa. 7. — Apaļā ripa. 8. — Svērteņa āķis. 9. — Instrumenta paceļamās skrūves. 10. — Instrumenta paceļamās skrūves pēda. 11. — Trijkājis. 12. — Skrūve, ar kuru regulē paceļamās skrūves gaitu. 13. — Limba pieslēgskava. 14. — Limba pieslēgskrūve. 15. — Limba mikrometrisko kustību skrūve. 16. — Limba mikrometriskās skrūves čaula ar atsperi. 17. — Alidades pieslēgskava. 18. — Alidades pieslēgskrūve. 19. — Alidades mikrometrisko kustību skrūve. 20. — Alidades mikrometriskās skrūves čaula ar atsperi. 21. — Limba aploce. 22. — Alidades metala pārvalks. 23. — Nonija lodziņš. 24. — Lupas cilindrs. 25. — Lupa limba iedaļu nolasīšanai. 26. — Līmeņrādis virs alidades. 27. — Līmeņrādis pie tālskata balstiem. 28. — Apaļais līmeņrādis. 29. — Tālskata gāšanas ass (horizontalā ass). 30. — Vāciņš ar turām. 31. — Tālskata gāšanas ass pieslēgskava. 32. — Tālskata pieslēgskrūve. 33. — Tālskata mikrometrisko kustību skrūve. 34. — Vertikalais loks. 35. — Vertikalā loka līmeņrādis. 36. — Vertikalā loka nostādāmā skrūve. 37. — Lupa vertikalā loka iedaļu nolasīšanai. 38. — Vertikalā loka nostiprināšanas skrūve. 39. — Objektivs. 40. — Kremoljera okulara bīdīšanai. 41. — Pārstādāmais okulara bīdes regulators. 42. — Rāmis ar diedziņu krustu. 43. — Tīkliņa izlabojuma skrūves. 44. — Okulars. 45. — Skrūvīte okulara stobriņa turēšanai un virzīšanai. 46. — Okulara stobra bīdāmā daļa. 47. — Tēmēklis. 48. — Tālskata līmeņrādis (līmeņošanai). 49. — Tālskata līmeņrāža izlabojuma skrūve.

4. Cilindriskā līmeņrāža asij jābūt perpendikularai pret alidades griešanas asi (apaļai līmeņrāža asij jābūt paralelai alidades griešanas asij).
5. Atkārtojošiem teodolitiem limba un alidades griešanas asīm jābūt paralelām.
6. Lietošanai nostādīta instrumenta tālskata vienam pavedienam jābūt vertikalam, bet otram horizontalam.
7. Kolimacijas plaknei jābūt perpendikularai pret tālskata gāšanas asi.
8. Tālskata gāšanas asij jābūt stateniskai pret alidades griešanas asi.

Pārbaudes izdara šādi.

1) Limba iedaļu loka plaknei jābūt stateniskai pret alidades griešanas asi. Nostiprina limbu ar limba pieslēgskrūvi, atbrīvo alidadi un, griežot alidadi ap savu asi, novēro noniju stāvokli attiecībā pret limbu.

Ja abi noniji visu griešanās laiku paliek limba malas augstumā, tad pirmā prasība izpildīta.

Ja abi noniji paliek vienādā augstumā, bet guļ vai nu zem vai arī virs limba malas, tad prasība izpildīta, bet jāregulē alidades augstums, paceļot vai nolaižot tās griešanas asi.

Ja viena alidades mala visā griešanas laikā nepiekļaujas limba malai, tad pirmā prasība izpildīta, bet alidade ir saliekta. Instruments neder darbam.

Ja viens nonijs pazeminās un otrs tajā pašā laikā paaugstinās, tad tā ir pazīme, ka limba loka plakne nav stateniska pret alidades griešanas asi.

Ja noniju augstumi no limba vairākkārt izmainās, tad saliekts ir limbs un prasība nav izpildīta.

Ja ir drošas pazīmes, ka 1. prasība nav izpildīta, instruments jānodod labošanā specialā mechaniskā darbnīcā.

2) Nonija un limba iedaļām jābūt pareizām. Nonija iedaļu vienādību pārbauda šādi: griežot noniju gar limbu, saskaņo aiz nonija indeka iedaļas pirmo svītriņu ar kaut kuru limba iedaļas svītru un vēro, vai nonija blakus svītras atrodas vienādos atstatumos no limba svītrām abpus tās viņa svītras, kas sakrīt ar nonija svītru. Pēc tam ar to pašu limba svītru saskaņo pēc kārtas visas pārējās nonija svītras. Ja visā nonija garumā minētie atstatumi ir vienādi, tad arī nonija iedaļas ir pareizas. Gradu iedaļu pareizību pārbauda, nostādot nonija *O* svītru uz veselas grada iedaļas, un vēro, vai nonija otra gala svītra sakrīt ar veselu grada iedaļu. Ja grada vairāku iedaļu svītras sakrīt ar nonija galējām svītrām, tad iedaļas ir pareizas. Parasti visas iedaļas izgatavotas ar precizijas instrumentiem, un iedaļas ir pareizas. Ja prasība nav izpildīta, instruments jānodod smalkmechaniskā darbnīcā varbūtējai izlabošanai.

3) Alidades griešanas asij jāiet caur limba gradu iedaļu loka matematisko centru (alidade nedrīkst būt ekscentriska). Teodolitu izgatavotājiem ne vienmēr izdodas izgatavot instrumentu tā, lai šī prasība būtu izpildīta. Lai ekscentrības kļūdu mazinātu, instrumentiem ir izgatavoti 2 noniji diametrali pretējās pusēs. Ekscentrību pārbauda, nolasot limba un nonija iedaļas no abiem nonijiem dažādos alidades virzienos. Ja pirmā *(A)* un otra *(B)* nonija nolasījumi ikvienā alidades stāvoklī neatšķiras ne vairāk un ne mazāk kā par 180°, tad ekscentrības nav. Nonija nolasījumos ekscentrības lielums parasti izteicas 1′ vai 2′ (minutes noteiktības teodolitam). Ekscentrību labot nevar, bet ekscentrības kļūdu var izslēgt, nolasot limba un nonija iedaļas pēc abiem nonijiem, par pareizo nolasījumu skaitot aritmetisko vidējo no abiem nolasījumiem. Praksē nolasījumus vienmēr nolasa no abiem nonijiem, turklāt pilno gradu un to daļu skaitu raksta tikai pēc pirmā nonija, bet pēc otra tikai gradu daļas resp. minutes un sekundes. Piemēram, ja no pirmā *(A)* nonija nolasījums ir 175°35′ un ja no otra *(B)* nonija nolasījums ir 355°36′, tad mērīšanas žurnalā raksta tā:

no pirmā *(A)* nonija — 175°35′,
no otra *(B)* nonija — 36′,
vidējais nolasījums — 175°35′30″.

Ekscentrībai teoretiskais iztirzājums aprakstīts busoles 5. pārbaudē.

4) Cilindriskā līmeņrāža asij jābūt perpendikularai pret alidades griešanas asi (līmeņrāža pārbaude). Pārbaudi izdara šādi: nostāda instrumentu pēc acumēra lietošanas stāvoklī. Ar instrumenta paceļamām skrūvēm ievirza līmeņrāža burbulīti vidū. Nolasa limba un nonija iedaļas pēc viena nonija un pēc tam pagriež instrumentu ap vertikalo asi precizi par 180° un vēro, vai arī šajā stāvoklī burbulītis ir vidū. Ja nav, tad līmeņrādis jāizlabo (izlabošana un pārbaude apskatīta pie līmeņrāža pārbaudēm — pusi burbulīša novirzi izmaina ar līmeņrāža izlabojamo skrūvi, bet otru ar instrumenta paceļamām skrūvēm. Pārbaudi tādā pašā veidā atkārto, kamēr līmeņrādis ir pareizs).

5) Atkārtojošiem teodolitiem limba un alidades griešanas asīm jābūt paralelām. Nostiprina limbu un pēc tam nostāda alidadi iespējami precizā horizontalā stāvoklī. Alidadi horizontalā stāvoklī nostāda šādi:

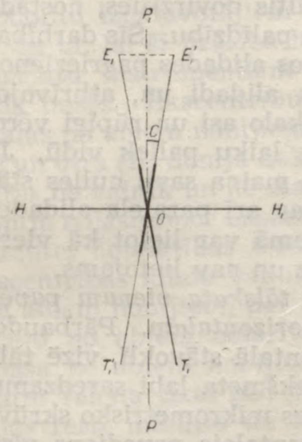
Nostiprina limbu, atbrīvo alidadi un pagriež pēdējo tā, lai līmeņrāža ass ietu paraleli 2 paceļamām skrūvēm un, griežot tās pretējos virzienos, nostāda burbulīti vidū. Tad pagriež alidadi aptuveni par 90° un, ja burbulītis novirzījies, nostāda to atkal vidū, bet *tikai ar trešās* skrūves palīdzību. Šīs darbības atkārto, kamēr līmeņrāža burbulītis visos alidades pagriezienos nemainīgi paliek vidū. Tad nostiprina alidadi un, atbrīvojot limbu, griež instrumentu ap savu vertikalo asi un rūpīgi vēro, vai līmeņrāža burbulītis visu griešanas laiku paliek vidū. Ja burbulītis atsevišķās pagrieziena vietās maina savu nulles stāvokli, tad limba ass nav vertikala un nav arī paralela alidades griešanas asij. Instrumentu tādā gadījumā var lietot kā vienkāršo teodolitu, tas ir, limbs ir jānoslēdz un nav lietojams.

6) Lietošanai nostādīta instrumenta tālskata vienam pavedienam jābūt vertikalam, bet otram horizontalam. Pārbaude: a) Nostāda instrumentu (alidadi) horizontalā stāvoklī, vizē tālskata horizontalo diedziņu uz kāda priekšmeta labi saredzamu punktu, nostiprina tālskati un, ar alidades mikrometrisko skrūvi griežot alidadi, vēro tālskatī, vai horizontalais pavediens visā garumā sakrīt ar novērojamo punktu. Ja sakrīt — diedziņš ir pareizs, ja ne, jāizlabo ar tīkliņa izlabojamām skrūvēm. b) Vai vertikalais diedziņš ir vertikals, to pārbauda, piekarot svērteni tievai auklai, un skatās, vai aukla sakrīt ar vertikalo pavedienu. Ja sakrīt, tad pavediens ir pareizs. Ja viens pavediens ir pareizs, bet otrs ne, tad tas nozīmē, ka tīkliņa krusts nav perpendikulars. Tādā gadījumā pareizi jānostāda vertikalais pavediens. Tas jādara tāpēc, ka šis pavediens veido kolimacijas plakni.

7) Kolimacijas plaknei jābūt perpendikularai pret tālskata gāšanas asi. Ja šī prasība nav izpildīta, tad tālskata vizuras ass, griežoties ap savu gāšanas asi, veidos nevis plakni, bet kona virsu.

Pieņemsim, ka 130. zīmējumā HH_1 ir tālskata gāšanas ass. Ja vizuras līnija būtu stateniska tālskata gāšanas asij, tad, griežot tālskati, veidotos stateniska kolimacijas plakne, kas sakristu ar līniju PP_1, bet, ja vizuras ass nebūtu stateniska, tad veidotos kona virsa. Kolimacijas kļūdu pārbaudīt var divējādi:

a) Nostāda alidadi horizontalā stāvoklī, pieslēdz limbu un vizē (ar apmēram horizontalu vizuru) uz attālu un skaidri saredzamu punktu. Nolasa no nonijiem, izgriež tālskati caur zenitu un (vadoties pēc noniju nolasījumiem) apgriež alidadi tieši par 180°. Skatās caur tālskati uz iepriekš vizēto punktu un vēro, vai vizuras līnija sakrīt ar iepriekšējo vizuras līniju (t. i., vai tīkliņa krusts sedz to pašu punktu, ko sedza pirmajā stāvoklī). Ja vizuras līnijas sakrīt, tad kolimacijas kļūdas nav, t. i., vizuras līnija abos stāvokļos ir bijusi vienāda — PP_1.



130. zīm.

Ja pirmā vizura ir bijusi T_1OE_1, bet otra $T_1'OE_1'$, tad attālumā E_1E_1' ietilpst divkārša kolimacijas kļūda (kas atbilst leņķa mēram $2 \times \sphericalangle c$). Šo kļūdu labo šādi: pēc acumēra dala attālumu $E_1E'_1$ uz pusēm un ar tīkliņa izlabojamām skrūvēm uzbīda tīkliņa krustu uz dalījuma robežpunkta P_1. Pārbaudi atkārto.

b) Kolimacijas kļūdas lielumu var noteikt arī pēc limba gradu iedaļām. Ja pirmo nolasījumu apzīmēsim ar N_1, tad, ja kolimacijas kļūdas nebūtu, pēc tālskata izvirzīšanas caur zenitu un alidades pagriešanu par 180° pirmās un otras vizuras līnijas sakristu ar nolasījumu $N_2 = N_1 + 180°$. Ja šādā otrā nolasījumā abas vizuras līnijas nesakristu, tas ir, pirmā vizuras līnija būtu T_1E_1 un otra $T_1'E_1'$, tad ar alidades mikrometrisko skrūvi vizuras līnija būtu jāuzbīda pirmās vizuras līnijas punktam E_1 un šajā stāvoklī jānolasa nolasījums pēc nonijiem. Tad mēs dabūtu nolasījumu ar divkāršu kolimacijas kļūdu: $N_2 = N_1 + 180° + 2c$.

$$2c = N_2 - (N_1 + 180°);$$

$$c = \frac{N_2 - (N_1 + 180°)}{2}.$$

Kolimacijas kļūdu tad varētu izlabot šādi.

Nostāda noniju uz nolasījuma N_0, kas izlabots par kolimacijas kļūdu:

$$N_0 = N_2 - c = N_2 - \frac{N_2 - (N_1 + 180°)}{2} = \frac{N_2 + (N_1 + 180°)}{2}.$$

Tīkliņa krusts būs novirzījies no vizējamā punkta E_1. Ar tīkliņa izlabojamām (horizontalām) skrūvēm pārbīdīsim pavediena krustiņu tā, lai tas segtu vizējamo punktu.

Pārbaude jāatkārto tikmēr, kamēr kolimacijas kļūda vairs nav konstatējama.

Šeit interesanti piezīmēt, ka nolasījums N_0 ir brīvs no kolimacijas kļūdas, kaut gan instrumentā ir konstatēta lielāka vai mazāka kļūda c. Tas rāda, ka varbūtējā kolimacijas kļūda arī leņķu mērījumos izslēdzas, ja mērījumus izdara divos paņēmienos — izgriežot pirms otra mērījuma tālskati caur zenitu. Tikai nedrīkst piemirst, ka pēc pirmā mērījuma tālskatis jāizgriež caur zenitu un tikai tad jāizdara otrs mērījums.

Pati kolimacijas kļūda nekad nav liela, un, ja tā ir mazāka par nonija noteiktību, tad to gradu iedaļās nemaz nevar noteikt.

8) Tālskata gāšanas asij jābūt stateniskai pret alidades griešanas asi. Nostāda instrumentu iespējami pareizā horizontalā stāvoklī un dažu metru attālumā instrumenta priekšā uzkar garu auklu ar svērteni. Vizē diedziņa krustu uz auklas vienu punktu un griež tālskati no augšas uz leju un otrādi, un uzmanīgi vēro, vai diedziņa krusts visu laiku atrodas uz auklas projecētās vertikales. Ja diedziņa krusts nenovirzās no auklas, tad prasība ir izpildīta. Ja diedziņa krusts novirzās no auklas, tad labošana jāizdara ar tālskata ass gultņu pacelšanu vai nolaišanu, turklāt labās puses gultne būs jāpaceļ (vai kreisā jānolaiž), ja diedziņa krusts novirzās uz labo pusi (tas tāpēc, ka tālskatī mēs redzam diedziņa krusta apgrieztu attēlu).

145. Leņķu mērīšana ar teodolitu un mērīšanas precizitate

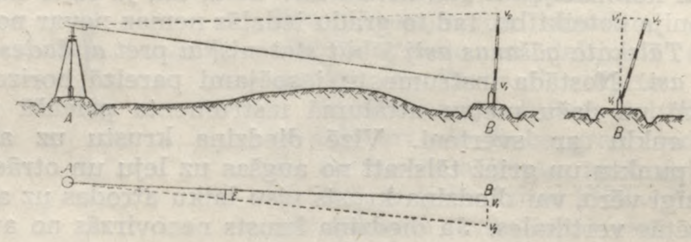
Leņķu mērīšanas gaita ar teodolitu notiek vairākos darba paņēmienos, un to varētu sadalīt šādi:

1) Instrumenta centrēšana.

Nostāda stativu ar vai bez instrumenta virs mērījamā leņķa virsotnes tā, lai stativa galvas centrs būtu tieši virs virsotnes. Tad iespiež stativa kājas zemē tā, lai stativa galva paliktu horizontalā stāvoklī, pēc tam pēc acumēra nostāda vertikali alidades griešanas asi, piekar instrumentam svērteni un pārbīda instrumentu virs stativa galvas tik daudz, lai svērtenis precizi projecētu instrumenta centru uz leņķa virsotnes centra. Tad ar līmeņrādi nostāda instrumenta alidadi horizontali, piegriež instrumenta piestiprināmo skrūvi un vēlreiz pārbauda instrumenta centra projecēšanas pareizību virs leņķa virsotnes. Pēc tam vēlreiz pārbauda, vai alidades plakne ir pareizi nostādīta horizontalā stāvoklī. Ja vienā laikā alidades plakne ir horizontalā stāvoklī un instruments pareizi nocentrēts, tad instruments ir nostādīts leņķa mērīšanai.

2) Vizēšana

Vizējot uz leņķa malu gala punktiem, jācenšas tālskata vizuras līniju vērst iespējami tuvāk zemes virsai tieši uz leņķa malas apzīmējumu (kurai savukārt jābūt iespējami precizi iezīmētai ar naglu, iesmiņu vai citādi), bet tikai tad, ja tas nav iespējams, t. i., ja virsotne nav saredzama, vizuras līnija jāvērš uz stigmietu, kas iesprausts dotās leņķa malas līnijas virzienā.



131. zīm.

Pieņemsim, ka 131. zīmējumā uzrādītajā attēlā punktā *A* uzstādīts instruments, bet punktā *B* iesprausts stigmiets. Stigmieti jāiesprauž vertikali, turklāt tā, lai tie sakristu ar leņķa malas kolimacijas plakni. Pieņemsim, ka stigmiets nav iesprausts vertikali vai arī ir bijis iesprausts vertikali, bet vēja ietekmē sagāzies no vertikalā stāvokļa V_1 uz V_2. Tad pareizā vizura būtu uz vertikalās spraudes V_1^1 vai *B* punkta virsotnes V_1, bet nepareizā vizura V_2. Pieņemsim, ka spraudes augšgals novirzījies no vertikalā stāvokļa tikai par 5 cm un attālums starp punktiem *A* un *B* ir 50 m, tad šis 5 cm novirzes attālums atbilst 3,4′.

3) Gradu iedaļu nolasīšana

Arī tad, ja instrumentā nav konstatēta alidades ekscentrība, gradi un to daļas jānolasa pēc abiem nonijiem (tāpat kā tad, kad ekscentrība bija ievērota). Ar to izslēdz ne tikvien kā varbūtējo alidades ekscentrības kļūdu, bet reizē ar to samazinās arī rupjo kļūdu iespējas, kas var rasties aiz pārskatīšanās, nolasot gradus un to daļas.

4) *Leņķu mērīšana*

Lai no leņķa mērījuma rezultata izslēgtu kolimacijas u. c. instrumenta kļūdas un arī lai iegūtu kontroli par leņķa mērīšanas pareizību, tad leņķa mērīšana ar atkārtojošo teodolitu ir jāizdara atkārtoti, t. i., divas reizes (vai, kā vēl saka — divos paņēmienos). Pirmais paņēmiens: novizē uz leņķa labo malu, nostiprina alidadi un limbu, nolasa no abiem nonijiem un pieraksta žurnalā. Atbrīvo alidadi (limbu neizkustinot!) un vizē uz leņķa kreiso malu, nostiprina alidadi un atkal nolasa un pieraksta. Izskaitļo vidējos nolasījumus un, atņemot no pirmā nolasījuma otru, dabū leņķa lielumu.

Otrs paņēmiens: atbrīvo limbu (alidade paliek nostiprināta) un pagriež instrumentu apmēram par 90°. Tad izgriež tālskati „caur zenitu“ (apgriež ap gāšanas asi par 180°), piestiprina limbu, atbrīvo alidadi un vizē atkal uz leņķa labo malu. Pēc tam rīkojas kā pirmajā paņēmienā.

Ja abu paņēmienu leņķa mērījumi neatšķiras viens no otra vairāk par divkāršu nonija noteiktību, tad var pieņemt, ka mērījumā nav ieviesušās rupjas kļūdas, un izmērītā leņķa lielumu dos abos paņēmienos dabūto rezultatu aritmetiskais vidējais.

146. Teodolita lietošanas noteikumi

Strādājot ar teodolitu, jāvērš vislielākā uzmanība uz to, lai instruments nedabūtu pat vismazāko triecienu vai grūdienu. Roku kustībām jābūt uzmanīgām un vieglām. Pārnesot instrumentu no vienas virsotnes uz otru, tas jānoņem no stativa un jāieliek kastītē. Ja divu blakus esošu virsotņu attālumi ir nelieli, tad laika ietaupījuma dēļ instrumentu var nest kopā ar stativu, tikai tad stativs nešanas laikā jātur vertikali un jāuzmanās, lai ne instruments, ne stativs nedabūtu triecienu. Pārejoša lietus laikā instruments jāpārsedz ar speciali izgatavotu pārvalku — sedziņu. Uz stativa novietoto instrumentu nedrīkst atstāt bez apsardzības arī tad, ja tuvumā neviena nav (vēja brāzieni var apgāzt instrumentu, tajā var iekļūt putekļi, tam var pieskriet kāds dzīvnieks un to apgāzt utt.). Ja instruments lietū salīst vai citādi dabū mitrumu, tas sausās telpās jāizžāvē un jāieeļļo. Vispār var teikt, ka teodolits ir precizijas instruments, kas jālieto un arī jāuzglabā ar vislielāko rūpību.

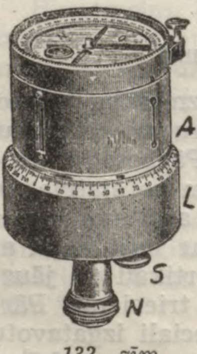
147. Astrolabija

Astrolabija ir leņķu mērīšanas instruments, kas darbojas un arī konstruēts pēc tā paša principa kā teodolits, tikai astrolabijas noteiktība ir daudz mazāka. Astrolabija ar dioptriem ir daudz nenoteiktāks leņķu mērīšanas instruments, jo tālskata vietu aizpilda dioptri. Horizontalo leņķu mērīšanas vajadzībām astrolabijas vairs neizgatavo. Arī lietošanā astrolabijas vairs tikpat kā nevar sastapt. Tādēļ mēs to tuvāk neapskatīsim.

148. Goniometrs

Pantometrs. Vārds goniometrs cēlies no grieķu valodas un tulkojumā nozīmē — leņķu mērs. Dažreiz visus instrumentus, kas noder horizontalo leņķu mērīšanai, apzīmē ar vienu vārdu — goniometrs.

Latviešu valodā pieņemts ar vārdu „goniometrs" apzīmēt tikai vienu instrumentu, ko citādi sauc arī vēl par pantometru, bet ar vārdu goniometrs nekad neapzīmē kaut kādu citu horizontalo leņķu mērīšanas instrumentu. Šo terminoloģiju tad arī mēs turpmāk lietosim.



132. zīm.

Goniometrs. Goniometrs ir viens no vienkāršākiem horizontalo leņķu mērīšanas instrumentiem. Parasti tas ir izgatavots no diviem cilindriem, kas viens virs otra blīvi piestiprināti uz vienas ass (sk. 132. zīmējumu). Apakšējā cilindra L ārējais diametrs ir nedaudz lielāks par augšējā A cilindra diametru.

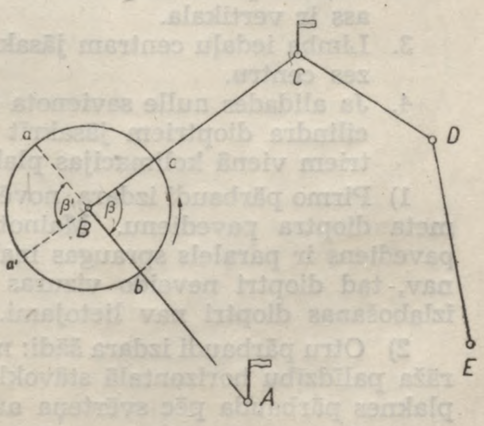
Augšējā cilindra apakšmalā ierīkoti divi diametrali pretēji indeki ar nonijiem. Šajā cilindrā ierīkoti acs un priekšmetu dioptri, kuru kolimacijas plakne iet caur abu noniju nullēm. Dioptri izpilda alidades uzdevumu, jo virsējais cilindrs ir griežams ap savu vertikalo asi par 360°. Dažos goniometros augšējā cilindrā L ir ierīkots vēl otrs dioptru pāris, kura kolimacijas plakne ir stateniska pirmajai. Virs šā cilindra ir ierīkota busole, kuras 0°—180° diametrs sakrīt ar pirmā dioptru pāra kolimacijas plakni.

Apakšējā cilindra augšējā virsdaļa ir izveidota ar konveida slīpumu, un uz šīs slīpās malas ir ierīkotas gradu iedaļas. Iedaļu numeracija iet pretēji pulksteņa rādītāja gaitas virzienam. Graduētais iedaļu loks izpilda limba uzdevumu. Zem apakšējā cilindra atrodas skrūve *S*, ar kuru var pagriezt augšējo cilindru *A* ap instrumenta vertikalo asi, neizkustinot apakšējo cilindru *L*. Arī apakšējam cilindram ir viens dioptru pāris, kura kolimacijas plakne sakrīt ar limba 0°—180° diametru. Šos dioptrus sauc par limba jeb nekustīgiem dioptriem. Instrumenta nostādīšanai uz stativa tapas zem apakšējā cilindra ierīkota uzmava *N*, turklāt uzmavai ir mazliet kona forma. Ar to panāk, ka uzmavu var stingri uzmaukt stativa tapai vai vienkārši šim nolūkam darinātam spieķim.

149. Goniometra lietošana

Pieņemsim, ka mums uz lauka ir jāizmērī 133. zīmējumā parādītais leņķis $ABC = \sphericalangle \beta$.

Nostādām goniometru leņķa virsotnē punktā *B* tā, lai limba centrs atrastos uz punkta *B* vertikales. Nostāda limbu horizontali (pēc līmeņrāža vai magnetiskās šautriņas, bet, ja tādu nav, vienkārši pēc acumēra). Uzmērījot poligona iekšējos leņķus, vienmēr leņķu mērīšanas gaita, ejot no virsotnes uz virsotni, jāvirza tā, lai poligons atrastos pa labi, t. i., pēc $\sphericalangle \beta$ izmērīšanas jāmērī $\sphericalangle$ *C*, tad $\sphericalangle$ *D* utt.



133. zīm.

Kad instruments ir nostādīts, tad leņķus mērī šādi: savieno limba un alidades nulles svītriņas un limba kolimacijas plakni resp. nekustīgos dioptrus *ab* virza uz leņķa *BA* malu, kamēr priekšmeta dioptra diedziņš sedz signalu *A*. Pēc tam nostiprina limbu. Ja ir nostiprināmās skrūves, tad nostiprina ar tām. Ja skrūvju nav, tad vienkārši uzmana, lai limba (apakšējais cilindrs) neizkustētos, un ar skrūvi S griež alidades cilindru, kamēr kustīgo dioptru kolimacijas plakne a^1c iet caur signalu C. Šajā instrumenta stāvoklī limba kolimacijas plakne ab sakrīt ar līniju BA, bet alidades plakne a^1c ar līniju BC. Tā kā alidades cilindra pagriešanas laikā ir iespējama arī limba izkustēšanās, tad ieteicams pēc alidades nostādīšanas vēlreiz pārbaudīt limba ab vizuras pareizību. Kad ir panākts tāds instrumenta stāvoklis, kad abas vizuras pilnīgi sakrīt ar vizētiem signaliem, tas ir, ab sakrīt ar signalu A un a^1c ar signalu C, tad nolasa uz limba gradu iedaļas. Nolasījums uz limba a^1 dos mērījamā leņķa ABC lielumu. Tas saprotams pēc 133. zīmējuma: $\sphericalangle \beta = \sphericalangle \beta^1$, bet leņķa β^1 lielums izteicas uz limba aa^1 gradu iedaļās.

150. Goniometra pārbaudes

Goniometram uzstāda šādas prasības:

1. Dioptriem ir jāveido vizuras plakne.
2. Vizuras plaknēm jābūt vertikalām tad, kad abu cilindru ass ir vertikala.
3. Limba iedaļu centram jāsakrīt ar limba un alidades griezes centru.
4. Ja alidades nulle savienota ar limba nulli, tad nekustīgā cilindra dioptriem jāsakrīt ar (kustīgās) alidades dioptriem vienā kolimacijas plaknē.

1) Pirmo pārbaudi izdara, novērojot caur acs dioptru priekšmeta dioptra pavedienu. Mainot skata augstumu, vēro, vai pavediens ir paralels spraugas malai visā tā garumā. Ja tas tā nav, tad dioptri neveido vizuras (kolimacijas) plakni un bez izlabošanas dioptri nav lietojami.

2) Otru pārbaudi izdara šādi: nostāda instrumentu ar līmeņrāža palīdzību horizontalā stāvoklī un abu dioptru kolimacijas plaknes pārbauda pēc svērteņa auklas.

3) Trešo pārbaudi izdara līdzīgi busoles piektajai pārbaudei. Ja konstatēta kļūda, tad goniometru var lietot tikai tad, ja nolasījumus nolasa no diametrali pretējiem nonijiem.

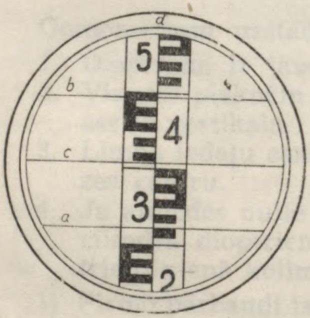
4) Ceturto pārbaudi izdara šādi: savieno alidades nulli ar limba nulli un pēc svērteņa auklas vēro, vai vienā un tajā pašā stāvoklī abas kolimacijas plaknes (limba un alidades) sakrīt ar svērteņa auklu. Ja šī prasība nav izpildīta, tad nekustīgā limba

dioptri nav lietojami uņ leņķu mērīšanas darbi jāizdara vienīgi ar alidades dioptriem.

Tādā gadījumā leņķus var mērīt šādi: nostāda limbu nekustīgā stāvoklī un ar alidades dioptriem vizē uz signalu A (133. zīmējumā), tad nolasa no limba a gradu iedaļu un pēc tam to pašu dioptru pāri vizē uz punktu C un nolasa a^1. Abu nolasījumu starpība ($a^1 — a$) dos mērījamā leņķa lielumu limba iedaļās.

XII. TĀLMĒRS

Tālskati ģeodezijas instrumentos bieži vien ir tā konstruēti, lai ar tiem varētu noteikt (resp. izmērīt) attālumus no instrumenta stāvvietas līdz dotam punktam optiskā ceļā. Šādu tālskati sauc par tālskati ar tālmēru vai ar vienu vārdu par tālmēru. Tālmēru konstrukcijas var iedalīt divās daļās: tālmēri, ar kuriem var noteikt attālumus ar latas palīdzību, un tālmēri — bez latas palīdzības. Ģeodezijas instrumentos lieto tālmērus ar latām. Tālmēra tālskatiem nepieciešami vismaz divi paraleli tīkliņa pavedieni (sk. 134. zīmējumu). Ar paralelo pavedienu palīdzību izdara attāluma nolasījumu no latas. Pašu paralelo diedziņu attālumus dažreiz ir iespējams palielināt un samazināt, bet visbiežāk sastopami tālmēri ar konstantiem pavedienu savstarpējiem attālumiem. Ja mēs skatītos ar tālskati, kurā ierīkoti paraleli tīkliņu pavedieni, uz vertikali nostādīto latu ar iedaļām, tad mēs redzētu (sk. 134. zīmējumu) starp pavedieniem zināmu iedaļu skaitu[1] Ja nu pavedienu savstarpējie attālumi tālskatī būtu tā ierīkoti, ka to ierobežotais latas iedaļu skaits atbilstu attālumam no tālskata līdz latai, tad, nolasot iedaļas starp pavedieniem, mēs varētu noteikt latas attālumu no tālskata. Piemēram, ja 134. zīmējumā pavedieni būtu iekārtoti tā, ka viena latas iedaļa atbilst 1 m attālumam, tad, saskaitot iedalījumus starp augšējo un apakšējo diedziņu, mēs dabūtu attālumu metros:



134. zīm.

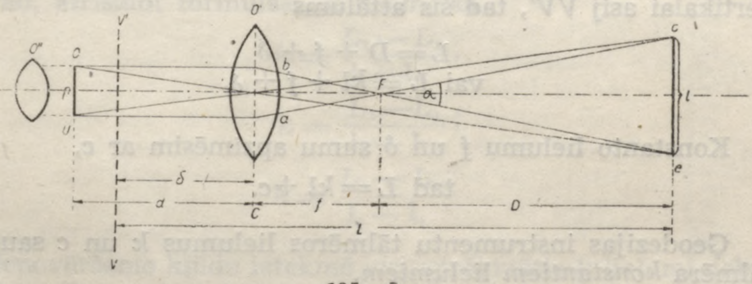
[1] Faktiski tālskata attēlā iedaļu numeracija pieaug no augšas uz apakšu.

augšējais pavediens *b* rāda nolasījumu .	.	49,40
apakšējais pavediens *a* rāda nolasījumu	.	32,20
attālums . .	.	17,20

Šajā gadījumā vidējais horizontalais pavediens *C* un vertikalais pavediens *d* attālumu noteikšanai nav nepieciešams, bet tie noder tālskata vizuras ass resp. vizuras līnijas noteikšanai.

151. Tālmēra teorija

Tālmēra teorijas iztirzāšanai iedomāsimies, ka 135. zīmējumā attēlots tālskata konstrukcijas schematiskais attēls ar šādiem apzīmējumiem:



135. zīm.

L — attālums no latas līdz instrumenta vertikalai asij, *ce* — lata, *ab* — tālskata objektivs, *ou* — tālmēra tīkliņš (pavedieni), *F* — priekšējais objektiva fokuss, *p* (= *ou* = *ab*) — attālums starp tālmēra pavedieniem, *f* — objektiva fokusa attālums, *l* — ar tālmēra pavedieniem ierobežotais latas garums, *D* — horizontalais attālums no latas līdz objektiva priekšējam fokusam, *VV'* — instrumenta vertikalā ass, δ — attālums no objektiva centra līdz instrumenta vertikalai asij (arī līdz tālskata gāšanas asij).

No optikas mums ir zināmi gaismas staru virzieni. Tie veido līdzīgus trijstūrus *Fce* un *Fab*, no kuriem varam uzrakstīt šādu attiecību:

$$\frac{D}{f} = \frac{ce}{ab}.$$

Tā kā $ce = l$ un $ab = p$, tad $\dfrac{D}{f} = \dfrac{l}{p}$

$$\text{un } D = \frac{f}{p} \cdot l.$$

Katra tālskata tālmēra f, p un δ lielumi ir konstanti, un tādēļ attiecība $\frac{f}{p}$ vienā tālskatī ir konstants lielums.

Šo lielumu apzīmēsim ar k, t. i.,

$$\frac{f}{p} = k,$$

$$\text{tad } D = k \cdot l.$$

No 135. zīmējuma mēs redzam, ka attālumu no latas līdz instrumenta objektiva priekšējam fokusam varam noteikt, ja zināsim koeficientu k un latas iedalījumus l.

Tā kā mums jānosaka attālums no latas ce līdz instrumenta vertikalai asij VV', tad šis attālums

$$L = D + f + \delta$$

$$\text{vai } L = kl + f + \delta.$$

Konstanto lielumu f un δ sumu apzīmēsim ar c,

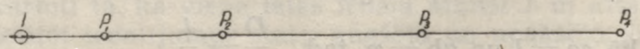
$$\text{tad } L = kl + c.$$

Ģeodezijas instrumentu tālmēros lielumus k un c sauc par tālmēra *konstantiem lielumiem.*

Šī tālmēra formula ir piemērojama attālumu noteikšanai, ja vizuras līnija ir horizontalā un lata vertikalā stāvoklī, t. i., ja vizuras ass ir perpendikulara latai. Dažu tālskatu konstrukcija izveidota tā, lai konstantais lielums $c = O$.

Tālmēra konstantu noteikšana. Tālmēra konstantos lielumus k un c varētu viegli aprēķināt, izmērījot tieši dotā tālskata f, p un δ lielumus. Praktiskā darbā tomēr tā nedara, bet konstantes nosaka šādi:

Pēc acumēra līdzenā, horizontalā vietā izvēlas apmēram 150 m garu līniju tā, lai būtu labi apstākļi līnijas garuma tiešai mērīšanai. Vienā līnijas galā nostājas ar instrumentu, piemēram, 136. zīmējuma punktā *I*.



136. zīm.

Tad rūpīgi, vairākkārt mērījot attālumus, nosakām uz izvēlētās līnijas zināmus attālumus no instrumenta vertikalās ass, piemēram: $IP_1 = 20$ m $= L_1$, $IP_2 = 50$ m $= L_2$, $IP_3 = 100$ m $= L_3$, $IP_4 = 150$ m $= L_4$. Pēc tam uz punktiem P_1, P_2, P_3, P_4 pēc kārtas uzliekam vertikalā stāvoklī latu un katrā attālumā nolasām tālmēra pavedienu ierobežojošo iedaļu skaitu l_1, l_2, l_3 un l_4. Tad pēc tālmēra formulas varam rakstīt, ka

$$L_1 = kl_1 + c \quad (1)$$
$$L_2 = kl_2 + c \quad (2)$$
$$L_3 = kl_3 + c \quad (3)$$
$$L_4 = kl_4 + c \quad (4)$$

Šajā formulā L un l lielumiem jābūt izteiktiem vienādās mēru vienībās.

Tad, atrisinot formulas, dabūsim, ka

$$k = \frac{L_2 - L_1}{l_2 - l_1};$$
$$k = \frac{L_3 - L_1}{l_3 - l_1};$$
$$k = \frac{L_4 - L_1}{l_4 - l_1}.$$

Nenovēršamo kļūdu ietekmē visi aprēķinātie k lielumi nebūs vienādi. Par patieso k lielumu jāuzskata aritmetiskais vidējais.

Ieliekot k skaitlisko lielumu (1), (2), (3) un (4) formulā, varēsim aprēķināt arī c lielumu:

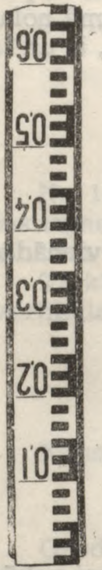
$$c = L_1 - kl_1 = L_2 - kl_2 = L_3 - kl_3 = L_4 - kl_4.$$

Ģeodezijā lietojamie tālmēri parasti konstruēti tā, lai koeficients k būtu vienlīdzīgs 100.

Otrs lielums c ir vienlīdzīgs apmēram pusotrreizējam tālskata garumam. Ja lielumi k un c nav noteikti zināmi, tad pirms tālmēra lietošanas attālumu noteikšanai vispirms jānosaka k un c lielumi.

152. Tālmēra latas un nolasījumi no latas

Parastās tālmēra latas ir gluži līdzīgas nivelēšanas latām, un tās var lietot tiklab attālumu noteikšanai, kā arī nivelēšanai. Latas pa lielākai daļai izgatavo no koka apmēram 5—10 cm platumā, 1—2 cm biezumā un 2—5 m garumā. Ērtākai transportēšanai latas mēdz izgatavot saliecamas, izbīdāmas un pat atsevišķos 1 m garos posmos. Pēdējās lietojamas piestiprinātas vienkāršai, taisnai koka latai. Bez tam vēl lietošanā sastopamas latu iedaļas uz saritināmas drēbes, metala vai cita materiala sloksnes. Protams, ka arī tās lietojamas tikai tad, ja ir piestiprinātas taisnai koka latai. 137. zīmējumā parādīts koka latas attēls.



137. zīm.

Latas iedaļas numeracija pieaug no nulles uz augšu, t. i., nulles galu nostāda vienmēr uz leju. Cipari uz latas pierakstīti ačgārni. Tas darīts tāpēc, ka ģeodezijas instrumentu tālskatos mēs redzam apgrieztos (ačgārnus) attēlus, tātad, ja cipari būs apgriezti — ačgārni, tad attēls būs tiešs, t. i., cipari attēlā projecēsies pareizā rakstībā. Latas iedaļām jābūt precizi iezīmētām, labi saskatāmām un ērti un viegli nolasāmām.

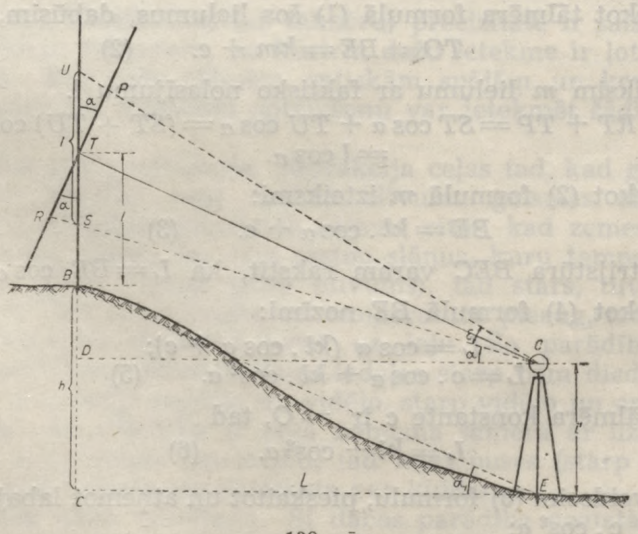
Labākai atšķirībai iedaļas dažreiz ir ik pēc katra metra krāsotas sarkanā un melnā krāsā. Latas nostāda uz zināma punkta vertikali. Pa lielākai daļai to izdara pēc acumēra, bet precizi vertikali latas var noturēt ar svērteņa vai līmeņrāža palīdzību. Nolasījumus no latas var nolasīt tā: pieņemsim, ka mums jānolasa 134. zīmējumā apakšējā pavediena *a* iezīmētā latas iedaļa. Mēs redzam, ka pavediens šķērso 3. decimetru, kas nozīmē, ka iedaļa ir lielāka par 30 cm; to paturam prātā un skatāmies, cik iedaļu tieši ir vairāk: skaitām — ir divas iedaļas, t. i., 2 cm, bet trešo iedaļu pavediens šķērso (pēc acumēra noteicot) 0,2 augstumā, un tātad pavedienu šķērsotā iedaļa (skaitot no apakšas uz augšu) ir 30 cm + 2 cm + 0,2 cm = 32,2 cm.

153. Latas pārbaude

Latām jābūt taisnām un tās iedaļām pareizām. Iedaļu pareizību pārbauda, salīdzinot tās ar pareizu metra mēra — etalona — iedaļām. Parastiem darbiem lata skaitās par pareizu, ja uz 1 m iedaļas nav lielāka atšķirība par $^1/_4$ mm. Latas lietojot, jāievēro latas garuma izmaiņas saraušanās un izstiepšanās temperaturas un mitruma ietekmē. Koka latas maz deformējas temperaturas ietekmē, bet no mitruma iedarbības latas izstiepšanās var dot vērā ņemamu kļūdu. Tāpēc precizas uzmērīšanas darbos (sevišķi precizā līmeņošanā) latas iedaļu pārbaude jāizdara vairākkārt un eventualas kļūdas jāieved un jāizlabo mērījumu rezultatos.

154. Slīpu līniju mērīšana ar tālmēru

Iztirzājot tālmēra lietošanas teoriju, mēs atzinām, ka, lai noteiktu attālumus ar tālmēru, lata ir jātur stateniski pret vizuras asi un ka līnijai (attālumam) dabā ir jābūt pēc acumēra horizontalai. Strādājot ar tālmēru, parasti nav izpildīta ne viena, ne otra prasība, t. i., latu nenotur vertikali pret vizuras asi, un līnijas dabā atrodas dažādos slīpumos. Tādēļ slīpu līniju mērīšanā ar tālmēru radīsies kļūdas: 1) kas ceļas no līnijas slīpuma un 2) no tā, ka lata nestāv stateniski vizuras asij. Pieņemsim, ka 138. zīmējumā ar tālmēru jānosaka slīpās līnijas BE horizontalās projekcijas garums L. Līnijas slīpuma leņķis ir α_1.



138. zīm.

Nolasījums no parastā veidā nostādītās latas US ir l. Instrumenta vizuras ass TO novirzīta uz latu US punktā T, kas atzīmēts uz latas instrumenta augstumā, lai $i = i'$.

Mēs redzam, ka nolasījums l saskaņā ar tālmēra teorijas (formulas) noteikumiem neder līnijas BE horizontalās projekcijas L noteikšanai, un tādēļ mums ir jāsastāda formula ar tādu izteiksmi, lai L garumu varētu izteikt ar mums zināmiem lielumiem, t. i., ar nolasījumu l un leņķi α (kā mēs vēlāk redzēsim, leņķi α ir viegli izmērīt ar instrumenta vertikalā loka palīdzību).

Pieņemsim, ka lata US ir sagriezta perpendikulari vizuras asij TO, tad sagrieztā lata PR praktiski veidos ar savu iepriekšējo stāvokli US leņķi α. Nolasījumu no latas šajā stāvoklī apzīmēsim ar m.

Šis nolasījums m atbilst līnijas TO noteikšanai pēc tālmēra formulas $L = kl + c$. (1)
(Praktiskiem aprēķiniem var pieņemt, ka leņķis $\alpha^1 = \alpha$, jo kļūda $^1/_2$ E, salīdzinot ar vērā ņemamo slīpuma leņķi α, ir niecīga — aptuveni 17′).

TO aprēķināšanai tālmēra formulas izteiksmē $L = kl + c$; pieņemsim, ka $L = TO$ un $l = m$.

Ieliekot tālmēra formulā (1) šos lielumus, dabūsim, ka

$$TO = BE = km + c. \quad (2)$$

Izteiksim m lielumu ar faktisko nolasījumu l.

$$m = RT + TP = ST \cos\alpha + TU \cos\alpha = (ST + TU) \cos\alpha = \\ = l \cos\alpha.$$

Ieliekot (2) formulā m izteiksmi:

$$BE = kl \,.\, \cos\alpha + c. \quad (3)$$

No trijstūra BEC varam rakstīt, ka $L = BE \cos\alpha$. (4)

Ieliekot (4) formulā BE nozīmi:

$$L = \cos\alpha \; (kl \,.\, \cos\alpha + c);$$
$$L = c \,.\, \cos\alpha + kl \,.\, \cos^2\alpha. \quad (5)$$

Ja tālmēra konstante c ir $= O$, tad

$$L = kl + \cos^2\alpha. \quad (6)$$

Pārveidosim (5) formulu, pieskaitot un atņemot labajai pusei lielumu $c \,.\, \cos^2\alpha$:

$$L = c \,.\, \cos\alpha + kl \,.\, \cos^2\alpha + c \,.\, \cos^2\alpha - c \,.\, \cos^2\alpha = \\ = (c + kl) \cos^2\alpha + c \,.\, \cos\alpha - c \,.\, \cos^2\alpha = \\ = (c + kl) \cos^2\alpha + c \,.\, \cos\alpha \; (1 - \cos\alpha) = \\ = (c + kl) \cos^2\alpha + 2c \,.\, \cos\alpha \,.\, \sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Tā kā formulas labajā pusē pēdējie locekļi ($2c \cdot \cos\alpha \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2}$) dod praktiskā darbā neievērojamus lielumus, tad tos no formulas var izmest, un tad

$$\boxed{L = (c + kl)\cos^2\alpha}$$

Ja mums būtu jānosaka punktu savstarpējais attālums vertikalā plaknē, t. i., attālums $BC = h$, tad, zinot lielumus L un $\sphericalangle \alpha$, mēs izskaitļojot dabūsim, ka

$$\boxed{h = {}^1/_2\,(c + kl)\sin^2\alpha}$$

Praktiskā darbā L un h lielumu noteikšanu bez tiešas izskaitļošanas var izdarīt pēc speciali tai vajadzībai sastādītām tabulām.

155. Ar tālmēru noteikta attāluma precizitate

Attālumu noteikšanas (ar tālmēru) precizitate ir saistīta ar ļoti daudziem faktoriem, no kuriem dažu ietekme ir ļoti grūti nosakāma. Bez paša tālmēra optiskām spējām un konstrukcijas precizitates attālumu noteikšanu var ietekmēt šādi dabas faktori:

1) *Gaisa slāņu refrakcija.* Refrakcija ceļas tad, kad gaismas staram ir jālaužas caur dažāda blīvuma gaismas slāņiem. Refrakcijas ietekme visspilgtāk jūtama rītos, kad zemes virsa ir vēsāka par gaisu. Ja stars sastop slāņus, kuru temperatura pazeminās (resp. pieaug gaisa blīvums), tad stars, tuvojoties zemei, tiek izliekts uz augšu. Ja temperatura pieaug, tad gaisa blīvums mazinās un stars liecas uz leju. Šo parādību var nojaust, salīdzinot nolasītās latas iedaļas starp trim diedziņiem atsevišķi, t. i., starp augšējo un vidējo, starp vidējo un apakšējo pavedienu. Ja atšķirība ir vērā ņemama samērā ar uzstādīto attālumu noteikšanas noteiktību, tad lejas puses (starp vidējo un apakšējo) nolasījums jāuzskata par kļūdainu.

2) *Gaisa slāņu vibrēšana.* Šī dabas parādība neatstāj tiešu ietekmi uz gaismas staru izliekumiem, bet ļoti apgrūtina iedaļu nolasīšanu. Vibrēšana rada latas iedaļu nejaušas nolasīšanas kļūdas. Vibrēšanu izskaidro ar gaisa slāņu tecēšanu, t. i., siltais, sakarsētais gaiss ceļas augšā un vēsākais slīd uz leju. Vislielākā gaisa vibrēšana nomanāma ap plkst. 10 dienā.

3) *Vējš.* Vējš iznīcina gaisa slāņu refrakcijas un vibrēšanas nelabvēlīgo ietekmi pareizai attāluma noteikšanai, bet tanī vietā dažkārt rada paša instrumenta trīcēšanu un latas novirzīšanos no vertikalā stāvokļa, kas savukārt var izsaukt kļūdainu iedaļu nolasīšanu un arī kļūdas, kas ceļas no latas slīpuma.

4) *Vizuras līnijas stāvoklis attiecībā pret sauli.* Ir novērots, ka ar tālmēru noteiktais attālums starp diviem punktiem virzienā pret sauli ir lielāks, nekā noteicot to pašu attālumu ar sauli, t. i., pretēji pirmajam virzienam. Šī parādība, domājams, ceļas no pavediena dažāda apgaismojuma. Ir konstatēts, ka aprādīto divu virzienu noteiktie attālumi atsevišķos gadījumos atšķiras viens no otra pat dažu decimetru apmēros.

Tā kā attālumu noteikšanas precizitati ietekmē ļoti daudzi faktori, kuru radītās kļūdas ir grūti nosakāmas, tad ar tālmēru noteikta attāluma precizitati katrā atsevišķā gadījumā grūti noteikt. Var pieņemt, ka labvēlīgos apstākļos ar tālmēru var noteikt attālumus ar viena decimetra noteiktību.

Labākus tālmēra noteiktības rezultatus var iegūt ar tālmēriem, kuriem latas iedaļas nolasa, turot latas horizontali.

XIII. UZMĒRĪŠANA AR TEODOLITU

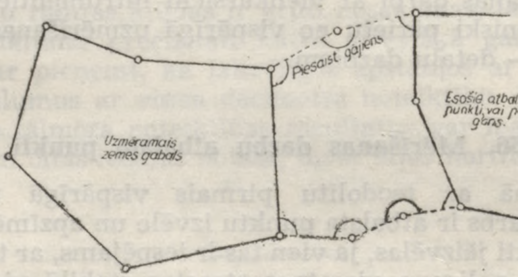
Uzmērīšanas darbi ar teodolitu jāiekārto tāpat kā horizontalās uzmērīšanas darbi ar vienkāršiem intrumentiem, t. i., lai darbs pakāpeniski pārietu no vispārīgā uzmērīšanas darba uz atsevišķiem — detaļu darbiem.

156. Mērīšanas darbu atbalsta punkti

Uzmērīšanā ar teodolitu pirmais vispārīgā uzmērīšanā ietilpstošais darbs ir atbalsta punktu izvēle un apzīmēšana dabā. Atbalsta punkti jāizvēlas, ja vien tas ir iespējams, ar tādu apsvērumu, lai: 1) poligona virsotnes atrastos stabilā vietā, 2) lai virsotņu savienotājas līnijas veidotu noslēgtu poligonu, 3) lai no vienas virsotnes varētu saredzēt poligona priekšējo un atpakaļējo virsotni, 4) lai būtu iespējama poligona malu garumu tiešā mērīšana, 5) lai poligona malas veidotu uzmērījamā zemes gabala robežas, 6) lai liekto (piemēram, upes krastu) konturu līniju uzmērīšanai varētu izlietot iezīmētos atbalsta punktus un to veidotās līnijas un 7) jāizlemj, kādu apzīmējumu ierīkot katrā virsotnē. Lai visus šos apsvērumus lietderīgi izlemtu, nepieciešams vispirms iepazīties ar uzmērījamā zemes gabala veidu, situaciju un reljefu, to iepriekš apstaigājot un pēc acumēra izgatavojot izmērījamā zemes gabala skici. Šādu iepazīšanos ar uzmērījamo zemes gabalu sauc par iepriekšējo *rekognoscēšanu*. Ja uzmērījamais zemes gabals ir ļoti liels, tad iepriekšējo rekognoscēšanu izdara ar busoli. Kad uzmērījamā zemes gabala skice ir izgatavota un tanī, vadoties pēc visiem apsvērumiem, ieprojektētas atbalsta punktu vietas, tad var sākt punktu apzīmēšanu dabā. Ikvienu virsotni dabā, skatoties pēc vajadzības, apzīmē ar vienu no agrāk apskatītiem punktu apzīmējumiem.

157. Tiešā piesaistīšana

Izdarot uzmērīšanu ar teodolitu, jānoskaidro, vai no jauna uzmērījamais zemes gabals nepierobežojas kādam jau agrāk uzmērītam zemes gabalam ar jau noteiktiem atbalsta punktiem. Tāpat jānoskaidro, vai uzmērījamā zemes gabala tuvākā apkaimē nav iekārtoti noteikti atbalsta punkti, kuru atrašanās vietas un stāvoklis noteikts dabā un uz plāna. Ja tādi viena vai otra veida atbalsta punkti ir, tad tiem jāpiesaista jaunuzmērījamais zemes gabals vai nu ar piesaistīšanas gājieniem, vai arī, ja iepriekš uzrādītais zemes gabals pierobežojas jaunuzmērījamam zemes gabalam, jāiesaista esošie atbalsta punkti uzmērījamā poligonā (sk. 139. zīmējumu).

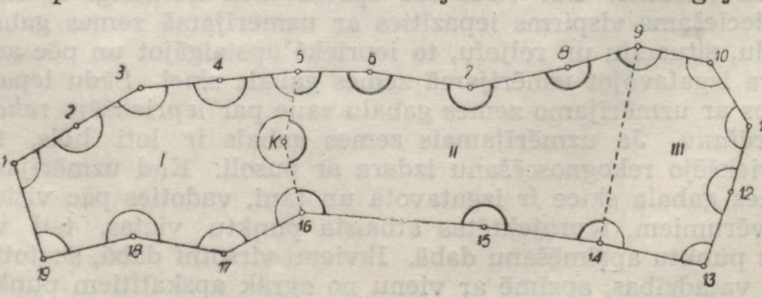


139. zīm.

158. Pamatgājieni

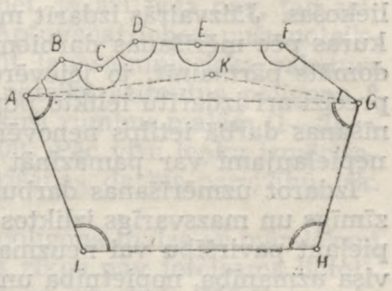
Atbalsta punktu un ar šo punktu noteikto malu uzmērījumu darbus ar teodolitu un mērsloksni sauc par *gājienu*.

Mēs jau zinām, ka atbalsta punktus ierīko ar tādu apsvērumu, lai visus uzmērīšanas darbus varētu balstīt uz izvēlētiem punktiem un to veidotām līnijām. Uzmērīšanas gājienus,



140. zīm.

uz kuriem balstās detaļu uzmērīšana, sauc par *pamatgājienu.* Tā, piemēram, 140. zīmējumā parādīto 19 virsotņu poligona uzmērīšanu var saukt par šā poligona pamatgājienu, jo uz šo gājiena balstīsies visa poligona iekšējās situacijas uzmērīšana. Turpretī 141. zīmējumā parādītā poligona *(ABCD ... IA)* pamatgājiens nenotiks pa visām poligona virsotnēm, bet gan *AKGHI* virsotnēm. Ar šādu gājiena kārtību no pamatgājiena būs izslēgtas virsotnes starp sešām līnijām, kas mērījumā dos daudz vairāk nenovēršamo kļūdu, nekā. tās izslēdzot, dos virsotne *K*. Šādu paņēmienu sevišķi ieteicams lietot arī tad, ja paši mērīšanas apstākļi ir neizdevīgi, piemēram, virsotnes atrodas staignā, nesaturīgā purvājā.



141. zīm.

Virsotni *K* izvēlas brīvi ar tādu apsvērumu, lai mērīšanas apstākļi būtu iespējami labākie. Ja attālums *AG* nav pārāk liels (pāri par 150—200 m) un vizuras līniju *AG* nešķērso nekādi šķēršļi, tad pamatgājienu izdara tieši no virsotnes *A* uz *G*. Pamatgājienam jāpieslēdz atlikušās poligona daļas *ABDEFG(K)A* poligona gājiens, turklāt radušās kļūdas un nesaistes izlabo un nosien atsevišķi.

159. Diagonalie pamatgājieni

Daudzvirsotņu poligona uzmērīšanas darbos bez nenovēršamām sistematiskām kļūdām bieži vien ieviešas arī rupjās kļūdas. Lai rupjās kļūdas būtu iespējams vieglāk atklāt un pārbaudīt, mazināt nenovēršamo kļūdu uzkrāšanos un atvieglināt šo abējādo kļūdu izlīdzināšanu, tad lielāku poligonu uzmērījumu gadījumos jāizdara diagonalie pamatgājieni. Diagonalie pamatgājieni ir taisnas vai lauztas līnijas, kas savieno divas ar poligona līnijām savstarpēji nesaistītas poligona virsotnes. Lai diagonalgājieni ievērojami nepalielinātu uzmērīšanas darbus, tad tos izvēlas iespējami sašaurinātās poligona vietās. 140. zīmējumā parādīts izstiepts 19 virsotņu poligons ar diviem diagonaliem pamatgājieniem. *K* virsotne izvēlēta dabas apstākļu dēļ, jo no 5. līdz 16. virsotnei tiešs mērījums nebija iespējams.

160. Zemes gabalu robežu uzmērīšana

Uzmērīšanas darbu iekārtošana un noorganizēšana jāizdara pēc mums jau zināmā darbu iedalījuma. Pirms uzsākt tiešos mērīšanas darbus, jānoskaidro, vai ieliktās punktu zīmes ir paliekošas. Jāizvairās izdarīt mērīšanas darbus uz punktu zīmēm, kuras pēc mērīšanas darbiem vai arī mērīšanas darbu laikā ir domāts pārmainīt, jo jāievēro, ka, lai cik rūpīgi, uzmanīgi un precizi arī izdarītu ielikto punktu zīmju pārmainīšanu, pārmainīšanas darbā ietilps nenovēršamas kļūdas, kas nevajadzīgi un nepieļaujami var pamazināt uzmērīšanas darbu precizitati.

Izdarot uzmērīšanas darbus, jāievēro, ka, lai arī cik maznozīmīgs un mazsvarīgs izliktos kāds darbs, nekad nedrīkst darbā pieļaut paviršību vai neuzmanību. Strādājot darbam jāpievērš visa uzmanība, nopietnība un visas domas.

142. zīm.

Uzsākot mērīšanas darbus, vispirms jāizvēlas sākuma punkts. Par sākuma punktu var izvēlēties jebkuru poligona virsotni. Pieņemsim, ka mums ir bijis jāuzmērī 142. zīmējumā parādītais 8 virsotņu poligons. Par sākuma punktu esam izvēlējušies

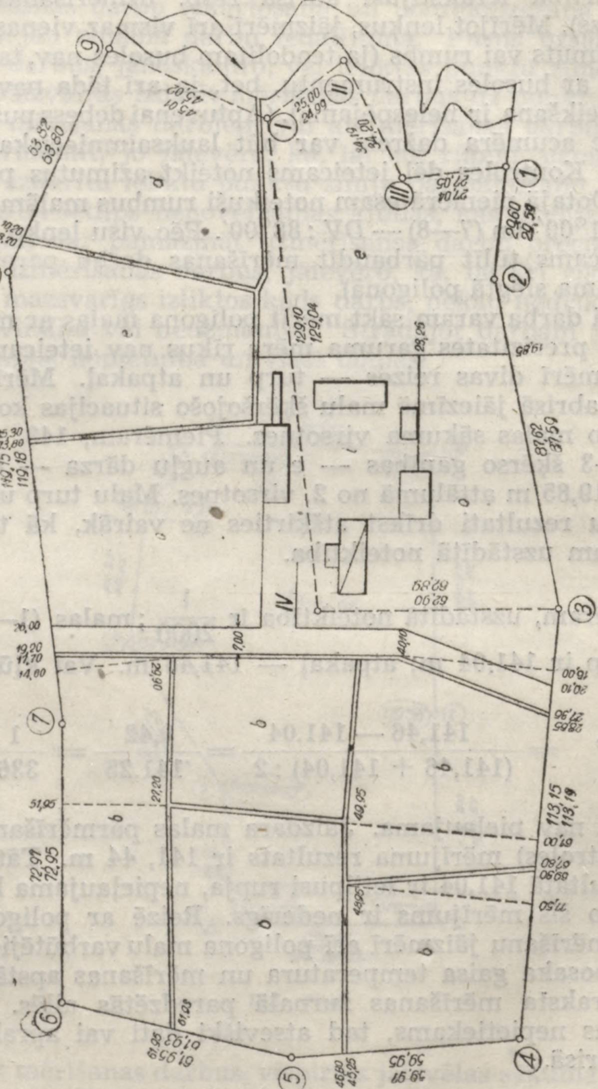
1. virsotni. Poligona virsotņu leņķu mērījumus esam mērīšanas gaitas kārtībā ierakstījuši abrisā resp. uzmērīšanas žurnālā (sk. Abriss). Mērījot leņķus, jāizmērī arī vismaz vienas poligona malas azimuts vai rumbs (ja teodolitam busoles nav, tad azimuts jānosaka ar busoles instrumentu, bet, ja arī tāda nav, tad azimutu noteikšana ir neiespējama). (Aptuvenai debess pušu noteikšanai pēc acumēra dažreiz var būt lauksaimnieciska rakstura nozīme). Kontroles dēļ ieteicams noteikt azimutus poligona 2 malām. Dotajā piemērā esam noteikuši rumbus malām (1—2) — — $ZV : 41°00'$ un (7—8) — $DV : 88°00'$. Pēc visu leņķu izmērīšanas ieteicams tūlīt pārbaudīt mērīšanas darbu pareizību (sk. Leņķu suma slēgtā poligonā).

Pēc šā darba varam sākt mērīt poligona malas ar mērsloksni (zemākas precizitates garuma mēra rīkus nav ieteicams lietot). Malas jāmērī divas reizes — turp un atpakaļ. Mērījot malu garumu, abrisā jāiezīmē malu šķēršojošo situacijas konturu attālumi no malas sākuma virsotnes. Piemēram, 143. zīmējumā malu 2—3 šķērso ganības — *e* un augļu dārza — *o* robežas kontura 19,85 m attālumā no 2. virsotnes. Malu turp un atpakaļ mērījumu rezultati drīkst atšķirties ne vairāk, kā to pieļauj mērījumam uzstādītā noteiktība.

Piemēram, uzstādītā noteiktība ir $\frac{1}{2000}$; malas (1—2) mērījums turp ir 141,04 m; atpakaļ — 141,46 m. Vai kļūda f pieļaujama?

$$f = \frac{141{,}46 - 141{,}04}{(141{,}46 + 141{,}04) : 2} = \frac{0{,}42}{141{,}25} = \frac{1}{336}.$$

Kļūda nav pieļaujama. Jāizdara malas pārmērīšana. Trešā (t. i., kontroles) mērījuma rezultats ir 141, 44 m. Tātad mērījuma rezultatā 141,04 ir ietilpusi rupja, nepieļaujama kļūda, un līdz ar to šis mērījums ir nederīgs. Reizē ar poligona malu garumu mērīšanu jāizmērī arī poligona malu varbūtējie slīpuma leņķi, jānosaka gaisa temperatura un mērīšanas apstākļi. Visi dati jāieraksta mērīšanas žurnālā paredzētās ailēs. Ja ailes iedalījums nepietiekams, tad atsevišķi dati vai apraksti jāieraksta abrisā.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
I
II
III
IV
129,10
129,04
113,15
113,19
87,62
37,50
25,00
24,99

143. zīm.

161. Abriss — uzmērīšanas žurnāla lapa

Stāvvietas (leņķa) Nr. un zīme	Novēr. punktu Nr.	Noniji I (A)		II (B)	Novēr. vidējie		Leņķi			Vidējie leņķi			Izmērīto līniju rumbi vai azimuti	Izmērīto līniju garumi m	Piezīmes t°, slīpuma leņķi u. c.
		°	'	'	'	"	°	'	"	°	'	"			
1 ak.	8	336°	34	34	34	—	205	39	—						Temperatura 15° C; laiks skaidrs. Mērīšanas apstākļi labi.
	2	130°	55	55	55	—				205	38	45			
	8	75	01	02	01	30	205	38	30						
	2	229	23	23	23	—							ZV:41°00'	141,46 141,44	
2 st.	1	192	13	14	13	30	159	04	—						
	3	33	09	10	9	30				159	04	30			
	1	320	21	22	21	30	159	05	—						
	3	161	16	17	16	30								90,95 90,95	
3 st.	2	238	30	31	30	30	123	14	30						
	4	115	16	16	16	—				123	14	30			
	2	113	04	05	04	30	123	14	30						
	4	349	50	50	50	—								55,65 55,65	
4 st.	3	25	18	18	18	—	126	23	—						
	5	258	55	55	55	—				126	23	30			
	3	144	17	17	17	—	126	24	—						
	5	17	53	53	53	—								257,63 257,57	
5 c. ak.	4	101	24	25	24	30	91	20	—						
	6	10	04	05	4	30				91	20	—			
	4	0	47	47	47	—	91	20	—						
	6	269	27	27	27	—								164,57 164,55	
6 c. ak.	5	142	15	15	15	—	179	56	—						
	7	322	19	19	19	—				179	56	—			
	5	360	0	0	0	—	179	56	—						
	7	180	04	04	04	—								150,90 150,87	

Stāvvietas (leņķa) Nr. un zīme	Novēr. punktu Nr	Noniji I (A) °	'	II (B) "	Novēr vidējie '	"	Leņķi °	'	"	Vidējie leņķi °	'	"	Izmērīto līniju rumbi vai azimuti	garumi m	Piezīmes t°, slīpuma leņķi u. c.
7 ç. ak.	6	264	26	27	26	30	91	00	30	91	00	15			
	8	173	26	26	26	—									
	6	131	24	24	24	—	91	00	—						
	8	40	24	24	24	—							DV:88°00′	149,35 149,31	
8 ak.	7	48	05	05	05	—	103	21	—	103	21	30			
	1	304	44	44	44	—									
	7	168	25	25	25	—	103	22	—						
	1	65	03	03	03	—								88,01 88,01	

Izmērītie $\Sigma\beta^1 = 1079°59'$

Teoretiskie $\Sigma\beta = -1080°$

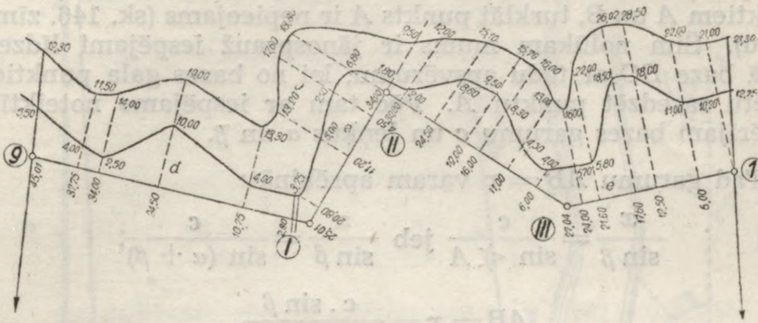
Pieļaujamā $f_\beta = \pm 1{,}5 \,.\, 1' \sqrt{8} = \pm 4{,}5'$; $f_\beta = -0°01'$.

162. Iekšējās situacijas uzmērīšana

Iekšējās situacijas uzmērīšanu var izdarīt ar dažādiem mums jau agrāk apskatītiem uzmērīšanas paņēmieniem. Situacijas uzmērīšanas darbu izdarot, jāsastāda rūpīgs abriss. Ja situacija ir sarežģīta un tā aizņem lielāku platību, tad abriss jāsastāda uz vairākām lapām. Pieņemsim, ka mums ir bijis jāuzmērī 143. zīmējumā parādītais zemes gabals, kas no 1—2— ... — 9 punktiem ir ierobežots ar taisnām, lauztām līnijām, bet no 1. līdz 9. punktam zemes gabalu ierobežo upe. Lai atbalsta punkti būtu saistīti poligonā un lai upi varētu uzmērīt pēc taisnleņķu koordinatu metodes, gar upes krastu ierīkoti atbalsta punkti I, II un III. Atbalsta punkts IV ierīkots ar apsvērumu, lai arī poligona iekšējo situaciju varētu ērti uzmērīt pēc taisnleņķu koordinatu metodes. Situacijas uzmērīšanas abriss sastādīts trīs atsevišķās daļās:

1) viena poligona situacijas daļa starp virsotnēm 3—4 ... 7 parādīta kopīgā poligona abrisā;

2) robežupītes uzmērīšanas abriss sastādīts atsevišķi (sk. 144. zīmējumu);



144. zīm.

3) ēku rajona abriss sastādīts uz atsevišķas lapas (sk. 145. zīmējumu).

Abrisā noteikti jāuzrāda atbalsta punkti un arī nākošo, tuvāko atbalsta punktu virzieni un nosaukumi, piemēram, 145. zīmējumā II, I, 9, IV un 3.

Tāpat jāuzrāda zemes izmantošanas veida apzīmējumi: *a* — sakņu dārzs, *b* — tīrums, *c* — atmata, *d* — pļava, *e* — ganības, *i* — pagalms un ceļi, *m* — mežs, *ū* — ūdeņi utt.

163. Dažādi uzmērīšanas paņēmieni

Uzmērīšanas darbos ar teodolitu var lietot visus tos pašus paņēmienus, kādus mēs jau apskatījām uzmērīšanas darbos ar busoli. Teodolitu kā daudz pilnīgāku ģeodezijas instrumentu (par agrāk apskatītiem) uzmērīšanas darbos lieto daudz plašākos apmēros dažādu uzdevumu veikšanai. Mērniekam katrā atsevišķā darbā rūpīgi jāapsver, kāds uzmērīšanas paņēmiens kurā vietā jālieto, lai sasniegtu lielāku darba precizitati un ražību. Vienā uzmērīšanas darbā bieži vien būs izdevīgi lietot dažādu paņēmienu kombinacijas.

164. Nepieejamu attālumu noteikšana

Bez iepriekš apskatītā krustojuma paņēmiena ar teodolitu var noteikt ne tikvien kā punkta stāvokli attiecībā no bazes, bet arī nepieejamā punkta attālumu.

Piemēri.

1) *Noteikt attālumu starp diviem punktiem, no kuriem viens ir nepieejams.* Pieņemsim, ka mums ir jānosaka attālums starp punktiem A un B, turklāt punkts A ir nepieejams (sk. 146. zīmējumu). Šim nolūkam mums ir jānosprauž iespējami līdzenā vietā baze BC ar tādu apsvērumu, lai no bazes gala punktiem varētu saredzēt punktu A. Pēc tam ar iespējamo noteiktību izmērījam bazes garumu c un leņķus α un β.

Tad garumu $AB = x$ varam aprēķināt:

$$\frac{x}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\sphericalangle A} \text{ jeb } \frac{x}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin(\alpha+\beta)};$$

$$AB = x = \frac{c \cdot \sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}.$$

P i e z ī m e. Bazi BC ieteicams nospraust tā, lai leņķi α un β nebūtu ļoti šauri vai arī tuvi 90°, jo tad varbūtējas leņķu mērīšanas kļūdas jūtami ietekmē aprēķināmo attālumu AB.

2) *Noteikt attālumu starp diviem nepieejamiem punktiem.* 147. zīmējumā attēloti nepieejamie punkti A un B; jānosaka attālums starp šiem punktiem x. Tāpat jānosprauž un jāizmērī atkal baze $CD = c$ un jāizmērī visi pie bazes veidojušies leņķi: α, β, γ, δ, ε un λ.

Kad tas izdarīts, var sākt attāluma x aprēķināšanu.

Tā kā $\triangle ACD$ mala CD un abi piegulošie leņķi γ un δ ir zināmi, tad malu AC varam aprēķināt šādi:

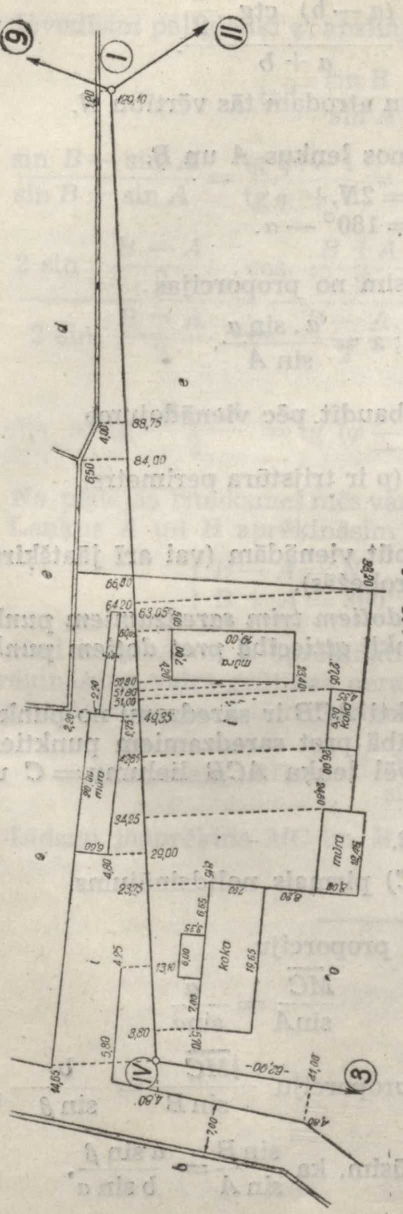
$$\frac{AC}{\sin\delta} = \frac{CD}{\sin CAD}, \text{ bet } \sphericalangle CAD = 180° - (\sphericalangle\gamma + \sphericalangle\delta).$$

$$AC = \frac{c\sin\delta}{\sin[180° - (\gamma+\delta)]}.$$

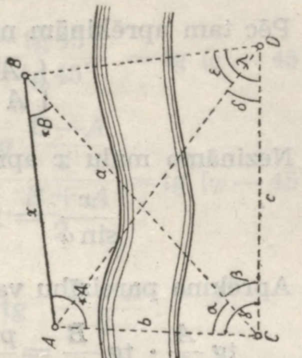
Līdzīgi aprēķinām $\triangle BCD$ malu BC.

Pēc tam meklējamo attālumu $x = AB$ aprēķinām kā $\triangle ABC$ malu, jo šim trijstūrim abas pārējās malas un leņķis starp tām ir zināmi:

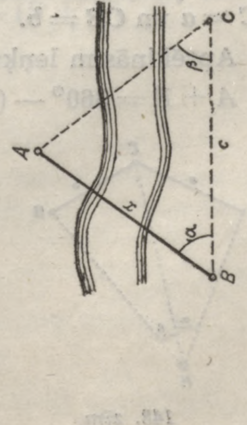
$$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg}\frac{A-B}{2}}; \text{ nezināmo } \frac{A-B}{2} \text{ izteiksim šādi:}$$



145. zīm.



147. zīm.



146. zīm.

$$\operatorname{tg}\frac{A-B}{2}=\frac{(a-b)\operatorname{ctg}\frac{a}{2}}{a+b}.$$

Šo izteiksmi logaritmējam un atrodam tās vērtību N.

Pēc tam aprēķinām nezināmos leņķus A un B.

$$\begin{cases} A-B=2N, \\ A+B=180^\circ-\alpha. \end{cases}$$

Nezināmo malu x aprēķināsim no proporcijas

$$\frac{x}{\sin\alpha}=\frac{a}{\sin A};\ x=\frac{a\,.\sin\alpha}{\sin A}.$$

Aprēķina pareizību var pārbaudīt pēc vienādojuma

$$\operatorname{tg}\frac{A}{2}\cdot\operatorname{tg}\frac{B}{2}=\frac{p-x}{p};$$ (p ir trijstūra perimetrs).

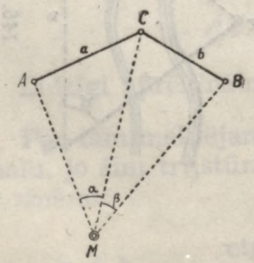
Izskaitļojot abām pusēm jābūt vienādām (vai arī jāatšķiras uzstādītās pieļaujamās kļūdas robežās).

3) *Potenota uzdevums. Pēc dotiem trim saredzamiem punktiem noteikt trešā punkta stāvokli attiecībā pret dotiem punktiem.*

148. zīmējumā attēlotie punkti ACB ir saredzami no punkta M, kura atrašanās vietu attiecībā pret saredzamiem punktiem mums jānosaka. Mēs zinām vēl leņķa ACB lielumu $=C$ un $AC=a$ un $CB=b$.

Aprēķināsim leņķus A un B.

$A+B=360^\circ-(\alpha+\beta+C)$ pirmais nolīdzinājums.



148. *zīm.*

Izdalot proporciju

$$\frac{\overline{MC}}{\sin A}=\frac{a}{\sin\alpha}$$

ar proporciju $\frac{\overline{MC}}{\sin B}=\frac{b}{\sin\beta}$,

dabūsim, ka $\frac{\sin B}{\sin A}=\frac{a\sin\beta}{b\sin\alpha}$.

Ievedīsim palīglenķi φ, apzīmējot izteiksmi $\frac{a \sin \beta}{b \sin \alpha}$ ar $\operatorname{tg} \varphi$,

$$\text{tad } \frac{\sin B}{\sin A} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{1};$$

$$\frac{\sin B - \sin A}{\sin B + \sin A} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - 1}{\operatorname{tg} \varphi + 1} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} 45^\circ}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} 45^\circ} = \operatorname{tg} (\varphi - 45^\circ);$$

$$\frac{2 \sin \frac{B - A}{2} \cdot \cos \frac{B + A}{2}}{2 \sin \frac{B + A}{2} \cdot \cos \frac{B - A}{2}} = \frac{\operatorname{tg} \frac{B - A}{2}}{\operatorname{tg} \frac{B + A}{2}} = \operatorname{tg} (\varphi - 45^\circ);$$

$$\operatorname{tg} \frac{B - A}{2} = \operatorname{tg} (\varphi - 45^\circ) \cdot \operatorname{tg} \frac{B + A}{2}.$$

No pēdējās izteiksmes mēs varam aprēķināt $B - A$ lielumu N. Leņķus A un B aprēķināsim no šādām izteiksmēm:

$$\begin{cases} B - A = N, \\ B + A = 360^\circ - (\alpha + \beta + C). \end{cases}$$

Kad leņķi A un B aprēķināti, tad pārējo nezināmo lielumu aprēķināšana vairs grūtības nerada, jo tos viegli aprēķināt pēc trigonometrijas parastām formulām.

$$\text{Piemēram : } MB = \frac{b \cdot \sin . [180^\circ - (\beta + B)]}{\sin . [180^\circ - (B + \beta)]}.$$

Līdzīgi jāaprēķina MC un MA lielumi.

XIV. AR TEODOLITU IEGŪTO UZMĒRĪŠANAS MATERIALU APSTRĀDĀŠANA

165. Leņķu suma slēgtā poligonā

No elementarās ģeometrijas ir zināms, ka ikviena slēgta daudzstūra teoretiskā iekšējo leņķu suma ir vienlīdzīga $2d\ (n-2)$.

Ja mēs poligona iekšējo leņķu sumu apzīmēsim ar $\Sigma\beta$, tad šī formula pieņems šādu izteiksmi:

$$\Sigma\beta = 2d\ (n-2),$$

kurā d ir taisns leņķis $= 90^\circ$, bet n poligona virsotņu (leņķu) skaits.

166. Leņķu nesaiste un tās izlīdzināšana

Tā kā nevienā leņķu mērījumā nav iespējams iegūt leņķa absoluto (patieso) lielumu, bet gan tikai tā tuvināto lielumu, tad viegli saprotams, ka mērījumos iegūto leņķu kopsuma nesakritīs ar teoretisko kopsumu un radīsies starpība, kuru sauc par *leņķu nesaisti.*

Ja leņķu nesaisti apzīmēsim ar f_β,
teoretisko leņķu sumu ar $\Sigma\beta$
un mērījumā iegūto leņķu sumu ar $\Sigma\beta^1$,
tad $\Sigma\beta^1 - \Sigma\beta = f_\beta$
jeb $f_\beta = \Sigma\beta^1 - 2d\,.\,(n-2).$

Ja izmērīti ārējie leņķi, tad

$$f_\beta = \Sigma\beta^1 - 2d\,.\,(n+2).$$

Mērījumos pieļaujamā leņķu nesaiste (f_β) ir noteikta mērniecības instrukcijās.

Parastos zemes gabalu uzmērījumos pieņem, ka nesaiste nedrīkst būt lielāka par $\pm$ 1,5 $t'\sqrt{n}$, kur t ir instrumenta nonija noteiktība un n — poligona virsotņu skaits.

Leņķu nesaistes augstākā pieļaujamā robeža pieņemta

$$f_\beta = \pm 3 \,.\, t'\sqrt{n}.$$

Leņķu nesaisti nosaka pēc mērīšanas žurnalā izskaitļotiem „vidējiem leņķiem", tos sasumējot. Piemēram, iepriekš uzrādītā uzmērīšanas žurnalā un 142. zīmējumā parādītā poligona izmērīto leņķu suma $\Sigma\beta^1 = 1079°59'$,

$$\text{tad } f_\beta = \Sigma\beta^1 - 2d \,.\, (n-2) = 1079°59' - 180° \,.\, (8-2) =$$
$$= 1079°59' - 1080°00' = -0°01'.$$

Dotajā gadījumā leņķu mērījumu maksimalā pieļaujamā nesaiste noteikta pēc formulas $f_\beta = \pm\, 1{,}5\; t'\sqrt{8} \cong \pm\, 4{,}5'$.

Tā kā mērījumu nesaiste nepārsniedz pieļaujamo kļūdu, tad tā jāsadala vai jānosien izmērītos leņķos tā, lai to suma dotu poligona teoretisko leņķu sumu.

167. Leņķu nosiešana

Pieļaujamās leņķu nesaistes ir jāizlabo, t. i., jānosien. Uzmērīšanas žurnalā dotā piemērā mērījuma nesaiste $= - 0°01'$.

Pieļaujamā $= 4{,}5'$.

Tātad kļūda — 01′ ietilpst pieļaujamības robežās un tā jānosien. Ja visas poligona malas būtu vienādā garumā, tad šī nesaiste būtu sadalāma proporcionali uz visiem poligona leņķiem, bet tā kā malu garumi ir dažādi un leņķu mērījumu rezultati arvien ir jānoapaļo zināmās mēra vienībās, vai nu sekundēs vai minutēs, tad leņķu nesaisti nenosien uz visiem leņķiem. Nosiešanu izdara, skatoties pēc uzstādītām prasībām, vai nu līdz veselām sekundēm vai minutēm. Dotajā gadījumā uzstādīta prasība leņķus noteikt ar 1′ noteiktību. Tā kā izmērītie vidējie leņķi izteicas jau ar $^1/_4$ minutēm resp. 15″, tad sekundes, nosienot nesaisti, reizē ir arī jānoapaļo līdz veselām minutēm tā, lai leņķu kopsuma būtu teoretiski pareiza, t. i., lai $180° \,.\, (n-2) = 1080°$.

Lai leņķus viegli un pārskatāmi varētu nosiet, jāizgatavo leņķu nosiešanas schema. Dotajā gadījumā tā parādīta uzmērīšanas žurnala 142. zīmējumā.

Uzskatot schemu un paturot prātā uzstādīto prasību, mēs redzam, ka mums jāizpilda divi uzdevumi: 1) jānoapaļo leņķi līdz minutēm un 2) jāizlīdzina nesaiste — 01′. Ņemsim poligona 1 virsotni, kur redzam, ka, šo leņķi labojot par + 15″, būsim izpildījuši abus uzdevuma noteikumus. Visu leņķu labojumi būs šādi:

1.	virsotnē	+ 15″
2.	„	+ 30″
8.	„	+ 30″
7.	„	— 15″
3.	„	— 30″
4.	„	+ 30″
kopā		+ 60″ = + 01′.

Sasumējot leņķu nosiešanas lielumu, mēs redzam, ka labojumu suma + 01′ ir ar pretējo zīmi vienāda ar nesaisti — 01′. Tātad nosieto leņķu kopsumai jāsakrīt ar teoretisko poligona iekšējo leņķu sumu.

168. Leņķu nesaistes sadalīšana poligonu tīklā

Ja uzmērītais zemes gabals ir sadalīts vairākos noslēgtos poligonos, tad leņķu nesaistes nosienamas katrā poligonā atsevišķi, turklāt, ja nesaistes ir ar vienādām zīmēm, tad leņķu nesaistes sadalāmas starp tiem leņķiem, kurus neveido poligonu kopējās malas. Nesaistes nosiešana jāizdara ar tādu apsvērumu, lai atvieglotos leņķu nosiešana blakus poligonos un lai nesaiste samazinātos poligonā ar mazāko virsotņu skaitu.

169. Azimutu un rumbu aprēķināšana un kontrole

Pieņemsim, ka 149. zīmējumā poligonam *ABCD* izmērīts līnijas *(AB)* azimuts α_1 un visi iekšējie leņķi, t. i., leņķi pa labi.

No 149. zīmējuma varam rakstīt, ka

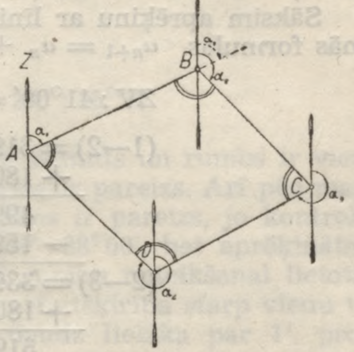
$$\alpha_1 + 180° = \alpha_2 + \sphericalangle B, \qquad \text{tad } \alpha_2 = \alpha_1 + 180° - \sphericalangle B$$
$$\alpha_2 + 180° = \alpha_3 + \sphericalangle C \qquad \alpha_3 = \alpha_2 + 180° - \sphericalangle C$$
$$\alpha_3 + 180° = \alpha_4 + \sphericalangle D \qquad \alpha_4 = \alpha_3 + 180° - \sphericalangle D$$
$$\alpha_4 + 180° = \alpha_1 + \sphericalangle A \qquad \alpha_1 = \alpha_4 + 180° - \sphericalangle A$$

Vispārināti:

$$_{n+1} = \alpha_n + 180° - \sphericalangle L; \quad \sphericalangle L = \text{leņķis pa labi.}$$

No atrisinātajām formulām mēs varam secināt, ka: *nākošās līnijas azimuts līdzinās iepriekšējam līnijas azimutam plus 180° minus leņķis, kas ir pa labi.*

Šī formula ģeodezisko mērījumu aprēķinos ir nepieciešama v i s o s g a d ī j u m o s, kad poligonā vai nenoslēgtā gājienā mērīti horizontalie leņķi un poligona malām jānosaka azimuti vai rumbi.



149. zīm.

Apskatīsim, kādu veidu šī formula pieņems, ja tajā ievietojam leņķus, kas ir pa kreisi resp. ārējos leņķus.

Mēs zinām, ka, piemēram, leņķis pa kreisi $\sphericalangle CBA$ + leņķis pa labi $\sphericalangle ABC = 360°$, vai, citādi izsakot,

$\sphericalangle L + \sphericalangle K = 360°$, $\sphericalangle L =$ leņķis pa labi,
$\sphericalangle L = 360° - \sphericalangle K$. $\sphericalangle K =$ „ „ kreisi.

Ieliekam šo izteiksmi vispārinātā formulā:
$a_{n+1} = a_n + 180° - \sphericalangle L$; dabūsim, ka
$a_{n+1} = a_n + 180° + \sphericalangle K - 360°$ (azimuts nemainās, ja tam pieskaita vai atņem 360°),
tad $a_{n+1} = a_n - 180° + \sphericalangle K$.

Ja mūsu rīcībā ir poligona ārējie leņķi, t. i., gājienā leņķi pa kreisi, tad azimutu formula izteicas: *nākošās līnijas azimuts līdzinās iepriekšējam līnijas azimutam minus 180° plus leņķis, kas ir pa kreisi.* Šis azimutu aprēķināšanas formulas veids ir samērā reti lietojams, jo parasti mērījumos iegūst poligona iekšējos leņķus, t. i., leņķus, kas ir pa labi. Pēc vispārinātās formulas, to pārveidojot, mēs varam pēc līniju azimutiem aprēķināt leņķus.

Aprēķināsim leņķi, kas ir pa kreisi:
$a_{n+1} = a_n - 180° + \sphericalangle K$; $\sphericalangle K = a_{n+1} - a_n + 180°$,
un leņķi, kas ir pa labi:
$a_{n+1} = a_n + 180° - \sphericalangle L$; $\sphericalangle L = a_n - a_{n+1} + 180°$.

Ņemsim piemēru no uzmērīšanas žurnalā uzrādītiem mērījumu datiem. Kad leņķi ir nosieti, tad var sākt azimutu un rumbu aprēķināšanu. Dotajā piemērā ir noteikti divu līniju rumbi: (1—2) = $ZV : 41°00'$ un (7—8) = $DV : 88°00'$.

Sāksim aprēķinu ar līnijas (1—2) rumbu. Pēc mums zināmās formulas $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180° - \sphericalangle L$ varam rēķināt, ka

$$ZV : 41°00' = \text{azimutam } 319°00'.$$

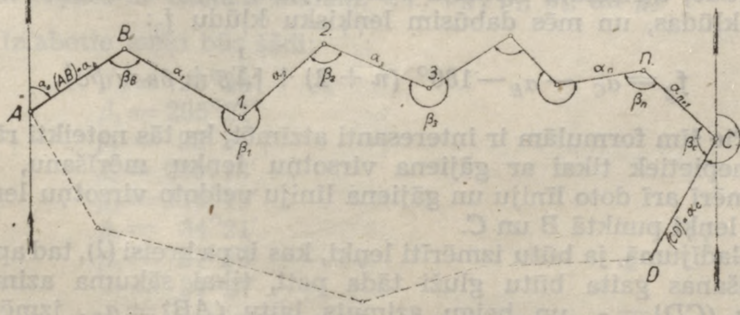
$$\begin{array}{lrl}
(1—2) = & 319°00' & = ZV : 41°00' \\
 & + 180°00' & \\ \hline
 & 499°00' & \\
 & - 159°05' & \text{nosietais } \sphericalangle 2 \\ \hline
(2—3) = & 339°55' & = ZV : 20°05' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 519°55' & \\
 & - 123°14' & \text{nosietais } \sphericalangle 3 \\ \hline
 & 396°41' & \\
 & - 360° & \\ \hline
(3—4) = & 36°41' & ZR : 36°41' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 216°41' & \\
 & - 126°24' & \\ \hline
(4—5) = & 90°17' & = DR : 89°43' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 270°17' & \\
 & - 91°20' & \\ \hline
(5—6) = & 178°57' & = DR : 01°03' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 358°57' & \\
 & - 179°56' & \\ \hline
(6—7) = & 179°01' & = DR : 0°59' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 359°01' & \\
 & - 91°00' & \\ \hline
(7—8) = & 268°01' & = DV : 88°01' \\
 & + 180° & \\ \hline
 & 448°01' &
\end{array}$$

$$
\begin{array}{r}
448^{0}01' \\
-103^{0}22' \\
\hline
(8-1)=344^{0}39' = ZV : 15^{\circ}21' \\
+180^{0} \\
\hline
524^{0}39' \\
-205^{0}39' \\
\hline
(1-2)=319^{0}00' = ZV : 15^{\circ}21'
\end{array}
$$

Tā kā aprēķinātais (1—2) līnijas azimuts un rumbs ir vienlīdzīgs dotajiem, tad azimutu aprēķins ir pareizs. Arī pēc magnetiskās šautriņas noteiktais meridians ir pareizs, jo kontrolei noteiktais līnijas (7—8) rumbs ir $DV : 88^{\circ}00'$, bet aprēķinātais (7—8) rumbs ir $DV : 88^{\circ}01'$. Tā kā rumbu noteikšanai lietotās busoles noteiktība ir bijusi 30', tad arī atšķirība starp vienu un otru noteikto rumbu varēja būt daudz lielāka par 1', proti $\pm$ 30'.

170. Nenoslēgta gājiena nesaiste

Pieņemsim, ka 150. zīmējumā mums ir doti līniju *AB* un *CD* azimuti un izmērīti gājiena leņķi β_B, β_1, β_2, β_3 utt. *n* virsotnēm pa labi. Doto līniju azimutus apzīmēsim ar *(AB)* un *(CD)*, bet aprēķināmo līniju azimutus ar α_1, α_2, $\alpha_3 \ldots \alpha_{n+1}$. Leņķus apzīmēsim ar virsotņu apzīmējumiem: $\sphericalangle \beta_B$, β_1, β_2, $\beta_3 \ldots \beta_n$, β_C.



150. zīm.

Pēc zīmējuma mēs redzam, ka izmērīto leņķu skaits ir $n + 2$, t. i., $\sum\limits_{n}^{1} \sphericalangle \beta + [\sphericalangle \beta_B + \sphericalangle \beta_C]$.

Piemērojot iepriekšējo formulu $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180° - \sphericalangle L$, mēs varam rakstīt, ka

$$\left.\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_B + 180° - \beta_B \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + 180° - \beta_1 \\ \alpha_3 &= \alpha_2 + 180° - \beta_2 \\ \alpha_4 &= \alpha_3 + 180° - \beta_3 \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180° - \beta_{n-1} \\ \alpha_{n+1} &= \alpha_n + 180° - \beta_n \\ \alpha_C &= \alpha_{n+1} + 180° - \beta_C \end{aligned}\right\} \text{Uzrakstīto nolīdzinājumu pavisam ir } n+2.$$

Saskaitot nolīdzinājumu abas puses un izdarot algebriskas darbības: $\alpha_C = \alpha_B + 180°\ (n+2) - [\sum_n^1 \beta + \sphericalangle \beta_B + \beta_C]$, vai, vārdos izteikts: dotās pēdējās līnijas azimuts līdzinās izejas līnijas azimutam plus 180°, reizinātam ar izmērīto leņķu skaitu minus izmērīto leņķu kopsuma.

To pašu formulu mēs varam izveidot šādi:

$\alpha_B - \alpha_C = \sum_n^1 \beta + \beta_B + \beta_C - 180°\ (n+2)$, vai vārdiem to varētu izteikt: *dotās izejas līnijas azimuta un beigu līnijas azimuta starpība, ir vienlīdzīga visu izmērīto leņķu kopsumai minus 180°, reizinātai ar izmērīto leņķu skaitu.*

Praktiska pieredze rāda, ka izmērīt visus leņķus teoretiski pareizi nav iespējams un mērījumā vienmēr ietilpst zināma kļūda f_β.

Tādēļ atrisinātā formulā vienādojums gandrīz nekad nebūs bez kļūdas, un mēs dabūsim leņķisku kļūdu f_β:

$$f_\beta = \alpha_C - \alpha_B - 180°\ (n+2) + [\sum_n^1 \beta + \beta_B + \beta_C].$$

Pie šīm formulām ir interesanti atzīmēt, ka tās noteikti rāda, ka nepietiek tikai ar gājiena virsotņu leņķu mērīšanu, bet jāizmērī arī doto līniju un gājiena līniju veidoto virsotņu leņķi, t. i., leņķi punktā B un C.

Gadījumā, ja būtu izmērīti leņķi, kas ir pa kreisi (λ), tad aprēķināšanas gaita būtu gluži tāda pati, tikai sākuma azimuts būtu $(CD) = \alpha_C$ un beigu azimuts būtu $(AB) = \alpha_B$, izmērīto leņķu kļūdu formulai pieņemot šādu izteiksmi:

$$f_\lambda = \alpha_B - \alpha_C - 180°\ (n+2) + [\sum_n^1 \lambda + \lambda_B + \lambda_C];$$

λ ir izmērītais leņķis pa kreisi, t. i., $\lambda = 360° - \beta$.

Ņemsim piemēru. Izmērītie leņķi, kas ir pa labi:

$$n=6\left\{\begin{array}{l}\beta_B=95°35'+01' \text{ (labojums)}\\ \beta_1=205°20'+01' \quad ,,\\ \beta_2=\ \ 92°33'+01' \quad ,,\\ \beta_3=220°17'+01' \quad ,,\\ \beta_4=115°19'\\ \beta_5=\ \ 34°21'\\ \beta_6=\ \ 27°59'\\ \beta_C=\ \ 91°27'\end{array}\right.$$

Labojumus var izdarīt pēc kļūdas aprēķināšanas.

$882°51'+04'$ (labojums).

Izlabotie leņķi $=882°55'$.

Dots līnijas AB azimuts $(AB)=\alpha_B=45°30'$ un dots līnijas CD azimuts $(CD)=\alpha_C=242°35'$.

Aprēķināt kļūdu f_β un līniju azimutus. Dotajā gadījumā $n=6$. Ieliekot leņķu kļūdas formulās attiecīgus skaitļus, dabūsim, ka kļūda $-f_\beta=45°30'+180\ (6+2)-882°51'-242°35'=$ $=1485°30'-1125°26'=360°04'=0°04'$.

Tātad leņķu mērījumu kopsumā ir kļūda — $0°04'$, un, lai dabūtu teoretiski pareizo leņķu kopsumu, tad izmērītie leņķi jālabo. Labošanu izdara, sadalot kļūdu uz leņķu skaitu un pieskaitot attiecīgam leņķim ar pretējo zīmi. Šajā gadījumā labojumi visos leņķos nav jāizdara. Tādēļ labojumus izdarīsim tikai leņķos ar īsākām malām, t. i., β_B, β_1, β_2, un β_3.

Izlabotie leņķi būs šādi:

$$\begin{array}{l}\beta_B=\ \ 95°36'\\ \beta_1=205°21'\\ \beta_2=\ \ 92°34'\\ \beta_3=220°18'\\ \beta_4=115°19'\\ \beta_5=\ \ 34°21'\\ \beta_6=\ \ 27°59'\\ \beta_C=\ \ 91°27'\\ \hline 882°55'\end{array}$$

$882°55'$ ir izlaboto leņķu kopsuma.

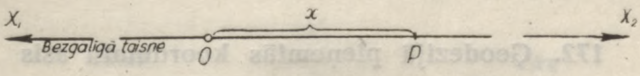
Izdarot mērīto līniju azimutu aprēķinu pēc izlabotiem leņķiem, dabūjam šādus skaitļus:

$$
\begin{aligned}
(AB) &= 45^\circ 30' \\
&+180^\circ \\
&\,225^\circ 30' \\
&-\ 95^\circ 36' \sphericalangle \beta_B \\
\alpha_1 = (B-1) &= 129^\circ 54' \\
&+180^\circ \\
&\,309^\circ 54' \\
&-205^\circ 21' \sphericalangle \beta_1 \\
\alpha_2\ (1-2) &= 104^\circ 33' \\
&+180^\circ \\
&\,284^\circ 33' \\
&-\ 92^\circ 34' \sphericalangle \beta_2 \\
\alpha_3\ (2-3) &= 191^\circ 59' \\
&+180^\circ \\
&\,371^\circ 59' \\
&-220^\circ 18' \sphericalangle \beta_3 \\
\alpha_4 = (3-4) &= 151^\circ 41' \\
&+180^\circ \\
&\,331^\circ 41' \\
&-115^\circ 19' \sphericalangle \beta_4 \\
\alpha_5 = (4-5) &= 216^\circ 22' \\
&+180^\circ \\
&\,396^\circ 22' \\
&-\ 34^\circ 21' \sphericalangle \beta_5 \\
&\,362^\circ 01' \\
&-360^\circ \\
\alpha_6 = (5-6) &= 2^\circ 01' \\
&+180^\circ \\
&\,182^\circ 01' \\
&-\ 27^\circ 59' \sphericalangle \beta_6 \\
\alpha_7 = (6-C) &= 154^\circ 02' \\
&+180^\circ \\
&\,334^\circ 02' \\
&-\ 91^\circ 27' \sphericalangle \beta_C \\
\alpha_C = (C-D) &= 242^\circ 35' = \text{dotajam azimutam.}
\end{aligned}
$$

Aprēķinot no izejas līnijas azimuta pēc izlabotiem leņķiem beigu azimutu, mēs esam pārbaudījuši aprēķina pareizību un noteikuši arī visu izmērīto līniju azimutus.

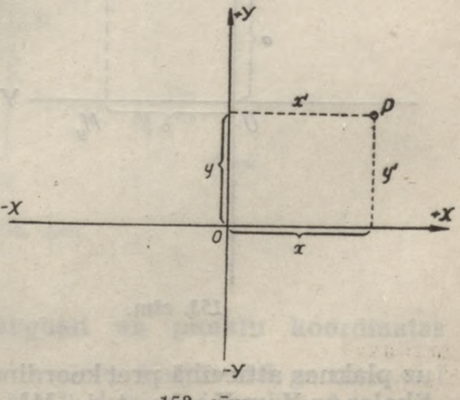
171. Dekarta taisnleņķa koordinatu sistema

No algebras mēs zinām, ka, ja mums ir jānosaka kāda punkta stāvoklis uz bezgalīgas taisnes, tad vispirms mums jāzina taisnes sākuma jeb nulles punkts un nosakāmā punkta attālums no taisnes nullpunkta.



151. zīm.

151. zīmējumā O ir taisnes nullpunkts, x — nosakāmā punkta P attālums no nullpunkta, P — nosakāmais punkts, X_1X_2 — bezgalīgā taisne. Skaitli, kas izteic punkta P attālumu līdz O punktam, sauc par *punkta abscisu.* Ja mēs iedomāsimies uz plaknes divas savstarpēji perpendikularas taisnes ($\pm XX$) un ($\pm YY$), tad kļūst saprotams, ka šīs taisnes sadala plakni četros kvadrantos. Pēc Dekarta taisnleņķa koordinatu sistemas šīs taisnes sauc par *koordinatu asīm,* turklāt ($\pm XX$) sauc par *abscisu asi,* bet ($\pm YY$) par *ordinatu asi.* Taišņu krustošanās punktu sauc par *koordinatu sākuma punktu* jeb *nullpunktu.* Koordinatu asu virzienus uz augšu un pa labi no nullpunkta sauc par *pozitiviem virzieniem,* bet uz leju un pa kreisi — par *negativiem virzieniem.* Ikviena punkta stāvoklis uz plaknes attiecībā pret koordinatu asīm ir nepārprotami un viegli no-



152. zīm.

sakāms. Piemēram, 152. zīmējumā punkta P stāvokli attiecībā pret koordinatu asīm nosaka no punkta P novilktie stateņi (x un y) uz X un Y asīm.

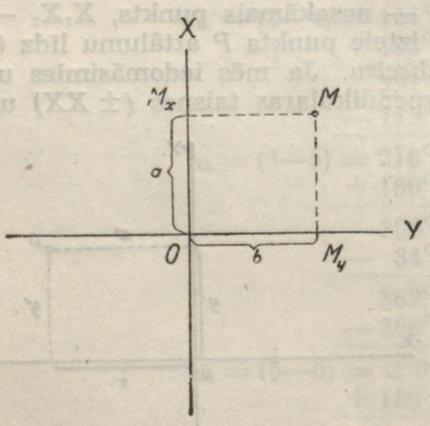
Tad $x^1 = x$ un
$y^1 = y$.

Šos atgriežņus (skaitliskos lielumus) uz koordinatu asīm X un Y sauc par punkta P koordinatām, turklāt atgriezni, kas atrodas uz X ass, sauc par *abscisu*, bet to, kas atrodas uz Y ass, sauc par *ordinatu*.

Mēs redzam, ka pēc koordinatu sistemas ikkatru punktu nosaka divi skaitliskie lielumi — šā punkta koordinatas.

172. Ģeodezijā pieņemtās koordinatu asis

Arī ģeodezijā punktu noteikšanai uz plaknes ļoti plašos apmēros lieto koordinatu sistemu. Šeit tikai j ā i e g a u m ē, ka ģeodezijā par X asi pieņem ziemeļu - dienvidu līniju (t. i., meridiana līniju) un nosauc to par abscisu asi (no latiņu vārda *abscindere* — atdalīt), bet par Y asi rietumu-austrumu līniju un nosauc to par ordinatu asi (no latiņu vārda *ordinare* — kārtot). Šo divu asu krustošanās punkts tiek saukts par *koordinatu sākuma punktu*.



153. zīm.

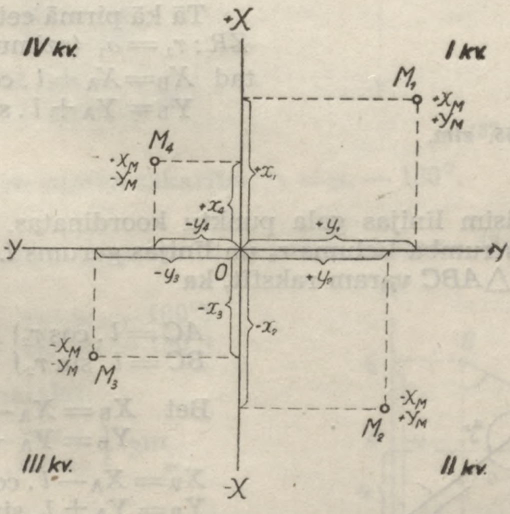
153. zīmējumā koordinatu sākuma punkts apzīmēts ar O. Protams, ka kāda punkta M stāvokli uz plaknes attiecībā pret koordinatu asīm tāpat nosaka arī tā vertikales uz X un Y asīm, t. i., MM_x un MM_y. Šie attālumi savukārt projecējas uz kordinatu asīm $MM_x = OM_y$ un $MM_y = OM_x$. Tātad arī ģeodezijā pieņemto koordinatu asu abscisa OM_x un ordinata OM_y nosaka punkta M stāvokli uz plaknes.

173. Koordinatu zīmes

Koordinatu asu virzienus no sākuma (nulles) punkta uz austrumiem un uz ziemeļiem sauc par pozitivu virzienu un apzīmē ar +, bet no sākuma punkta uz rietumiem un dienvidiem par negativu virzienu, apzīmējot ar —.

154. zīmējumā uzskatāmi attēlotas koordinatu zīmes atkarība no tā, kādā kvadrantā atrodas punkts *M:*

I kvadranta punkta M_1 koordinatas $= + X_{M_1}$; $+ Y_{M_1}$.
II „ „ M_2 „ $= - X_{M_2}$; $+ Y_{M_2}$.
III „ „ M_3 „ $= - X_{M_3}$; $- Y_{M_3}$.
IV „ „ M_4 „ $= + X_{M_4}$; $- Y_{M_4}$.

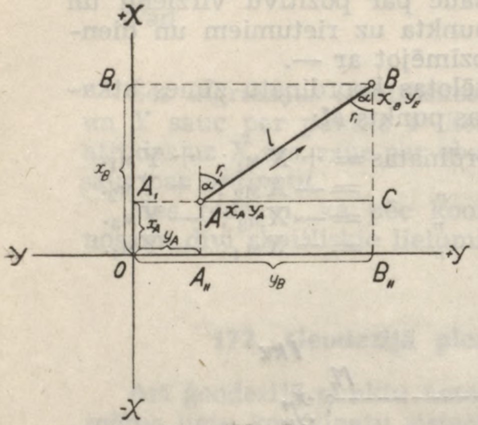


154. zīm.

174. Līniju koordinatu pieaugumi un punktu koordinatas

Iedomāsimies, ka mums ir izmērīts līnijas *AB* garums — *l* un noteikts līnijas rumbs $ZR : r_1$. Ir dotas arī punkta *A* koordinatas, kas vienlīdzīgas X_A, Y_A. Jāaprēķina punkta *B* koordinatas. Iedomāsimies, ka 155. zīmējumā mums ir attēlots izmērītās līnijas *AB* stāvoklis attiecībā pret koordinatu asīm. Attēlosim *AB* līnijas projekcijas uz abām koordinatu asīm

$A_I B_I$ un $A_{II} B_{II}$. Caur punktu A novilksim ordinatu asij paralelu līniju līdz krustojumam ar BB_{II} līniju, t. i., līdz punktam C (sk. 155. zīmējumu).



155. zīm.

$$\measuredangle ABC = r_1.$$

No $\triangle ABC$ varam rakstīt, ka

$$\left.\begin{aligned} BC &= l\,.\cos r_1 \\ AC &= l\,.\sin r_1 \end{aligned}\right\} 1^I.$$

Bet

$$X_B = X_A + BC$$
$$Y_B = Y_A + AC$$

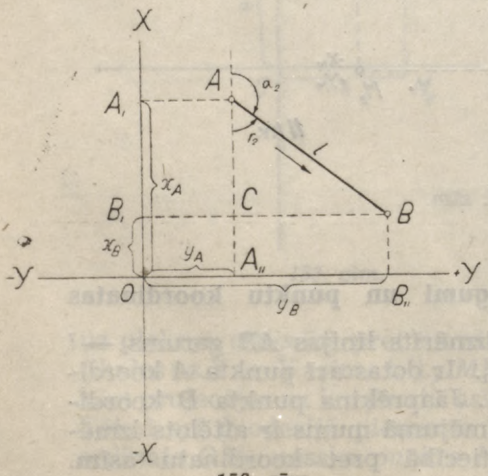
$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + l\,.\cos r_1 \\ Y_B &= Y_A + l\,.\sin r_1 \end{aligned}\right\} 2^I.$$

Tā kā pirmā ceturksnī rumbs $ZR : r_1 = \alpha_1$ (azimutam), tad

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + l\,.\cos \alpha_1 \\ Y_B &= Y_A + l\,.\sin \alpha_1 \end{aligned}\right\} 3^I.$$

Aprēķināsim līnijas gala punktu koordinatas, ja rumbs ir $DR : r_2$. Dots rumba lielums r_2 un līnijas garums l. Pēc 156. zīmējuma no $\triangle ABC$ varam rakstīt, ka

$$\left.\begin{aligned} AC &= l\,.\cos r_2 \\ BC &= l\,.\sin r_2 \end{aligned}\right\} 1^{II}.$$



156. zīm.

Bet

$$X_B = X_A - AC$$
$$Y_B = Y_A + BC$$

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A - l\,.\cos r_2 \\ Y_B &= Y_A + l\,.\sin r_2 \end{aligned}\right\} 2^{II}.$$

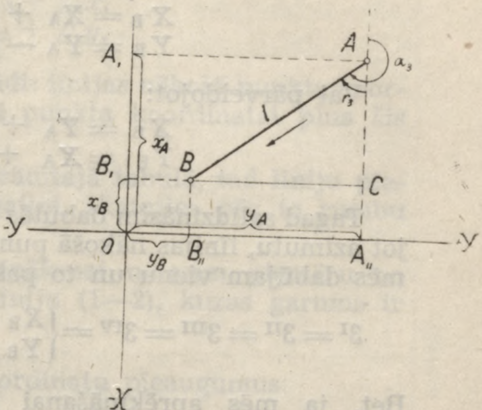
Mēs jau zinām, ka $DR : r_2$ rumba un azimuta savstarpējā sakarība (redzams arī no 156. zīmējuma) ir šāda: $r_2 = 180° - \alpha_2$. Ieliekot formulā rumba r_2 vietā tā azimutu, dabūsim, ka

$$X_B = X_A - l\,.\cos(180° - \alpha_2),$$
$$Y_B = Y_A + l\,.\sin(180° - \alpha_2).$$

Pārveidojot trigonometrisko izteiksmi:

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + l \cdot \cos \alpha_2 \\ Y_B &= Y_A + l \cdot \sin \alpha_2 \end{aligned}\right\} 3^{II}.$$

Aprēķināt līnijas gala punktu koordinatas, ja ir dots rumbs $DV : r_3$ un līnijas garums l (sk. 157. zīmējumu).



157. zīm.

No $\triangle ABC$:

$$\left.\begin{aligned} AC &= l \cdot \cos r_3 \\ BC &= l \cdot \sin r_3 \end{aligned}\right\} 1^{III}.$$

Bet $\begin{aligned} X_B &= X_A - AC \\ Y_B &= Y_A - BC \end{aligned}$

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A - l \cdot \cos r_3 \\ Y_B &= Y_A - l \cdot \sin r_3 \end{aligned}\right\} 2^{III}.$$

Azimuta un rumba sakarība: $r_3 = \alpha_3 - 180°$.

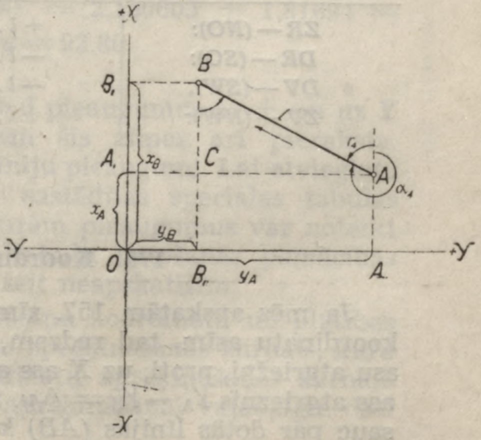
Izteicot rumbu ar azimutu, formula pieņems šādu izteiksmi:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A - l \cdot \cos (\alpha_3 - 180°), \\ Y_B &= Y_A - l \cdot \sin (\alpha_3 - 180°). \end{aligned}$$

Vai pārveidojot:

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + l \cdot \cos \alpha_3 \\ Y_B &= Y_A + l \cdot \sin \alpha_3 \end{aligned}\right\} 3^{III}.$$

Pēdējais gadījums, kad līnijas rumbs ir $ZV : r_4$; līnijas garums l parādīts 158. zīmējumā.



158. zīm.

No $\triangle ABC$:

$$\left.\begin{aligned} BC &= l \cdot \cos r_4 \\ AC &= l \cdot \sin r_4 \end{aligned}\right\} 1^{IV}.$$

Bet $\begin{aligned} X_B &= X_A + BC \\ Y_B &= Y_A - AC \end{aligned}$ | $\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + l \cdot \cos r_4 \\ Y_B &= Y_A - l \cdot \sin r_4 \end{aligned}\right\} 2^{IV}.$

Azimuta un rumba sakarība: $r_4 = 360° - a_4$.

Izteicot ar azimutu:

$$X_B = X_A + l \,.\, \cos(360° - a_4),$$
$$Y_B = Y_A - l \,.\, \sin(360° - a_4).$$

Vai pārveidojot:

$$\left.\begin{array}{l} X_B = Y_A + l \,.\, \sin a_4 \\ Y_B = X_A + l \,.\, \cos a_4 \end{array}\right\} 3^{IV}.$$

Tagad salīdzināsim dabūtās formulas. Mēs redzam, ka, lietojot azimutu, līnijas nākošā punkta *(B)* koordinatu aprēķināšanai mēs dabūjam vienu un to pašu formulu:

$$3^{I} = 3^{II} = 3^{III} = 3^{IV} = \begin{cases} X_B = X_A + l \,.\, \cos a & (1), \\ Y_B = Y_A + l \,.\, \sin a & (2). \end{cases}$$

Bet, ja mēs aprēķināšanai lietojam rumbus, tad redzam, ka, skatoties pēc rumba nosaukuma apzīmējuma $l \,.\, \cos r$ un $l \,.\, \sin r$ zīmes mainās šādi:

Rumbu nosaukums	Abscisu zīmes uz *X* ass	Ordinatu zīmes uz *Y* ass
ZR — (NO):	$+ l \,.\, \cos r$	$+ l \,.\, \sin r$
DR — (SO):	$- l \,.\, \cos r$	$+ l \,.\, \sin r$
DV — (SW):	$- l \,.\, \cos r$	$- l \,.\, \sin r$
ZV — (NW):	$+ l \,.\, \cos r$	$- l \,.\, \sin r$

175. Koordinatu pieaugumi

Ja mēs apskatām 157. zīmējumā līnijas *AB* projekcijas uz koordinatu asīm, tad redzam, ka tās projecējas kā koordinatu asu atgriežņi, proti, uz *X* ass atgrieznis $X_A - X_B = \triangle x$ un uz Y ass atgrieznis $Y_A - Y_B = \triangle y$. Šos atgriežņus uz koordinatu asīm sauc par dotās līnijas *(AB) koordinatu pieaugumiem.* Tos apzīmē šādi:

$$\triangle x = l \,.\, \cos a,$$
$$\triangle y = l \,.\, \sin a.$$

Ieliekot šos apzīmējumus līnijas gala punktu koordinatu aprēķināšanas formulās (1) (2), dabūsim šādu izteiksmi:

$$X_B = X_A + \triangle x,$$
$$Y_B = Y_A + \triangle y,$$

kas vārdiem būtu formulējama šādi: līnijas nākošā punkta koordinata ir vienlīdzīga iepriekšējā punkta koordinatai plus šīs līnijas pieaugums.

Kā mēs redzējām iepriekš uzrādītajā tabulā, tad līniju pieaugumi var būt pozitivi un negativi, skatoties pēc to rumbu apzīmējumiem.

Pieauguma skaitliskai aprēķināšanai ņemsim piemēru no uzmērīšanas žurnala. Ņemsim līniju (1—2), kuras garums ir 141,45 m un rumbs *ZV:* 41°00′.

Aprēķināsim līnijas (1—2) koordinatu pieaugumus:

$$\triangle x = 141{,}45 \,.\, \cos 41°00',$$
$$\triangle y = 141{,}45 \,.\, \sin 41°00';$$

$$\lg \triangle x = \lg 141{,}45 + \lg \cos 41°00' = 2{,}150605 + 1{,}87778 = $$
$$= 2{,}028385; \ \triangle x = 106{,}75;$$

$$\lg \triangle y = \lg 141{,}45 + \lg \sin 41°00' = 2{,}150605 + 1{,}81694 = $$
$$= 1{,}96755; \ \triangle y = 92{,}80.$$

Tā kā rumba *ZV : r* uz *X* ass dod pieaugumus ar + un uz Y ass ar — zīmēm, tad pieaugumiem šīs zīmes arī pieraksta. Tāpat jāaprēķina arī visu pārējo līniju pieaugumi. Lai atvieglotu pieaugumu aprēķināšanu, tad ir sastādītas specialas tabulas (piemēram, Gausa tabulas), pēc kurām pieaugumus var noteikt tieši, bez logaritmu palīdzības. Tabulu lietošanas pamācības pievienotas tabulām, un tās mēs šeit neapskatīsim.

Poligona malu pieaugumu, virsotņu koordinatu un platības aprēķināšanai jāsastāda koordinatu aprēķināšanas žurnals, kura paraugs parādīts turpmāk. Koordinatu aprēķināšanas žurnalā jāieraksta (nekļūdīgi) koordinatu aprēķināšanai vajadzīgie dati no uzmērīšanas žurnala.

176. Koordinatu aprēķināšanas žurnals

Virsotņu Nr.	Izlabotie (nosietie) leņķi	Liniju rumbi	Liniju līmeniskie garumi m	Pieaugumi aprēķinātie $\triangle x = d \cdot \cos\alpha$; $+ZR; ZV$ $-DR; DV$	Pieaugumi aprēķinātie $\triangle y = d \cdot \sin\alpha$; $+ZR; DR$ $-ZV; DV$	Pieaugumi izlabotie $\pm\triangle x$	Pieaugumi izlabotie $\pm\triangle y$	Koordinatas $\pm X$	Koordinatas $\pm Y$	Platības aprēķins, starpības $\pm(X_{k-1} - X_{k+1})$	Platības aprēķins, starpības $\pm(Y_{k+1} - Y_{k-1})$	Platības aprēķins, reizinājumi $\pm Y_k(X_{k-1} - X_{k+1})$	Platības aprēķins, reizinājumi $\pm X(Y_{k+1} - Y_{k-1})$
1	205°39'							0,00	0,00	−191,66	−116,07	0,00	0,00
		ZV:41°00'	141,45	+106,75 +0,02	− 92,80 +0,02	+106,77	− 92,78						
2	159°05'							+106,77	− 92,78	−192,20	−124,00	+ 17832,32	− 13239,48
		ZV:20°05'	90,95	+ 85,42 +0,01	− 31,23 +0,01	+ 85,43	− 31,22						
3	123°14'							+192,20	−124,00	−130,07	+ 2,03	+ 16128,68	+ 390,17
		ZR:36°41'	55,65	+ 44,63 +0,01	+ 33,24 +0,01	+ 44,64	+ 35,25						
4	126°24'							+236,84	− 90,75	− 43,40	+290,88	+ 3938,55	+ 68892,02
		DR:89°43'	257,60	− 1,28 +0,04	+257,60 +0,03	− 1,24	+257,63						
5	91°20'							+235,60	+166,88	+165,75	+260,66	+ 27660,36	+ 61411,50
		DR:01°03'	164,56	−164,53 +0,02	+ 3,01 +0,02	−164,51	+ 3,03						
6	179°56'							+ 71,09	+169,91	+315,35	+ 5,63	+ 53581,12	+ 400,24
		DR: 0°59'	150,88	−150,86 +0,02	+ 2,58 +0,02	−150,84	+ 2,60						
7	91°00'							− 79,75	+172,51	+155,98	−146,62	+ 26908,11	+ 11692,94
		DV:88°01'	149,33	− 5,16 +0,02	−149,24 +0,02	− 5,14	−149,22						
8	103°22'							− 84,89	+ 23,29	− 79,75	−172,51	− 1857,38	+ 14644,37
		ZV:15°21'	88,01	+ 84,88 +0,01	− 23,30 +0,01	+ 84,89	− 23,29						
Kopā:	1080°00'		$1098{,}43 = \sum_1^n l$	+321,68 −321,83 — − 0,15 = $= f_x$	+296,43 −296,57 — − 0,14 = $= f_y$	0,00	0,00			+637,08 −637,08	+559,20 −559,20	+146049,14 − 1857,38 — +144191,76	+157431,24 − 13239,48 — +144191,76

$$2P = 144191{,}76 \text{ m}^2$$
$$P = 72095{,}88 \text{ m}^2$$
$$= 7{,}21 \text{ ha}$$

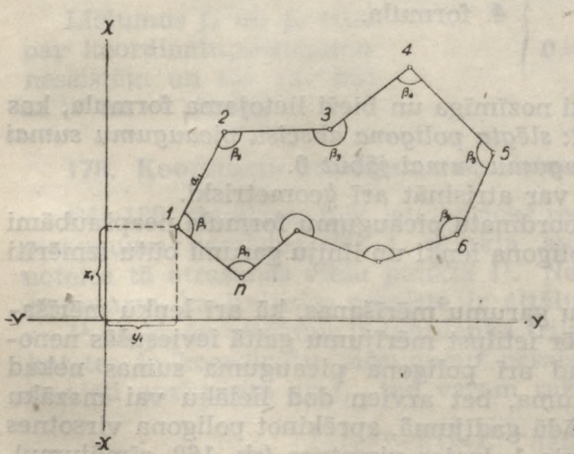
177. Pieaugumu nesaiste slēgtā poligonā

Pieņemsim, ka mums ir dots poligons (daudzstūris) ar n virsotnēm, kas attēlots 159. zīmējumā. Doti daudzstūra malu garumi, iekšējie leņķi [kas sakrīt ar teoretisko leņķu sumu $\sum_{n}^{1}\beta = 180^\circ \cdot (n-2)$] un līnijas 1—2 azimuts α_1. Dotas arī 1. punkta koordinatas. Jāaprēķina poligona malu koordinatu pieaugumi.

Mēs jau zinām, ka, lai aprēķinātu līniju pieaugumus, ir jāzina to azimuti resp. rumbi. Mēs zinām arī, ka azimutus aprēķina pēc formulas $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \sphericalangle L$. Ja ir zināmi līniju garumi un azimuti — rumbi, tad mēs protam arī aprēķināt koordinatas pēc formulas:

$$X_B = X_A \pm \triangle x,$$
$$Y_B = Y_A \pm \triangle y.$$

Tā kā pirmā punkta koordinatas X_1 un Y_1 ir dotas, tad aprēķināsim pārējo poligona virsotņu koordinatas:



159. zīm.

$$X_2 = X_1 + \triangle x_1$$
$$X_3 = X_2 + \triangle x_2$$
$$X_4 = X_3 + \triangle x_3$$
$$\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots$$
$$X_n = X_{n-1} + \triangle x_{n-1}$$
$$Y_2 = Y_1 + \triangle y_1$$
$$Y_3 = Y_2 + \triangle y_2$$
$$Y_4 = Y_3 + \triangle y_3$$
$$\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots$$
$$Y_n = Y_{n-1} + \triangle y_{n-1}$$

Saskaitīsim abos nolīdzinājumos kreisās un labās puses.

Tad

$$\left.\begin{aligned} X_n &= X_1 + \triangle x_1 + \triangle x_2 + \triangle x_3 + \ldots \triangle x_{n-1} \\ Y_n &= Y_1 + \triangle y_1 + \triangle y_2 + \triangle y_3 + \ldots \triangle y_{n-1} \end{aligned}\right\} \quad \text{1. formula.}$$

Ievietojot saīsinātus apzīmējumus, dabūjam, ka

$$\left.\begin{aligned} X_n &= X_1 + \sum_1^{n-1} \triangle x \\ Y_n &= Y_1 + \sum_1^{n-1} \triangle y \end{aligned}\right\} \text{2. formula.}$$

Turpinot aprēķinu vēl tālāk — poligonam apkārt, dabūjam, ka

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= X_n + \triangle x_n \\ Y_1 &= Y_n + \triangle y_n \end{aligned}\right\} \text{3. formula.}$$

Ievietosim 2. formulā Y_n un X_n nozīmes no 3. formulas.

$$X_1 - \triangle x_n = X_1 + \sum_1^{n-1} \triangle x,$$

$$Y_1 - \triangle y_n = Y_1 + \sum_1^{n-1} \triangle y.$$

Izdarot algebriskās darbības, dabūjam, ka

$$\left.\begin{aligned} \sum_1^{n} \triangle x &= 0 \\ \sum_1^{n} \triangle y &= 0 \end{aligned}\right\} \text{4. formula.}$$

Šī ir ģeodezijā ļoti nozīmīga un bieži lietojama formula, kas vārdos izsakāma šādi: *slēgta poligona abscisu pieaugumu sumai un arī ordinatu pieaugumu sumai jābūt* 0.

Šo pašu formulu var atrisināt arī ģeometriski.

Slēgta poligona koordinatu pieaugumu formula neapšaubāmi būtu spēkā tad, ja poligona leņķi un līniju garumi būtu izmērīti matematiski pareizi.

Tā kā tiklab līniju garumu mērīšanas, kā arī leņķu mērīšanas rezultatos vienmēr ietilpst mērījumu gaitā ieviesušās nenovēršamās kļūdas, tad arī poligona pieauguma sumas nekad nenosienas bez atlikuma, bet arvien dod lielāku vai mazāku kļūdu — nesaisti. Tādā gadījumā, aprēķinot poligona virsotnes un nonākot beidzot pie 1. izejas virsotnes (sk. 160. zīmējumu), mēs nedabūsim vis X_1 un Y_1 koordinatas, bet gan kļūdu ietekmē novirzītas 1′ punkta koordinatas X_1' un Y_1'. Var pieņemt, ka kļūdas būs ieviesušās visā gājienā, un tādēļ arī visās poligona virsotņu koordinatās ietilps kļūdas un aprēķinātās koordinatas dos kļūdainu attēlu, kas parādīts zīmējumā ar punktiem 1, 2^1, 3^1, 4^1, 5^1 utt. līdz 1^1.

Koordinatu pieaugumu sumas (4. formula) tad nebūs vienlīdzīgas 0, bet gan dos starpību starp izejas

punkta (1) aprēķinātām un dotām koordinatām:

$$\left.\begin{aligned}\sum_{1}^{n} \triangle x = X^1{}_1 - X_1 \\ \sum_{1}^{n} \triangle y = Y^1{}_1 - Y_1\end{aligned}\right\} \text{5. formula.}$$

Vienkāršības labad ievietosim apzīmējumus:

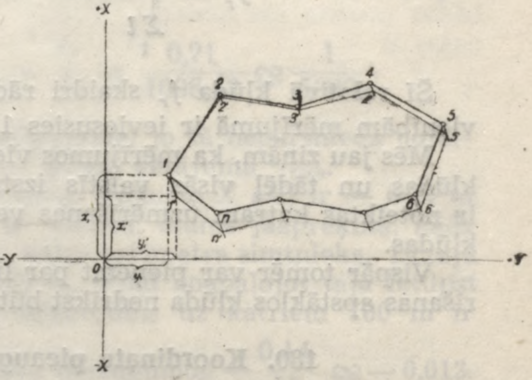
$$X^1{}_1 - X_1 = f_x\,,$$
$$Y^1{}_1 - Y_1 = f_y\,.$$

Tad formulas izteiksme būs šāda:

$$\sum_{1}^{n} \triangle x = f_x\,,$$

$$\sum_{1}^{n} \triangle y = f_y\,.$$

Lielumus f_x un f_y sauc par koordinatu pieaugumu nesaistēm un tās var būt ar + un — zīmēm.



160. zīm.

178. Koordinatu pieaugumu nesaistes līnijiskais lielums

Pēc 160. zīmējuma mēs jau iepriekš redzējām, ka koordinatu pieaugumu nesaistes dēļ 1. punkta aprēķinātās koordinatas noteica tā atrašanās vietu punktā 1^1. No tā paša zīmējuma ir saprotams, ka līnijiska nesaiste ir attālums starp punktiem 1 un 1^1 un ka šis attālums ir taisnleņķa trijstūra hipotenuza, kura katetes ir koordinatu pieaugumu nesaistes. Ja mēs līnijisko nesaisti apzīmēsim ar f_l, tad varam rakstīt, ka

$$f_l = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y{}^2)}.$$

179. Koordinatu pieaugumu līnijiskā relativā kļūda

Līnijiskā nesaiste ir absoluta kļūda, un tā nedod vēl skaidru pārskatāmību, vai kļūda ir pieļaujama vai nē. Tādēļ absolutā līnijiskā kļūda jāizsaka relativā kļūdā. To izdara, nosakot kļūdas lielumu uz poligona perimetra vienas garuma mēra vienības.

Tātad, ja līnijiskā absolutā kļūda ir f_l un viņa poligona perimetrs ir $\sum\limits_1^n l$, tad relativā kļūda, kuru apzīmēsim ar f_r, būs

$$f_r = \frac{f_l}{\sum\limits_1^n l} = \frac{\sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2}}{\sum\limits_1^n l}.$$

Šī relativā kļūda f_r skaidri rāda, uz cik līnijiskām mēra vienībām mērījumā ir ieviesusies 1 mēra vienības kļūda.

Mēs jau zinām, ka mērījumos vienmēr ietilpst nenovēršamas kļūdas un tādēļ visās valstīs izstrādātas instrukcijas, kurās ir noteiktas katram uzmērīšanas veidam pieļaujamās relativās kļūdas.

Vispār tomēr var pieņemt par likumu, ka labvēlīgos uzmērīšanas apstākļos kļūda nedrīkst būt lielāka par $^1/_{2000}$.

180. Koordinatu pieaugumu izlabošana

Ja līnijiskās nesaistes kļūda ir pieļaujama, tad var domāt, ka tā cēlusies no mērīšanas darbu nenovēršanām kļūdām un uzmērīšanas darbi ir izpildīti ar vajadzīgo precizitati un uzmanību un koordinatu aprēķināšanai ir jāizdara kļūdas izlabošana (nosiešana).

Kļūdas f_x un f_y jāizlabo tā, lai izlabotās abscisu pieaugumu sumas un ordinatu pieaugumu sumas (katra atsevišķi) līdzinātos nullei, t. i.,

$$\text{lai } \sum_1^n \triangle x = 0,$$

$$\sum_1^n \triangle y = 0.$$

Kļūdu izlabojumus ievieto visos aprēķinātos poligona malu pieaugumos proporcionali malu garumiem. Lai to izdarītu, jāsadala abscisu nesaiste un arī ordinatu nesaiste ar poligona perimetru un dabūtais skaitliskais lielums jāreizina ar katras malas garumu. Dabūtais rezultats būs abscisas (resp. ordinatas) kļūdas lielums katras malas pieaugumos. Kļūdu labojumi jāpieliek ar pretējo zīmi, piemēram, ja pieauguma kļūda ir $+f_x$ un $-f_y$, tad atsevišķiem malu labojumiem jāliek pretējas zīmes, t. i., $-f_x$ un $+f_y$.

Piemērs (sk. aprēķinu datus uzmērīšanas žurnalā 190. lappusē).

Pēc koordinatu pieaugumu aprēķināšanas sasumē Δx un Δy pieaugumus. Dabūtie rezultati ir mums jau pazīstamās pieaugumu nesaistes:

$$f_x = -0,15 \text{ un } f_y = -0,14.$$

Līnijiskā nesaiste $f_l = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2} = \sqrt{(-0,15)^2 + (-0,14)^2} = \sqrt{0,0421} \cong 0,21$

$$\text{un relativā kļūda } f_r = \frac{f_l}{\Sigma l} = \frac{0,21}{1098,43} \cong \frac{1}{5000}.$$

Šāda relativā kļūda ir pieļaujama, jo tā nepārsniedz noteikumos paredzētos apmērus — dotajā gadījumā $^1/_{2000}$.

Koordinatu pieaugumu nosiešana. Nesaiste X asij ir — 0,15 m un Y asij — 0,14 m. Lai to nosietu, mums jāaprēķina, kāds labojums jāieved uz poligona katra perimetra simtnieka. Dotajā gadījumā perimetrs ir 1098,43 m, tātad noapaļojot tajā ietilpst 11 simtnieku. Tad abscisu izlabojums uz katriem 100 m ir

$$-\frac{0,15}{11} \cong -0,014 \text{ un ordinatu pieaugumos } -\frac{0,14}{11} \cong -0,013.$$

Līnijas (1—2) pieaugumi tātad būs labojami par: 1) uz X ass $0,014 \times 1,41 \cong +0,02$ un 2) uz Y ass $0,013 \times 1,41 \cong +0,02$.

Tāpat aprēķināmi labojumi arī pārējo līniju pieaugumiem. Labojumi pierakstāmi zem aprēķinātiem pieaugumiem ar nesaistei pretēju zīmi; šajā gadījumā ar $+$.

Vai labojumi aprēķināti un ierakstīti pareizi, to var pārbaudīt, labojumus saskaitot. Labojumu sumai jābūt vienādai ar nesaistes sumu, tikai ar pretējo zīmi; abscisu labojumu suma ir $+ 0,15$, nesaiste $f_x = -0,15$. Ordinatu labojumu suma ir $+ 0,14$, nesaiste $f_y = -0,14$. Nosietos, t. i., izlabotos pieaugumus ieraksta tam nolūkam paredzētā ailē.

181. Koordinatu aprēķināšana un kontrole

Ja ir dotas kādas poligona virsotnes koordinatas, tad pārējo virsotņu koordinatas aprēķina pēc mums jau pazīstamās formulas:

$$X_B = X_A + l \cos \alpha; \text{ vai } X_B = X_A + \Delta x,$$
$$Y_B = Y_A + l \sin \alpha; \text{ vai } Y_B = Y_A + \Delta y,$$

kurā ir dotas punkta *A* koordinatas un jāaprēķina *B* punkta koordinatas.

Ja nav dotas neviena punkta koordinatas, tad jebkura punkta koordinatas var pieņemt par nulli un pārējo punktu koordinatas aprēķināt pēc formulas: nākošā punkta koordinatas ir vienlīdzīgas iepriekšējā punkta koordinatām + abu punktu noteiktās līnijas pieaugums. Ja koordinatas aprēķinātas pareizi, tad, aprēķināšanu turpinot līdz sākuma(izejas) punktam, jādabū izejas punkta koordinatas. Dotajā piemērā 8. punkta koordinatas ir

$$X_8 = -84{,}89, \qquad Y_8 = +23{,}29.$$

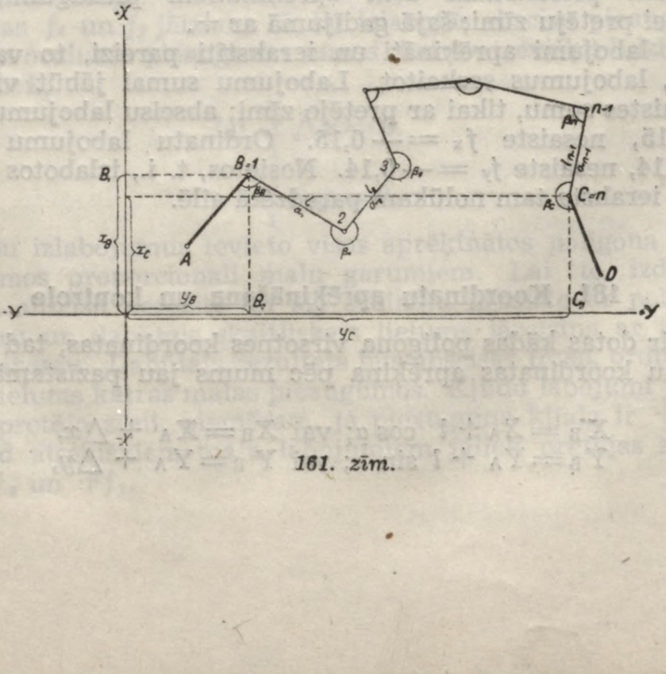
Pieaugumi

$$\triangle x\ (8\text{—}1) = +84{,}89, \qquad \triangle y\ (8\text{—}1) = -23{,}29$$

1 punkta koordinatas $X_1 = 0{,}00$, bet $Y_1 = 0{,}00$.

182. Koordinatu pieaugumu nesaiste gājienam starp 2 dotiem punktiem

Pieņemsim, ka 161. zīmējumā punktam *B* un *C* mums ir dotas koordinatas un starp tiem ir uzmērīts g ā j i e n s (t. i., izmērītas līnijas un horizontalie leņķi) ar 1, 2, 3, 4 ... *n* virsotnēm resp. izmērītas līnijas *n*—1. Aprēķināsim virsotņu 2, 3 ... *n* — 1 koordinatas un pārbaudes dēļ vēl punkta *C* koordinatas.



161. zīm.

Pēc jau pazīstamām koordinatu pieauguma formulām mēs varam rakstīt, ka

$$X_2 = X_B + \triangle x_1$$
$$X_3 = X_2 + \triangle x_2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$X_C = X_{n-1} + \triangle x_{n-1} .$$

Saskaitot nolīdzinājuma abas puses:

$$X_C = X_B + \sum_{1}^{n-1} \triangle x$$

vai

$$X_C - X_B = \sum_{1}^{n-1} \triangle x \quad \ldots\ldots 1.$$

Tāpat ordinatām:

$$Y_2 = Y_B + \triangle y_1$$
$$Y_3 = Y_2 + \triangle y_2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$Y_C = Y_{n-1} + \triangle y_{n-1} .$$

Saskaitot

$$X_C = Y_B + \sum_{1}^{n-1} \triangle y$$

vai

$$Y_C - Y_B = \sum_{1}^{n-1} \triangle y \quad \ldots\ldots 2.$$

1. un 2. formulu varam izsacīt vārdos:

Ja doto gala punktu uzmērīšanas un aprēķināšanas darbi ir bez kļūdām, tad doto gala punktu koordinatu starpībām ir jābūt vienādām ar gājiena pieaugumu sumām.

Tā kā mēs jau agrāk konstatējām, ka neviens mērījums nav bez nenovēršamām kļūdām, tad arī gājienā starp diviem dotiem punktiem tādas ir, un aprēķinātā gājiena pieaugumu suma, salīdzinot ar doto punktu koordinatu starpībām, dos zināmu atšķirību, kas raksturos mērījumā ieviesušos kļūdu lielumu, t. i.,

$$\sum_{1}^{n-1} \triangle x - (X_C - X_B) = f_x .$$

$$\sum_{1}^{n-1} \triangle y - (Y_C - Y_B) = f_y .$$

Pieauguma kļūdas līnijiskā lieluma un tāpat pieauguma relatīvās kļūdas noteikšana un kļūdas nosiešana ir analoģiska slēgta poligona pieaugumu kļūdu aprēķiniem.

183. Pretējais ģeodeziskais uzdevums

Pēc dotām koordinatām aprēķināt līniju garumu un virzienu. Pieņemsim, ka 155. zīmējumā līnijai AB ir dotas gala punktu koordinatas X_A, Y_A un X_B, Y_B. Jāaprēķina līnijas AB azimuts α un garums l.

No $\triangle ABC$ varam rakstīt, ka

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{AC}{BC}; \quad AC = Y_B - Y_A; \quad BC = X_B - X_A; \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \quad \ldots\ldots 1.$$

No tā paša $\triangle ABC$:

$$l = \sqrt{AC^2 + BC^2};$$

$$l = \sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2} \text{ jeb } l = \sqrt{\triangle y^2 + \triangle x^2} \ldots 2.$$

Ja aprēķināts azimuts, tad līnijas garumu var vēl aprēķināt šādi:

$$l \cdot \sin\alpha = AC; \quad l \cdot \cos\alpha = BC; \quad l = \frac{Y_B - Y_A}{\sin\alpha} \text{ jeb } l = \frac{\triangle y}{\sin\alpha}.$$

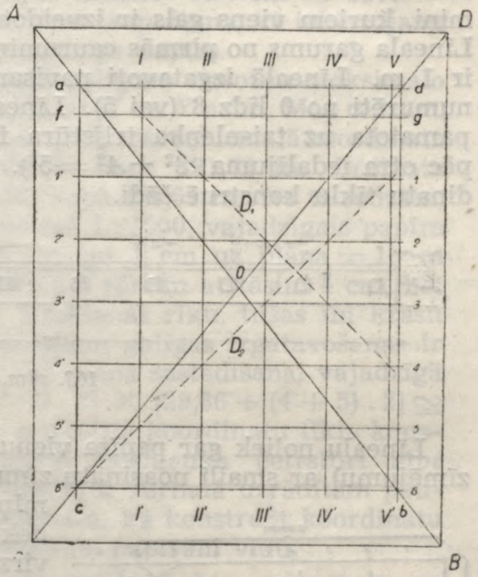
$$l = \frac{X_B - X_A}{\cos\alpha} \text{ jeb } l = \frac{\triangle x}{\cos\alpha}.$$

184. Koordinatu tīkla pagatavošana

Lai varētu sastādīt plānu pēc koordinatām, nepieciešams vispirms konstruēt koordinatu tīklu.

Tā kā pēc koordinatu tīkla sastāda plānus, tad tīklam jābūt konstruētam un uz plāna uzzīmētam ar maksimalo precizitati. Tīkla konstruēšanai parastais līneals nedod vajadzīgo precizitati, un tādēļ koordinatu tīkla konstruēšanai jālieto stabili metala lineali. Tīkla konstruēšanai ieteicams lietot šādu paņēmienu: pāri papīra lapas pretējiem stūriem (pa diagonalēm) novelk taisnes *AB* un *CD*. No taišņu krustošanās punkta *O* atliek vienādus attālumus $Oa = Od = Ob = Oc$ un dabūtos punktus savā starpā savieno. Dabūtais četrstūris *adbc* ir taisnstūris (sk. 162. zīmējumu).

Četrstūris jāsadala pēc vajadzības zināma lieluma kvadratos. Piemēram, lai dabūtu 100 m garu kvadrata malu mērogā 1 : 1000, tad malas garumam jābūt 10 cm. Šeit jāaizrāda, ka tīklu nekādā ziņā nedrīkst konstruēt pēc parastā centimetru mēra, jo 1) centimetra iedaļu svītriņas parasti ir tik resnas (platas), ka pēc tām centimetra garumu noteikti nevar paņemt un 2) pašas iedaļas centimetra mērā plāna sastādīšanas vajadzībām nav ar pietiekamu noteiktību. Tādēļ koordinatu tīkla malu garumi jāatliek pēc pārbaudīta, pareiza metala mēra.



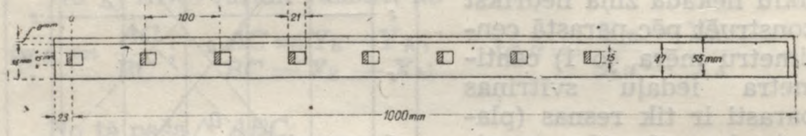
162. zīm.

Kvadratu tīklu ieteicams konstruēt šādi: vispirms atliek vajadzīgā garumā abscisu asi uz taisnstūra malām *ca* un *od*, t. i., $cf = bg$; pēc tam atliktos garumus kontrolē, t. i., ja garumi atlikti pareizi, tad $af = dg$. Pēc tam tāpat konstruē ordinatu ass garumu. Kad tas izdarīts, tad uz taisnstūra $cfvv^1$ malām atliek atsevišķu kvadratu malu garumus (uz ordinatas — I, II, III, IV, V un I′, II′, III′, IV′, V′ un uz abscisas — 1, 2, 3 un 1′, 2′ . . .), kas, protams, visi ir vienlieli. Savienojot attiecīgos punktus 1′ ar 1, 2′ ar 2 utt., un I ar I′ un II ar II′, mēs dabūjam tīkla kvadratus. Kvadratu pareizību varam pārbaudīt ar diagonalēm. Ja kvadrati ir pareizi, tad diagonalēm D_1 un D_2 jāiet caur kvadratu stūriem un kvadratu diagonalēm jābūt vienā garumā.

185. Koordinatu tīkla pagatavošana ar Drobiševa līnealu

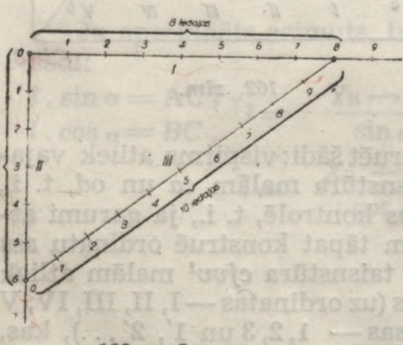
Koordinatu tīkla pagatavošanai pēdējā laikā plašos apmēros tiek lietots īpatnējs līneals, kuru sauc par Drobiševa līnealu, kas izgudrots un konstruēts PSRS (sk. 163. zīmējumu).

Drobiševa līneals ir izgatavots no metala, un līnealam ir masiva līneala forma. Līnealā ik pēc 10 cm ir izgatavoti caurumiņi, kuriem viens gals ir izveidots ar piemērotu radija loku. Līneala garums no pirmās caurumiņa liektās malas līdz pēdējai ir 1 m. Līnealā izgatavoti pavisam 9 (vai 6) caurumiņi, kas numurēti no 0 līdz 8 (vai 5). Līneala konstrukcija un darbība pamatota uz taisnleņķa trijstūra formulas $6^2 + 8^2 = 10^2$ (vai pēc otra iedalījuma $3^2 + 4^2 = 5^2$). Ar Drobiševa līnealu koordinatu tīklu konstruē šādi.



163. zīm.

Līnealu noliek gar papīra vienu malu un novelk (sk. 163. a zīmējumu) ar smaili noasinātu zīmuli svītriņas gar visu caurumiņu liektām malām. Tad noliek līnealu stateniski pirmajam virzienam tā, lai nulles caurumiņu svītriņas krustotos, un atkal izdara iesvītrojumus kā pirmajā stāvoklī. Tad noliek līnealu tā, lai nulles gals atrastos uz leju, piemēram, uz 6. svītriņas, bet otra gala 10. svītriņa sakristu ar 8. svītriņu. Atzīmētie punkti uz 6. un 8. svītriņas ar tievu līniju savienojami ar O punktu (t. i., 6. ar O un 8. ar O).



163. a zīm.

Šīs divas līnijas, krustojoties punktā O, veido taisnu leņķi, uz kura malām ik pēc 10 cm ir jau precizi novilktas svītriņas koordinatu tīkla konstruēšanai. Tīkla tālākā konstruēšana ir saprotama bez paskaidrojumiem.

186. Papīra lieluma noteikšana plānam

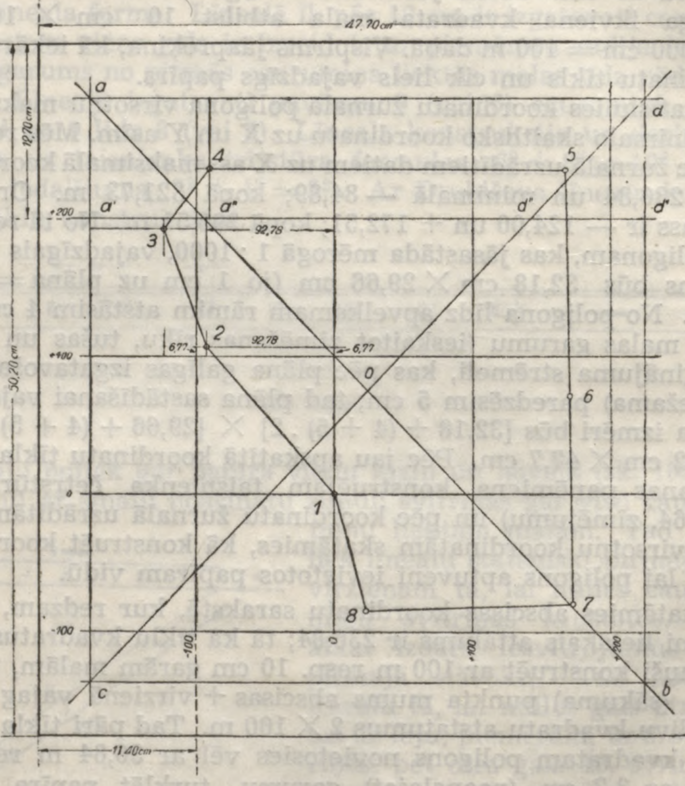
Pieņemsim, ka mums jāsastāda poligona plāns pēc koordinatām, kuru virsotņu koordinatas uzrādītas koordinatu aprēķināšanas žurnalā. Koordinatu tīklu sastādīsim ar kvadratu malu garumu 10 cm. Plāns jāsastāda mērogā 1 : 1000. Tātad dotā mēroga ikviena kvadrata mala atbilst 10 cm $\times$ 1000 = = 10000 cm = 100 m dabā. Vispirms jāaprēķina, kā iekārtojams koordinatu tīkls un cik liels vajadzīgs papīrs.

Skatīsimies koordinatu žurnalā poligona virsotņu maksimalo un minimalo skaitlisko koordinatu uz X un Y asīm. Mēs redzam, ka pēc žurnalā uzrādītiem datiem uz X ass maksimalā koordinata ir + 236,84 un minimalā — 84,89; kopā 321,73 m. Ordinata — Y ass ir — 124,00 un + 172,51; kopā 296,51 m. No tā redzam, ka poligonam, kas jāsastāda mērogā 1 : 1000, vajadzīgais papīra lielums būs 32,18 cm $\times$ 29,66 cm (jo 1 cm uz plāna = 10 m dabā). No poligona līdz apvelkamam rāmim atstāsim 4 cm, bet ārējo malas garumu (ieskaitot zīmēšanas rīku, tušas un krāsu izmēģinājuma strēmeli, kas pēc plāna galīgas izgatavošanas ir nogriežama) paredzēsim 5 cm; tad plāna sastādīšanai vajadzīgā papīra izmēri būs $[32{,}18 + (4 + 5) . 2] \times [29{,}66 + (4 + 5) . 2] \cong$ $\cong 50{,}2$ cm $\times$ 47,7 cm. Pēc jau apskatītā koordinatu tīkla konstruēšanas paņēmiena konstruējam taisnleņķa četrstūri *adbc* (sk. 164. zīmējumu) un pēc koordinatu žurnalā uzrādītām poligona virsotņu koordinatām skatāmies, kā konstruēt koordinatu tīklu, lai poligons aptuveni ievietotos papīram vidū.

Skatāmies abscisas koordinatu sarakstā, kur redzam, ka ar + zīmi lielākais attālums ir 236,84; tā kā tīklu kvadratus esam nolēmuši konstruēt ar 100 m resp. 10 cm garām malām, tad no izejas (sākuma) punkta mums abscisas + virzienā vajag paredzēt divu kvadratu atstatumus 2 $\times$ 100 m. Tad pāri tīkla malējam kvadratam poligons novietosies vēl ar 36,84 m resp. uz plāna ar 3,7 cm (noapaļojot) garumu, turklāt papīra malas garumu mēs pieņēmām 4 cm + 5 cm; līdz ar to varam aprēķināt, ka tīkla kvadrata malai + 200 jāatrodas no papīra ziemeļu malas 3,7 cm + 4 cm + 5 cm = 12,7 cm. Atzīmējam šo attālumu uz taisnstūra malas ar punktu a^1, bet attālumu aa^1 atliekam uz taisnleņķa četrstūra db malas $aa^1 = dd^1$. Savienojot punktus a^1 un d^1, esam noteikuši koordinatu tīkla ārējo malu (+ 200) papīra augšmalā resp. ziemeļu pusē.

Gluži līdzīgi konstruējam arī kvadratu malu krustošanās vietas uz ordinatu ass.

Malējā koordinata ir — 124,00; 2,4 + 4 + 5 = 11,4 cm no papīra lapas kreisās malas jāatrodas — 100 malai. Ja ir noteiktas divas koordinatu tīkla ārējās malas, tad varam konstruēt visu koordinatu tīklu. Pēc konstruētā koordinatu tīkla pārbaudes varam sākt poligona virsotņu uzlikšanu uz plāna.



164. zīm.

Pirmā punktā aprēķinātās koordinatas ir 0,00 uz abām asīm, tātad punkts atrodas 0,000 tīklu malu krustojumā.

Otra punkta X koordinata ir vienlīdzīga + 106,77 un $Y =$ = — 92,78. Tātad 2. punkts atrodas tīkla pirmajā kvadratā. Uz tīkla X malām, kas noteiktas ar + 100, atliekam 6,77 un savienojam dabūtos punktus ar taisni. Uz šīs taisnes jāatrodas 2. punktam; tā atrašanās vietu uz taisnes nosaka $Y_2 = -92{,}78$, kuru atliekam uz tīkla Y malām. Savienojam dabūtos punktus un abu taišņu krustošanās punkts ir poligona 2. virsotnes atrašanās vieta uz plāna. Tūlīt pārbaudām, vai darbs izpildīts pareizi; ja darbs pareizs, tad dabā izmērītam līnijas garumam jāsakrīt ar attālumu starp uzliktiem punktiem uz plāna, kas ņemts dotā mērogā. Līdzīgā veidā turpinām uzlikt visus pārējos poligona punktus.

187. Priekšrocība, uzliekot punktus pēc koordinatām

Mēs jau zinām, ka punktu uzlikšana pēc koordinatām saistīta ar konstruēto koordinatu tīkla kvadratiem. Tādēļ saprotams, ka no konstruētā kvadratu tīkla noteiktības būs atkarīga arī uzlikto punktu noteiktība. Ja koordinatu tīkls būtu konstruēts matematiski pareizs, tad ikviena punkta uzlikšanā uz plāna ietilptu tikai uzliekamā punkta zīmēšanas (resp. noteikšanas) kļūda, jo katru punktu noteic pilnīgi neatkarīgi no citiem punktiem. Tātad šajā punktu uzlikšanas paņēmienā ir izslēgta nenovēršama zīmēšanas kļūdu uzkrāšanās visos uzliekamos punktos.

Otra priekšrocība ir tāda, ka jebkura punkta uzlikšanas pareizību tūlīt var pārbaudīt pēc divu uzlikto punktu noteiktās līnijas garuma, salīdzinot dabā izmērīto līnijas garumu ar tās pašas līnijas garumu uz plāna dotā mērogā.

Trešā priekšrocība ir tāda, ka pēc koordinatām uzlikto punktu un ar tiem noteikto līniju nenovēršamās zīmēšanas kļūdas nav jānosien, tas ir, nav jāizlīdzina.

XV. PLATĪBU APRĒĶINĀŠANA

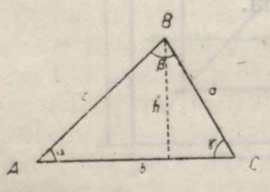
188. Platības aprēķināšanas metožu klasifikacija

Viens no nopietnākiem ģeodezijas uzdevumiem ir platības aprēķināšana. Atkarībā no tā, kādi ir uzmērījumu dati un kādu prasību uzstāda platības noteiktībai, lieto šādus platības aprēķināšanas paņēmienus:

1. Grafiskā metode.
2. Mechaniskā platību aprēķināšanas metode.
3. Skaitliskā platību aprēķināšanas metode.

189. Grafiskā metode

Jebkura uzmērīta zemes gabala platību mēs varam sadalīt vairākās ģeometriskās figurās. Visu šo atsevišķi aprēķināto ģeometrisko figuru platību suma dos uzmērītā zemes gabala kopplatību.



165. zīm.

Apskatīsim biežāk lietojamo ģeometrisko figuru platību formulas.

Trijstūra platības (sk. 165. zīmējumu).

1) Dots b un h; aprēķināt platību P.

$$P = \frac{b \cdot h}{2}; \quad 2P = b \cdot h.$$

2) Dots b un c un $\sphericalangle \alpha$; aprēķināt P.

$$h = c \sin\alpha; \; P = \frac{b \cdot c \sin\alpha}{2}; \; 2P = b \cdot c \cdot \sin\alpha.$$

3) Dots b un piegulošie leņķi α un γ.

$$c = \frac{b \cdot \sin\gamma}{\sin\beta}.$$

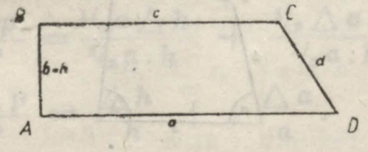
$$2P = \frac{b \cdot b \sin\gamma \sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{b^2 \sin\gamma \sin\alpha}{\sin(\alpha+\gamma)} = \frac{b^2}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma}.$$

4) Dotas visas trijstūra malas a, b, c.

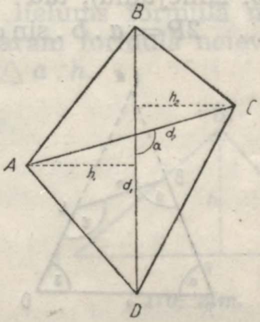
$$P = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)};$$

šajā formulā $s = \frac{a+b+c}{2}$.

Četrstūra platības (sk. 166. zīmējumu).



166. zīm.



167. zīm.

1) Ja četrstūris ir trapeza, tad

$$P = \frac{a+c}{2} \cdot h.$$

2) Ja četrstūris ir kvadrats, tad $P = a \cdot b$.

3) Ja četrstūris ir paralelograms, tad $P = a \cdot h$.

Ja četrstūrim ir neregulara forma (sk. 167. zīmējumu), tad lietojama 4., 5., 6. un 7. formula.

4) Dotas abas diagonales d_1 un d_2 un leņķis α starp tām,

tad $2P = d_1 \cdot d_2 \sin\alpha$.

5) Dota viena diagonale d_1 un virsotņu augstumi uz diagonales h_1 un h_2, tad $2P = d_1 h_1 + d_1 h_2$;

$$2P = d_1 (h_1 + h_2).$$

6) Dotas četrstūra divas pretējās malas a un b un visi četri iekšējie leņķi, tad tā divkārtējais laukums $2P = 2 \triangle AED$ laukumam — $2\triangle BEC$ laukums (sk. 168. zīmējumu).

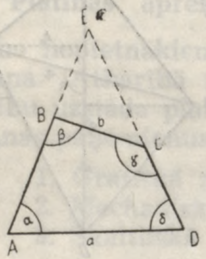
$$2\triangle AED = \frac{a^2}{\text{ctg}\,\alpha + \text{ctg}\,\delta};$$

$$2\triangle BEC = \frac{b^2}{\text{ctg}\,(180^\circ - \beta) + \text{ctg}\,(180^\circ - \gamma)};$$

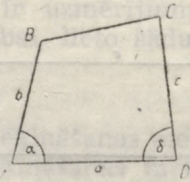
$$2P = \frac{a^2}{\text{ctg}\,\alpha + \text{ctg}\,\delta} - \frac{b^2}{\text{ctg}\,\beta + \text{ctg}\,\gamma}.$$

7) Dotas četrstūra trīs malas un to ieslēgtie divi leņķi (sk. 169. zīmējumu), tad

$$2P = a\,.\,b\,.\sin\alpha + ac\,\sin\delta - cb\,(\alpha + \delta).$$



168. zīm.



169. zīm.

190. Noteikumi platību dalīšanai pamatfigurās

Ņemsim 170. zīmējumā parādīto trijstūri ABC.

Mēs zinām, ka tā laukums $P = \frac{a\,.\,h}{2} = {}^1/_2\; a\,.\,h.$

Zināms, ka, ņemot attālumus pēc plāna, mēs nedabūsim matemātiski pareizos lielumus, bet tajos ietilps nenovēršamās kļūdas; kļūdu uz h lielumu apzīmēsim ar $\triangle h$ un uz a ar $\triangle a$. Līdz ar to mēs dabūsim kļūdainus h un a lielumus — a^1 un h^1 un arī platība būs kļūdaina:

$P^1 = {}^1/_2\, a^1\,.\,h^1$ un

$a = a^1 + \triangle a$	$a^1 = a - \triangle a$
$h = h^1 + \triangle h$	$h^1 = h - \triangle h$
$P = P^1 + \triangle p$	$P^1 = P - \triangle p$

Kļūda $\triangle a$ un $\triangle h$ var būt ar plus un ar minus zīmi. Ņemsim nelabvēlīgāko gadījumu, kad abas kļūdas ir ar vienādām zīmēm, un proti, ar + zīmi.

Tad $P - \triangle p = P^1$;

$P - \triangle p = \frac{1}{2}\,(a - \triangle a)\,.\,(h - \triangle h)$;

atverot iekavas,

$P - \triangle p = \frac{1}{2}ah - \frac{1}{2}a \triangle h - \frac{1}{2} \triangle ah + \frac{1}{2} \triangle a \triangle h.$

Ieliekot P vietā tā nozīmi $\frac{1}{2}\,a\,h$, dabūjam, ka

$\frac{1}{2}ah - \triangle p = \frac{1}{2}ah - \frac{1}{2}a \triangle h - \frac{1}{2} \triangle ah + \frac{1}{2} \triangle a \triangle h;$

$\triangle p = \frac{1}{2}a \triangle h + \frac{1}{2} \triangle ah - \frac{1}{2} \triangle a \triangle h.$

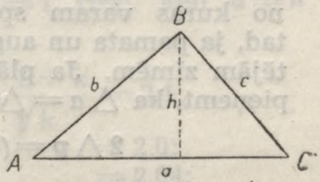
Tā kā kļūdu lielumi $\triangle a$ un $\triangle h$ ir ļoti mazi un to reizinājumu pussuma ir vēl mazāka, tad to lielums formulā nedod praktiski jūtamu lielumu, un to mēs varam formulā neievērot.

Tad $\triangle p = \frac{1}{2}a \triangle h + \frac{1}{2} \triangle a\,.\,h.$

Dalīsim uzrakstīto vienādojumu ar vienādojumu $P = \frac{1}{2}a\,.\,h$:

$$\frac{\triangle p}{P} = \frac{\frac{1}{2}a \triangle h}{\frac{1}{2}a\,.\,h} + \frac{\frac{1}{2} \triangle a\,.\,h}{\frac{1}{2}a\,.\,h};$$

$$\frac{\triangle p}{P} = \frac{\triangle h}{h} + \frac{\triangle a}{a}.$$



170. zīm.

No atrisinātās formulas mēs redzam, ka trijstūra platības relativā kļūda ir vienlīdzīga pēc plāna ņemto skaitļu relativo kļūdu sumai.

Pieņemsim, ka plāns sastādīts ar noteiktību $\frac{1}{n}$ un ka pēc plāna ņemtie lielumi a un h ir caurmērā vienādi. Tad relativā kļūda $\frac{\triangle h}{h} = \frac{\triangle a}{a} = \frac{1}{n}$ un formula pieņem šādu veidu:

$$\frac{\triangle p}{P} = \frac{2}{n}.$$

Piemēra dēļ pieņemsim, ka plāns sastādīts ar noteiktību $\frac{1}{2000}$ un mēs pēc tā esam grafiski ņēmuši trijstūra aprēķināšanai vajadzīgos skaitļus. Tad mēs pēc atrisinātās formulas redzam, ka mums ir iespējams aprēķināt trijstūra platību ar noteiktību ne sliktāku par $\frac{1}{1000}$, proti:

$$\frac{\triangle p}{P} = \frac{2}{n} = \frac{2}{2000} = \frac{1}{1000}.$$

Vēl jāievēro, ka pēc plāna ņemtos skaitļos ietilpst arī papīra deformacijas kļūdas, kas atsevišķos gadījumos var būt ievērojami lielas.

Varbūtējo papīra deformaciju var pārbaudīt, ja uz plāna ir doti dažādos virzienos līniju skaitliskie garumi. Salīdzinot tos ar plānā zīmētiem garumiem, mēs atradīsim varbūtējo papīra deformaciju. Ja kādā virzienā ir atrasta jūtama papīra deformacija, tad aprēķināšanai ņemtos skaitļos jāizdara attiecīgi labojumi.

Pierādīsim, ka aprēķināmo trijstūru izveidošanā jācenšas panākt, lai trijstūra pamats būtu aptuveni tikpat garš kā augstums, jo tad nenovēršamās kļūdas aprēķināto platību ietekmēs vismazāk.

To mēs nepārprotami redzam no iepriekš risinātās formulas

$$\triangle p = {}^1/_2\, a \triangle h + {}^1/_2\, h \triangle a; \quad 2 \triangle p = a \triangle h + h \triangle a^*,$$

no kuras varam spriest, ka laukuma kļūda būtu mazāka tad, ja pamata un augstuma kļūdas ($\triangle a$ un $\triangle h$) būtu ar pretējām zīmēm. Ja plāns sarāvies vai izplēties, tad vispār var pieņemt, ka $\triangle a = \triangle h$ un

$$2 \triangle p = (a + h) \triangle a = a\left(1 + \frac{h}{a}\right) \triangle a.$$

Vienkāršošanai apzīmēsim lielumu $\frac{h}{a}$ ar k;

$$\text{tad } h = a \,.\, k;$$

$$2P = a \,.\, h; \text{ ieliekot } h \text{ vietā } a \,.\, k,$$

$$\text{dabūsim } 2P = a \,.\, ak = a^2 k;$$

$$a = \sqrt{\frac{2P}{k}}; \qquad h = \frac{2P}{\sqrt{2P} \,.\, \sqrt{k}} = \sqrt{2P} \,.\, \sqrt{k}$$

$$\text{un } 2 \triangle p = \sqrt{\frac{2P}{k}}\, (1 + k) \triangle a.$$

Aprēķināsim relativo kļūdu, tas ir, dalīsim abas puses ar $2P$.

$$\frac{2 \triangle p}{2P} = \frac{\sqrt{\frac{2P}{k}}\, (1 + k) \triangle a}{a \,.\, h};$$

---

* Šajā gadījumā formulā lielumos $\triangle_h$ un $\triangle_a$ ietilpst arī kļūdas, kas cēlušās papīra deformacijas ietekmē.

$$\frac{2\triangle p}{2P} = \frac{\sqrt{\frac{2P}{k}}\,(1+k)\triangle a}{\sqrt{\frac{2P}{k}}\,.\,\sqrt{2P}\,.\sqrt{k}}\,;$$

$$\frac{\triangle p}{P} = \frac{1+k}{\sqrt{k}}\,.\,\frac{\triangle a}{\sqrt{2P}}.$$

Dodot attiecībai $\frac{h}{a}$ dažādas nozīmes, piemēram, $\frac{h}{a} = k = 0{,}5;\ 1;\ 1{,}5;\ 2$, mēs redzam, ka reizinātāja attiecība $\frac{1+k}{\sqrt{k}}$ vismazāka ir tad, kad $k = 1$, t. i., kad $\frac{h}{a} = 1$ resp. kad $a = h$ (trijstūra pamats = augstumam).

Ja $k = 0{,}5$, tad reizinātāja attiecība $\frac{1+k}{\sqrt{k}} = 2{,}1;$

„ $k = 1{,}0$ „ „ „ „ $= 2{,}0;$

„ $k = 1{,}5$ „ „ „ „ $= 2{,}04;$

„ $k = 2$ „ „ „ „ $= 2{,}1.$

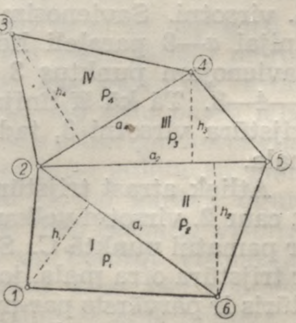
191. Daudzstūra sadalīšana trijstūros

171. zīmējumā parādītā sešstūra platības grafiskai aprēķināšanai daudzstūri sadala trijstūros, izmērī pēc plāna trijstūru pamatus un augstumus un aprēķina atsevišķo trijstūru platības, kuru kopējā suma dod visa sešstūra laukuma platību:

I $(a_1 \times h_1) : 2 = P_1,$
II $(a_2 \times h_2) : 2 = P_2,$
III $(a_3 \times h_3) : 2 = P_3,$
IV $(a_4 \times h_4) : 2 = P_4.$

Platība kopā $= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = \Sigma P.$

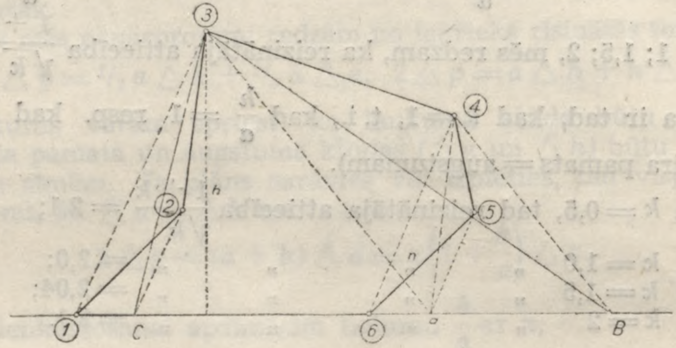
Lai aprēķinu kontrolētu, poligonu sadala citādos trijstūros un aprēķina platību arī pēc tiem, vai arī aprēķina trijstūru laukumus pēc $\triangle$ visu malu garumu formulas, vai pārvērš poligonu vienlielā trijstūrī.



171. zīm.

192. Daudzstūra pārvēršana vienlielā trijstūrī

Pieņemsim, ka 172. zīmējumā parādītais sešstūris mums ir jāpārvērš vienlielā trijstūrī. Tad viena no līnijām jāpieņem par lielā trijstūra pamatni, piemēram — līnija 1—6; un viena virsotne par trijstūra virsotni, piemēram, virsotne 3. Pamatni turpināsim uz abām pusēm. Punktus 4. un 6. savienosim ar taisni un caur 5. virsotni novilksim līnijai 4—6 paraleli, kas krusto pamatni punktā *a*. Tad savienojam punktus *a* un 4;



172. zīm.

līnija *a*—4 atvieto līnijas 6—5—4, jo △ 6—5—4 ir vienliels ar △ 6, 4, *a* un △ 6*na* ir vienliels ar △4*n*5, tātad, cik līnija *a*—4 piegriež, tik tā arī atgriež. Tātad ar šo rīcību esam no poligona izslēguši virsotni 5, bet pats poligons pārvērsts par piecstūri, turklāt 6. virsotne pabīdīta līdz punktam *a*. Tagad izslēgsim 4. virsotni. Savienosim 3 virsotni ar *a*, caur 4. virsotni vilksim līnijai *a*—3 paraleli līdz krustojumam ar pamatni punktā *B*. Savienojam punktus 3 un *B* un līnija 3—*B* atvieto līnijas *a*—4—3. Tā kā šī līnija 3—*B* sakrīt ar mūsu iepriekš izvēlētā trijstūra virsotni 3, tad tā ir arī konstruējamā trijstūra viena mala.

Atliek atrast trijstūra otru malu. Savienojam punktus 1 un 3; caur 2. virsotni velkam līnijai 1—3 paraleli līdz krustojumam ar pamatni punktā *C*. Savienojam *C* ar 3 un dabūtā līnija *C*—3 ir trijstūra otra mala, jo sakrīt ar izvēlēto virsotni 3. Tagad sešstūris ir pārvērsts par trijstūri *C*3*B*. Izmērījot uz plāna augstumu *h* un pamatni *c*—*B*, sešstūra platību var aprēķināt tikai pēc diviem mērījumiem.

Jāatzīmē, ka šis paņēmiens var noderēt arī robežu iztaisnošanas grafiskai aplēsei.

193. Mechaniskie paņēmieni

Pēc sastādītiem ģeodezijas plāniem dažādu figuru platības var noteikt arī mechaniski. Parasti platības nosaka mechaniski ar paleti un ar planimetru.

194. Palete

Palete sastāv no caurspīdīga materiala plāksnes, uz kuras uzzīmēti kvadrati. Kvadrati iedalīti līdzīgi milimetra papīra iedalījumam, t. i., vismazākie kvadrati iezīmēti iespējami šaurām līnijām, tad 5×5 mazie kvadrati iezīmēti mazliet resnākām līnijām; 10×10 mazie kvadrati savukārt iezīmēti mazliet resnākām par 5×5 līniju kvadratiem; 50×50 mazie kvadrati savukārt stiprāk iezīmēti nekā iepriekšējie. Parasti vismazākā kvadrata malas lielums noteikts 1 mm, bet ir arī paletes, kuru mazākie kvadrati ir izgatavoti ar noteiktu platību zināmam mērogam. Paletes pirms lietošanas jāpārbauda. Pārbaudi izdara ar cirkuli un mērogu, salīdzinot kvadratu malas savā starpā un arī, vai malas ir pareizā garumā. Piemēram, 1 cm un 1 mm pareizu lielumu var ērti paņemt pēc mēroga $\frac{1}{1000}$; 10 m = 1 cm. Milimetra papīrs un parastie centimetru-milimetru iedalījumi uz trijstūra malām u. c. ir neprecizi un malu garumu pārbaudīšanai neder. Tanī vietā jālieto mērogi.

Ja pārbaudē palete uzrāda kļūdas, kas pārsniedz uzdoto platību aprēķināšanas noteiktību robežas, tad tādu paleti labāk nelietot, bet, ja lieto, tad aprēķinos jāizdara attiecīgas korekcijas. Palete jālieto tā, lai kvadratu zīmējumu puse gulētu uz plāna. Uz aprēķināmās figuras paleti pielaiko tā, lai garākā figuras mala sakristu ar lielāko kvadratu malu. Tad saskaita vispirms veselus lielos kvadratus, tad mazākos un beidzot vismazākos kvadratus, un beigās vismazāko kvadratu daļas pēc acumēra. Zinot vismazākā kvadrata laukuma vērtību zināmā mērogā un kvadratu skaitu figurā, var viegli noteikt visas figuras laukumu.

Piemēram, paletes mazākais kvadrata lielums ir 1 mm^2. Plāns sastādīts 1 : 2000. Pēc paletes figuras platībā saskaitīti:

8	gab. kvadrati	$(50 \times 50) =$	20 000	mm^2
12	„ „	$(10 \times 10) =$	1 200	„
6	„ „	$(5 \times 5) =$	150	„
35	„ „	$(1) =$	35	„
15	„ „	$(0,5) =$	7,5	„
		Kopā =	21 392,5	mm^2.

1 mm^2 uz plāna atbilst 4 m^2 dabā.

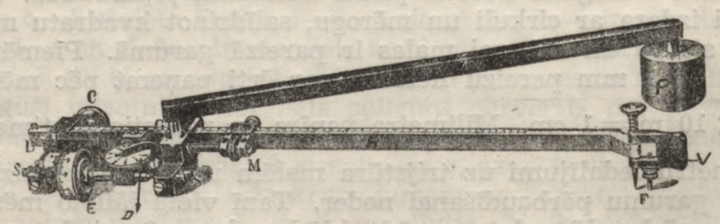
Tātad noteicamās figuras platība ir vienlīdzīga

$$4\ m^2 \times 21\,392{,}5 = 85\,570{,}0\ m^2 = 8{,}557\ ha.$$

Ar rūpīgu un precizu darbu paleti var izgatavot uz caurspīdīga papīra vai celuloida plāksnes katrs savām vajadzībām.

195. Planimetrs

Planimetrs ir instruments, ar kuru pēc noteiktā mērogā sastādīta plāna var mechaniski noteikt platības. Apskatīsim planimetra uzbūvi, teoriju un lietošanas veidu.



173. zīm.

Galvenā planimetra sastāvdaļa ir platību reģistrējošais ritenītis *E*, kas nekustīgi savienots ar asi. Ritenīša aploce iedalīta 100 daļās un blakus ritenītim piestiprināts nonijs *J*. Uz ritenīša ass atrodas bezgalīga skrūve, kas pārnes ritenīša *E* apgriezienus uz cipareni *D*. Ciparene iedalīta 10 daļās, un virs tās atrodas rādītājs — indeks. Visas šīs daļas piestiprinātas uz kopēja rāmja, kuram piestiprināts atbalsta ritenītis *C* un nonijs *G*. Rāmis uzmaukts svirai *H*, kurai ir iedalījumi rāmja nostādīšanai uz sviras (vajadzīgā attālumā). Sviras galā atrodas apvedamā adata *F* un atbalsta tapa ar vadaustiņu *V*. Rāmja virsū atrodas iedobums *G*, kurā ievieto planimetra otras sviras (pola sviras) H^1 kājiņu, ko sauc par sviras griezes asi; tās ievietojums izveidots tāds, lai abu sviru veidotais leņķis var veidot lielumus no 0°—360°. Sviras H^1 otrā galā atrodas cilindrveida pols *P* ar tam apakšā iestiprinātu adatiņu, ko, lietojot planimetru, iedur papīrā. Tā svira H^1 lietošanā izdara vienīgi radialas kustības ap centru *P*, bet, velkot sviras *H* apvedamo adatu *F* pa sastādītā plāna konturām, otra svira *H* izdara visdažādākās kustības, turklāt platību reģistrētājs ritenītis *E* atkarībā no sviras *H* kustībām vai nu slīd, vai griežas.

Platību reģistrētāja ritenīša *E* darbība dibināta uz šādiem nosacījumiem:

Ritenīša plaknei jābūt perpendikularai pret apvedamo sviru *H*. Ja šis noteikums izpildīts, tad:

a) ja apvedamā svira izdara kustības perpendikulari svirai, tad ritenītis griežas;

b) ja apvedamā svira virzās paraleli sev, tad ritenītis slīd.

Planimetra pola sviru *H'* var nolikt tā, lai tā atrastos gan vienā, gan otrā pusē apvedamai svirai *H*. Noteicot platību vienā un otrā stāvoklī, iznīcinās jeb kompensējas dažas instrumenta kļūdas. No tā instruments ieguvis arī nosaukumu — kompensacijas planimetrs.

196. Planimetra teorija

Pieņemsim, ka sastādīts zemes gabala *H* plāns ar 174. zīmējumā parādītām konturām un mums jānoteic ar planimetru šī zemes gabala platība.

Iedomāsimies planimetru, kas novietots šādā izejas stāvoklī: ja pols *P* atrodas aptuveni zemes gabala figuras vidū, apvedamā adata *A* atrodas izejas stāvoklī, — kādā brīvi izvēlētā punktā *A*, tad planimetrs ieņems zīmējumā parādīto izejas stāvokli, proti, svira *S* būs stāvoklī *AJL* un svira S_1 — *PJ;* platību reģistrētājs ritenītis atradīsies punktā *L*. Ritenīša attālumu līdz abu sviru savienojumam apzīmēsim ar r. Iedomāsimies, ka mēs apvedamo adatu esam pabīdījuši gar konturas malu līdz punktam A_1. Tad planimetrs ieņems stāvokli A_1J_1P un ritenītis būs pārvietojies no punkta L uz L_1, bet pola sviras S_1 gals pārvietojies no J uz J_1 par loka gabalu b. Aprēķināsim zemes gabala $PJAA_1J_1P$ platību starp abiem planimetra stāvokļiem. Novilksim caur punktu J_1 paralelu līniju izejas stāvokļa svirai S; šī līnija krustos konturas malu punktā A^1. Pola sviras S_1 izveidoto leņķi starp abiem stāvokļiem apzīmēsim ar $\sphericalangle \alpha$; leņķi $A^1J_1A_1$ ar $\sphericalangle \beta$; aprēķināmo laukumu ar p. Pieņemsim, ka apvedamās adatas noietais ceļš starp punktiem A—A_1 ir bezgalīgi mazs lielums. Tādā gadījumā aprēķināmo laukumu p mēs varam uzskatīt kā sastāvošu no paralelograma AA^1J_1J ar augstumu h un sektoriem JPJ_1 un $A^1J_1A_1$.

Tad laukumi $AA^1J_1J = Sh$;

$$JPJ_1 = {}^1/_2 S_1 \times JJ_1 = {}^1/_2 S_1{}^2 \overset{\smile}{\alpha};$$

$$A^1J_1A_1 = {}^1/_2 S \times A^1A_1 = {}^1/_2 S^2 \overset{\smile}{\beta}$$

un $p = Sh + {}^1/_2 S_1{}^2 \overset{\smile}{\alpha} + {}^1/_2 S^2 \overset{\smile}{\beta}$.

Apvedamai adatai pārejot no punkta A uz A_1, platību reģistrētājs ritenītis, pārvietodamies no L uz L_1, būs pagriezies un šo pagriešanās loku apzīmēsim ar u.

Apskatīsim, kādu ceļu ritenītis ir nogājis, lai pagrieztos lokā u. Svirai S pārejot no izejas stāvokļa līdz sev paralelam stāvoklim $A_1J_1L_1{}^1$, ritenītis gan slīdēdams, gan griezdamies ir pagriezies lokā, kas ir vienlīdzīgs ar lielumu h, bet pārejot tālāk no $A_1J_1L_1{}^1$ līdz stāvoklim $A_1J_1L_1$ ir griezies pretējā virzienā.

Tātad $u = h - \overset{\smile}{L_1L^1{}_1}$; $\overset{\smile}{L_1L^1{}_1} = r\beta$; $u = h - r\beta$,
no kurienes $h = u + r\beta$.

Ieliekot laukuma formulā h nozīmi:

$$p = S(u + r\beta) + {}^1/_2 S^2{}_1\alpha + {}^1/_2 S^2\beta;$$
$$p = Su + {}^1/_2 S^2\beta + {}^1/_2 S^2{}_1\alpha + Sr\beta.$$

Mēs varam iedomāties, ka planimetra apvedamā adata ir pabīdīta pa konturas malu par tādu pašu bezgalīgi mazu lielumu un atrodas punktā A_2. Tad nākošais mazais laukums

$$p^1 = Su^1 + {}^1/_2 S^2\beta_1 + {}^1/_2 S^2{}_1\alpha_1 + Sr\beta_1.$$

Tāpat mēs varam iedomāties, ka viss noteicamais laukums H sastāv no n bezgalīgi maziem laukumiņiem. Tad visa H laukuma platība $P = p + p_1 + p_2 + \ldots p_n = S(u + u_1 + u_2 + \ldots$ $\ldots u_n) + \frac{1}{2}S^2(\beta + \beta_1 + \beta_2 + \ldots \beta_n) + \frac{1}{2}S_1^2(\alpha + \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots$ $\ldots \alpha_n) + S_r(\beta + \beta_1 + \beta_2 + \ldots \beta_n)$.

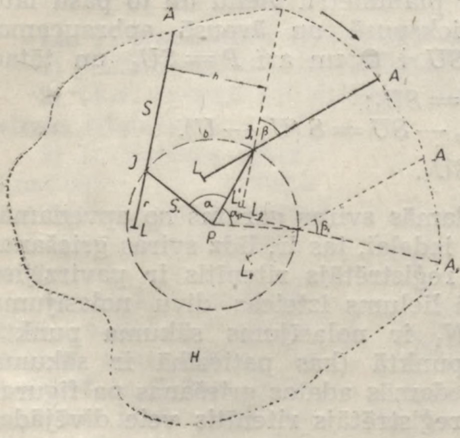
Apzīmējot $u + u_1 + u_2 + \ldots u_n = U$

un zinot, ka $\beta + \beta_1 + \beta_2 + \ldots \beta_n = 2\pi$

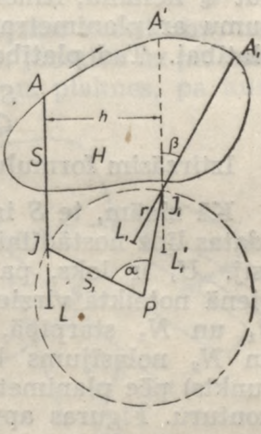
un $\alpha + \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots \alpha_n = 2\pi$,

$$P = SU + \pi S^2 + \pi S_1^2 + 2\pi Sr;$$

$$P = SU + \pi(S^2 + S_1^2 + 2Sr).$$



174. zīm.



175. zīm.

Mēs redzam, ka atrisinātā formulā reizinājums $\pi . (S^2 + S_1^2 + 2Sr)$ planimetram ir noteikts un nemainīgs lielums; to apzīmē ar Q un sauc par planimetra konstanto skaitli.

Tad $P = SU + Q$.

Noteicamā figuras platība P ir vienlīdzīga apvedamās sviras garumam, kas reizināts ar reģistrētāja ritenīša algebriskā nozīmē atrisināto loku plus konstantais skaitlis.

Ja platība ir mazāka un planimetra pols P atrodas ārpus noteicamās platības, piemēram, 175. zīmējumā parādītājā gadījumā, tad atrisinātā formulā

$P = S(u + u_1 + \dots u_n) + {}^1/_2 S_1^2 (\alpha + \alpha_1 \dots \alpha_n) + {}^1/_2 S^2 (\beta + \beta_1 + + \beta_2 + \dots \beta_n) + Sr(\beta + \beta_1 + \dots \beta_n)$ izteiksies:

$$\alpha + \alpha_1 + \alpha_2 + \dots \alpha_n = 0$$

un arī $$\beta + \beta_1 + \beta_2 + \dots \beta_n = 0,$$

un formula pieņems šādu veidu: $P = SU_1$.

Tātad, ja pols atrodas ārpus noteicamās platības, tad noteicamā platība ir vienlīdzīga apvedamās sviras garumam, kas reizināts ar reģistrētāja ritenīša algebriskā nozīmē atrisināto loku.

No formulām $P = SU + Q$ un $P = SU_1$ mēs varam aprēķināt Q lielumu, izmērījot ar planimetru vienu un to pašu laukumu ar planimetra polu iekšpusē un ārpusē apbraucamai platībai. Tad platība $P = SU + Q$ un arī $P = SU_1$ un tātad

$$SU + Q = SU_1;$$
$$Q = SU_1 - SU = S(U_1 - U).$$

Iztirzāsim formulu $P = SU_1$.

Kā zinām, te S ir apvedamās sviras garums no apvedamās adatas līdz nostādītai sviras iedaļai, tas ir, līdz sviras griešanas asij. U_1 ir loks, pa kuru reģistrētājs ritenītis ir pavirzījies vienā noteiktā virzienā. Tā lielums izteicas divu nolasījumu N_1 un N_2 starpībā, kur N_1 ir nolasījums sākuma punktā un N_2 nolasījums beigu punktā (kas patiesībā ir sākuma punkts) pēc planimetra apvedamās adatas griešanas pa figuras konturu. Figuras apvedot, reģistrētājs ritenītis veic divējādas griezes kustības gan iedaļu pieaugošās numeracijas virzienā, gan arī tai pretējā virzienā (tātad ritenīša faktiski noietais ceļš patiesībā ir lielāks par U_1, kuru izteic planimetra nolasījumu starpība). Apvedot figūru pulksteņa rādītāja gaitas virzienā, pieaugošais virziens ir pārsvarā un tāpēc $N_2 > N_1$ un otrādi — pretēji pulksteņa rādītāja virzienā $N_2 < N_1$. Vienmēr no lielākā nolasījuma atņem mazāko.

Nolasījumu starpību starp N_2 un N_1 nosauksim par n, kuru savukārt mēdz nosaukt par „laukumu", kas izteikts planimetra iedaļās, vai saīsināti par planimetra nolasījumu.

Kā izteikt lielumu n un U_1?

n tiek izteikts ritenīša aploces tūkstošdaļās, t. i., planimetra noteiktībā, ko apzīmēsim ar t. Izmērījot ritenīša diametru d, varam noteikt t lielumu.

$$t = \frac{\pi d}{1000}, \text{ bet } U_1 = n \, . \, t$$

vai

$$U_1 = \frac{\pi d}{1000} \, . \, n; \text{ tad } P = \frac{S \, . \, \pi d}{1000} \, . \, n.$$

Lielumu $\frac{S \, . \, \pi d}{1000}$, kas ir konstants, sauc par planimetra nonija iedaļas vērtību, ko apzīmēsim ar p.

Tad $P = p \, . \, n$ un $p = \frac{S \, . \, \pi d}{1000} = S \, . \, t$.

197. Planimetra lietošana

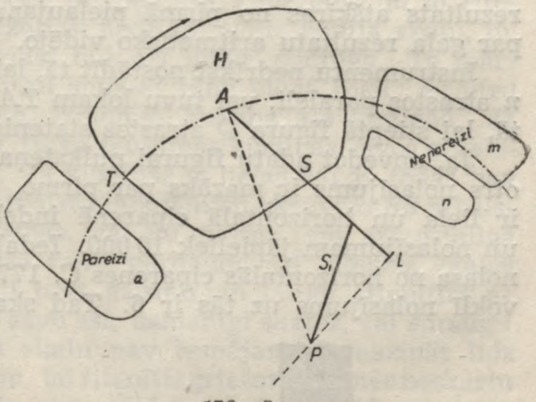
Lai ar planimetru varētu sasniegt iespējamo noteiktību, tad:

1) platību reģistrētāja ritenīša kustībām jānotiek uz plaknes;

2) visai noteicamai platībai jāatrodas uz plaknes, pa kuru virzās ritenītis;

3) apvedamās adatas kustībām pa platību konturām jābūt vienmērīgām, bez raustījumiem un

4) visām nodarbībām, sākot ar planimetra nostādīšanu un beidzot ar pēdējo nolasījumu, jābūt uzmanīgām, rūpīgām un vērīgām.



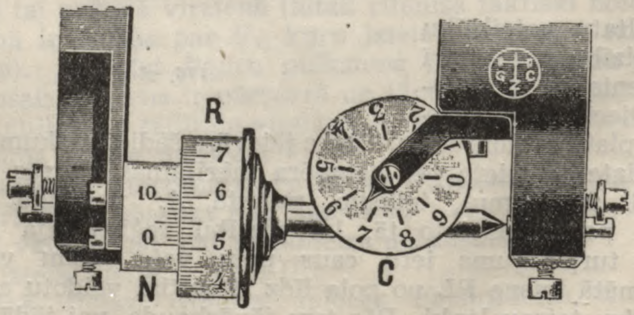
176. zīm.

Rezultatu noteiktību un pareizību noteic arī instrumenta novietojums attiecībā pret mērījamās platības konturām. Tāpēc jāievēro šādi noteikumi: apvedamā adata jāievieto pēc acumēra mērījamās figuras H vidū (sk. 176. zīmējumu), teiksim, punktā A; nemainot adatas stāvokli, pols jānovieto tā, lai platību reģistrētāja ritenīša plaknes turpinājums ietu caur polu vai, citiem vārdiem, lai iedomātā taisne PL no pola līdz ritenītim veidotu ar apvedamo sviru taisnu leņķi. Pēc tam jāpārbauda, vai tādā instrumenta stāvoklī iespējams apvest apvedamo adatu pa figuras konturām. Kad tāds stāvoklis panākts, jāizvēlas sākuma — beigu punkts. Tas jāņem pēc iespējas uz aploces, kuru veido iedomātais radijs *PA*, teiksim, punktā *T*. Kad apvedamā adata nostādīta sākuma punktā, tad nolasa ritenīšu un nonija iedaļas un pieraksta. Pieņemsim, ka pirmais nolasījums ir 7439. Pēc tam uzmanīgi un vienmērīgi vada apvedamo adatu pulksteņa rādītāja gaitas virzienā pa figuras konturu apkārt noteicamai platībai līdz nonākam atkal sākuma punktā *T*. Šajā stāvoklī nolasa otru nolasījumu, pieņemsim, ka tas ir 7575. Nolasījumu starpība 7575 — 7439 = 136 ir figuras *H* laukums, kas izteikts ar planimetra mazākās iedaļas 136 vērtībām. Ja, piemēram, mazākās iedaļas vērtība ir 0,01 ha, tad figuras *H* platība ir 136 × 0,01 ha = 1,36 ha.

Lai pārbaudītu rezultata pareizību un palielinātu noteiktību, platība nosakāma otrreiz, un mazliet paceļot ritenīti izmaina nolasījumu, nostāda apvedamo adatu sākuma punktā, nolasa indeka un nonija uzrādītās iedaļas un apved adatu pa figuras konturu pretēji pulksteņa rādītāja gaitas virzienam. Ja otrs rezultats atšķiras no pirmā pieļaujamības robežās, tad ņem par gala rezultatu aritmetisko vidējo.

Instrumentu nedrīkst nostādīt tā, lai iegarenās figuras *m* un *n* atrastos paraleli, vai tuvu lokam *TA*. Instruments jānostāda tā, lai stieptā figura *Q* atrastos stateniski lokam *TA*.

Ja, apvedot adatu figurai pulksteņa rādītāja gaitas virzienā otrs nolasījums ir mazāks par pirmo, tad tas rāda, ka platība ir liela un horizontalā ciparenē indeks pagājis garām nullei un nolasījumam jāpieliek 10 000. Iedaļas nolasa šādi: vispirms nolasa no horizontalās ciparenes *C*. 177. zīmējumā parādītā stāvoklī nolasījums uz tās ir 6. Tad skatās uz ritenīša *R* ieda-



177. zīm.

ļām un tās nolasa. Otrs nolasījums ir 5 (ritenīša garākā iedalījuma svītriņa pirms nonija nulles); trešais cipars arī nolasāms no ritenīša skalas — īsākā svītriņa pirms nonija nulles svītriņas — 0 un ceturtais nolasījums no nonija — 5. Kopējais nolasījums ir 6505. Planimetru parasti lieto stāvoklī, kad pols ir ārpus poligona. Jāievēro, lai, apvedot adatu ap poligonu, leņķis starp abām svirām nebūtu ne pārāk šaurs, ne arī pārāk plats.

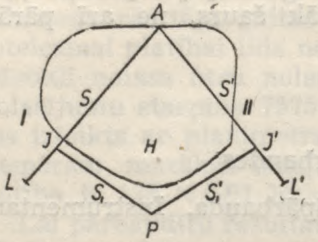
198. Planimetra pārbaudes

Pirms planimetra lietošanas tas jāpārbauda. Instrumentam jāpilda šādas prasības:

1) Platību reģistrētājam ritenītim vajag griezties brīvi un vienmērīgi. Šī pārbaude sadalās divās daļās: a) ritenīša griezes ass nedrīkst būt ne par daudz stingri, ne arī par daudz vaļīgi iestiprināta atbalsta punktos *SS* pēc 173. zīmējuma un b) ritenīša skala, ritenītim griežoties, nedrīkst skart nonija skalu, un starp abām skalām nedrīkst būt arī plata sprauga. To pārbauda, turot apvedamo sviru kopā ar rāmi vienā rokā. Ar otru roku saņem ritenīti *E* un uzmanīgi kustina ass virzienā. Ja ritenīša ass izdara mazas, tikko jaušamas kustības savos atbalstos, tad prasība izpildīta. Ja kustības ir lielas vai ja tādas nav nemaz manāmas, tad ar atbalstu labojamām skrūvēm *SS* atbalstus, skatoties pēc vajadzības, vai nu tuvina, vai arī attālina vienu no otra. Tanī pašā reizē pārbauda arī ritenīša skalas stāvokli un, turot ritenīti pret gaismu un ļaujot ritenītim ar inerces spēku griezties ap savu asi, uzmanīgi skatās, vai spraugu starp nonija un ritenīša skalu nav iespējams samazināt līdz minimumam ar noteikumu, lai ritenītis griežoties tomēr neskartu nonija skalu. Ar ritenīša ass atbalsta skrūvēm *SS* atbalstus noregulē tā, lai abas pārbaudes prasības būtu izpildītas.

2) Ritenīša plaknei jābūt perpendikularai pret plakni, kas iet caur apvedamo adatu un sviru griezes asi.

Pārbaudi izdara, noteicot vienas un tās pašas figuras *H* platību ar instrumenta stāvokli I, kad ritenītis atrodas no svirām pa kreisi, un II stāvoklī, kad ritenītis atrodas pa labi no svirām (sk. 178. zīmējumu). Katrā stāvoklī noteic platību un izdara kontroli. Ja I stāvokļa rezultati sakrīt ar instrumenta II stāvokļa rezultatiem, tad pārbaudes prasība ir izpildīta, ja ne, tad ar instrumentu nedrīkst strādāt pie viena stāvokļa. Platību noteikšanai instrumentu var lietot, tikai tad platība jānoteic pēc abiem instrumenta stāvokļiem, un no abiem rezultatiem aritmetiskais vidējais būs brīvs no kļūdas, t. i., būs pareizais rezultats.



178. zīm.

3) Planimetram dažreiz ir dota tabula, kurā uzrādīti sviras S garumi dažādiem mērogiem un planimetra viena iedalījuma vērtība dotajam sviras garumam; tāpat tabulā uzrādīti arī Q lielumi dotiem sviru garumiem un mērogiem. Skaitļa Q pārbaudei nostāda ar sviras nonija palīdzību tabulā doto sviras garumu. Ņem uz plāna precizi uzzīmētu kvadratu (vislabāk koordinatu tīklu), kuram viegli noteikt platību ģeometriski. Ar planimetru nosaka šo platību pie diviem stāvokļiem, — ar polu iekšpus un arī ārpus figuras (t. i., kvadrata). Ar apvedamo adatu apbraucam vairākkārt figuru pie planimetra stāvokļa: pols ārpus figuras, un, ja nolasījumi atšķiras pieļaujamības robežās, ņem aritmetisko vidējo nolasījumu starpību n_1.

Tad $P = pn_1$.

Neizmainot sviras garumu, to pašu figuru noteicam ar polu iekšpus figuras un tāpat vairākkārt nosakām nolasījumu starpības. Aprēķinām aritmetisko vidējo n_2.

Tad $P = p\,(n_2 + Q)$.

Atņemot no pirmās formulas pēdējo,

$$o = pn_1 - pn_2 - pQ;$$
$$Q = n_1 - n_2.$$

Šai, t. i., 3. pārbaudei var izlietot planimetram līdzdoto kontrollīnealu, kuram vienā galā ir papīrā iespraužama tieva adatiņa, bet otrā galā svītriņa sākuma-beigu punkta precizai noteikšanai; līneala virsā ir mazi iedobumi apvedamās adatas ievietošanai. Iespraužot līneala adatiņu pietiekami stingri papīrā un ievietojot apvelkamo adatu izvēlētā iedobumiņā un apbraucot apli, var aprēķināt apbrauktā apļa laukumu, kura radijs ir attālums starp apvedamo adatu un papīrā iesprausto līneala adatiņu.

199. Planimetra mazākās iedaļas vērtības noteikšana

Ņem dotā mērogā uz plāna uzzīmētu figuru, kuras platība nosakāma ģeometriski (vislabāk koordinatu tīkla kvadratu). Noteic vairākkārt, pat līdz 10 reižu, tās platību ar planimetru. Dabūjam laukumu, kas izteikts planimetra iedaļās. Apzīmējot platību ar P, planimetra rezultatu vidējo ar n un planimetra iedaļas vērtību ar p, varam rakstīt, ka $P = p \cdot n$.

Šajā nolīdzinājumā zināmie lielumi ir P un n, tādēļ

$$p = \frac{P}{n}.$$

200. Kā noteikt tādu planimetra sviras garumu, lai mazākās iedaļas vērtība būtu vesels skaitlis

Pieņemsim, ka esam mērogā $\frac{1}{M}$ sastādītai platībai noteikuši planimetra mazāko iedaļas vērtību p pie sviras garuma S. Bet p ir neērts daļu skaitlis; nolasījumu starpība ir n; ģeometriski aprēķinātā platība un tā pati platība, kas noteikta ar planimetru, ir P. Lai planimetra lietošana būtu ērta, tad ir nepieciešami jāmāk noteikt tādu sviras garumu, lai mazākā iedaļas vērtība p' būtu vesels skaitlis.

Protams, ka tas var būt tikai vienam noteiktam sviras garumam, teiksim, S'. Aprēķināsim S'.

Tātad pēc iepriekš noteiktās iedaļu vērtības pie sviras garuma S platība ir:

$$P = p \cdot n = \frac{S \cdot \pi d}{1000} \cdot n.$$

Un pie vajadzīgā sviras garuma S^1

$P = p^1 \cdot n^1 = \frac{S^1 \cdot \pi d}{1000} \cdot n^1$, jo tā pati platība, kas apbraukta ar sviras garumu S^1, dotu nolasījumu starpību n^1, pie kuras tad mazākā iedaļas vērtība būtu vesels skaitlis. Tā kā abas izteiksmes dod vienu un to pašu platību P, tad

$$\frac{S \cdot \pi d}{1000} \cdot n = \frac{S^1 \cdot \pi d}{1000} \cdot n^1.$$

jeb

$$Sn = S^1 . n^1;$$

$$S^1 = S . \frac{n}{n^1}.$$

Tā kā arī $p^1 n^1 = pn$, tad $\frac{n}{n^1} = \frac{p^1}{p}$ un $S^1 = S . \frac{p^1}{p}$.

Ņemsim piemēru ar planimetru, kuram nostādītais sviras garums $S = 312{,}0$, noteiktā platība kvadratam $P = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10\,000 \text{ m}^2$; platība mērogā ir 1 : 1000. Platība izteicas nolasījumu starpību aritmetiskā vidējā $n = 1175$.

Tad $p = \frac{10\,000}{1175} \cong 8{,}51.$

Kāds jāņem sviras garums S^1, lai mazākās iedaļas vērtība p^1 būtu vienlīdzīga 10 m²?

$$S^1 = S . \frac{p^1}{p} = 312 . \frac{10}{8{,}51} = 366{,}6.$$

Ja ar šādu sviras garumu noteiks platības mērogā $^1/_{1000}$, tad planimetra mazākās iedaļas vērtība būs 10 m².

Tomēr pēc aprēķinātā sviras garuma nostādīšanas vispirms noteikti jāpārbauda, vai mazākā vērtība sakrīt ar aprēķināto, un tikai pēc tam var stāties platību noteikšanas darbā.

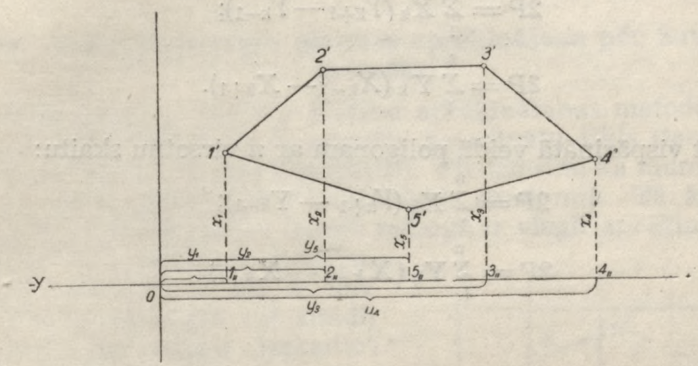
201. Planimetra noteiktība

Noteiktība atkarīga visvairāk no tā, cik rūpīgi, lietpratīgi un uzmanīgi darba darītājs rīkojas ar planimetru platību noteikšanas darbā. Vidējo, vienreizējās platības noteikšanas kļūdu nosaka pēc formulas $\pm\, 0{,}0002\, M \sqrt{F}$, kur F ir laukums, kas izteikts kvadratmetros un kas sastādīts mērogā $\frac{1}{M}$.

Ļoti mazu un tāpat arī šauri stieptu figuru platības nav ieteicams noteikt ar planimetru, jo tādām platībām nav iespējams dabūt apmierinošus rezultatus. Tādēļ šauras un stieptas figuras platības (piemēram, grāvju, ceļu u. tml.) labāk noteikt ar grafiskiem paņēmieniem.

202. Platību aprēķināšana pēc koordinatām

Ikviena slēgta poligona platību var matemātiski aprēķināt pēc tā virsotņu koordinatām. Pieņemsim, ka mums jāaprēķina platība 179. zīmējumā parādītajam daudzstūrim 1^1, 2^1, 3^1, 4^1, 5^1, kuram dotas virsotņu koordinatas: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 un Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5. Piecstūra laukumu apzīmēsim ar P.



179. zīm.

No zīmējuma redzams, ka piecstūra laukums sastādās no šādām trapezām:

$$P = 1^1 2^1 2_{11} 1_{11} + 2^1 3^1 3_{11} 2_{11} + 3^1 4^1 4_{11} 3_{11} - 5^1 4^1 4_{11} 5_{11} - 1^1 5^1 5_{11} 1_{11}.$$

Aprēķināsim šo trapezu laukumus pēc dotām koordinatām.

$$P = \frac{X_1 + X_2}{2}(Y_2 - Y_1) + \frac{X_2 + X_3}{2}(Y_3 - Y_2) + \frac{X_3 + X_4}{2}(Y_4 - Y_3) - \frac{X_4 + X_5}{2}(Y_4 - Y_5) - \frac{X_1 + X_5}{2}(Y_5 - Y_1).$$

Izdarot algebriskas darbības, dabūsim:

$$\begin{aligned} 2P = {} & X_1Y_2 - X_1Y_1 + X_2Y_2 - X_2Y_1 + X_2Y_3 - X_2Y_2 + X_3Y_3 - \\ & - X_3Y_2 + X_3Y_4 - X_3Y_3 + X_4Y_4 - X_4Y_3 - X_4Y_4 + X_4Y_5 - \\ & - X_5Y_4 + X_5Y_5 - X_1Y_5 + X_1Y_1 - X_5Y_5 + X_5Y_1 = X_1Y_2 - \\ & - X_2Y_1 + X_2Y_3 - X_3Y_2 + X_3Y_4 - X_4Y_3 + X_4Y_5 - X_5Y_4 - \\ & - X_1Y_5 + X_5Y_1. \end{aligned}$$

Iznesot aiz iekavām vienādās X abscisas:

$$\begin{aligned} 2P = {} & X_1(Y_2 - Y_5) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_4 - Y_2) + \\ & + X_4(Y_5 - Y_3) + X_5(Y_1 - Y_4); \end{aligned}$$

vai arī Y — ordinatas:

$$2P = Y_1(X_5 - X_2) + Y_2(X_1 - X_3) + Y_3(X_2 - X_4) +$$
$$+ Y_4(X_3 - X_5) + Y_5(X_4 - X_1).$$

Ja mēs koordinatu indeku apzīmētu ar k, tad platību formulas mēs varētu savilkt šādi:

$$2P = \sum_1^5 X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1});$$

$$2P = \sum_1^5 Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}).$$

Bet vispārinātā veidā poligonam ar n virsotņu skaitu:

$$2P = \sum_1^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1});$$

$$2P = \sum_1^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}).$$

203. Piemērs platības aprēķināšanai pēc koordinatām

Platības var aprēķināt pēc formulām:

$$2P = \sum_1^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1})$$

$$\text{un } 2P = \sum_1^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}).$$

Redzam, ka ikvienas virsotnes X_k koordinata jāreizina ar $(Y_{k+1} - Y_{k-1})$ starpību un Y_k koordinata ar $(X_{k-1} - X_{k+1})$ koordinatu starpību.

Tātad 2. virsotnes X koordinata reizināma ar starpību $(Y_3 - Y_1)$ un 2. virsotnes Y koordinata reizināma ar starpību $(X_1 - X_3)$.

Ieliekot skaitļus no koordinatu aprēķināšanas žurnala: $+ 106{,}77 \,.\, (-124{,}00 - 0{,}00) = + 106{,}77 \times (-124{,}00)$ un $- 92{,}78 \,.\, (0{,}00 - 192{,}20) = - 92{,}78 \times (-192{,}20)$.

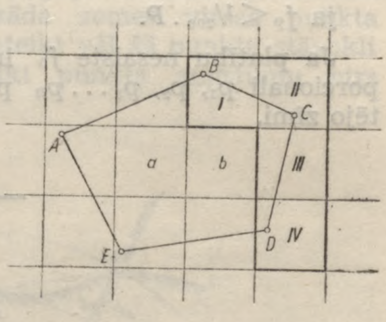
Izskaitļotās starpības pieraksta blakus ailē, iepretī reizinātajām virsotņu koordinatām. Kad tas padarīts, atliek izdarīt reizināšanu. Katra reizinājumu kopsuma dod 2 laukuma platības, kas vienlīdzīgas $2P$, un abu reizinājumu sumām jābūt vienādām. Tas noder aprēķināšanas pareizības kontrolei. Dotajā piemērā abās reizinājumu summās $2P = 144191{,}76$ m².

Tātad poligona platība

$$P = \frac{144191{,}76}{2} = 72095{,}88 \text{ m}^2 \cong 7{,}21 \text{ ha.}$$

204. Poligona kopīgās platības aprēķināšana pēc Savviča metodes

PSRS ģeodeta Savviča platību aprēķināšanas metode lietojama tad, ja plānam ir konstruēts koordinatu tīkls (tanī vietā var konstruēt arī īpašus kvadratus). Pieņemsim, ka mums jānosaka platība poligonam *ABCDE* 180. zīmējumā. Tā kā tīkla katra kvadrata laukumu dotajā mērogā ir viegli aprēķināt, tad, noteicot visa poligona platību, veselie kvadrati *a* un *b* nav īpaši (ar planimetru vai citādi) jānoteic, un atliek izskaitļot tikai to platības daļu, kas atrodas nepilnos kvadratos. Ja platību nosaka ar planimetru, tad to pēc Savviča metodes izdara šādi: izdala atsevišķi dažus kvadratus (piemēram, I, II, III, IV), uz kuriem atrodas poligona platības daļas, un ar planimetru „apbrauc" visus izdalītos (4) kvadratus. Pieņemsim, ka apbraukto kvadratu platību raksturo planimetra iedaļu skaits *d*. Pēc tam apbrauc poligona platību, kas ietilpst atdalītos kvadratos. Pieņemsim, ka šo platību raksturo planimetra iedaļas *e*. Tādā gadījumā apbrauktās poligona daļas laukums būs aprēķināms pēc formulas:



180. zīm.

$$F = \frac{Fo}{d} \cdot e.$$

Formulā ietilpstošais lielums *Fo* ir atsevišķi izdalīto kvadratu (I, II, III un IV) laukums, kas izrēķināts matemātiski pēc dotā mēroga kvadratu malu garumiem.

Līdzīgi nosaka arī pārējās poligona platību daļas, kas atrodas ārpus veseliem kvadratiem (*a* un *b*).

205. Iekšējās situacijas atsevišķu platību pielīdzināšana poligona kopīgai platībai

Ja atsevišķas situacijas platības (katra atsevišķi) būtu noteiktas matemātiski pareizi, tad kāda zemes gabala visu konturu situacijas platību suma dotu visa uzmērītā zemes gabala kopīgo platību P. Bet mēs zinām, ka iekšējās situacijas platību noteikšanā ieviešas nenovēršamās kļūdas un tādēļ iekšējo situacijas apveidu platību sumējumā būs uzkrājušās nenovēršamās kļūdas, kas dos kopīgo platības kļūdu f_p. Ja mēs apzīmēsim iekšējās situacijas platības ar p_1, p_2, $p_3 \ldots p_n$ un visa zemes gabala platību ar P, tad

$$\pm f_p = (p_1 + p_2 + p_3 + \ldots p_n) - P;$$

f_p nosauksim par platību nesaisti. Nesaisti f_p skaita par pieļaujamu, ja tā nepārsniedz $^1/_{200}$ no visas platības P, t. i.,

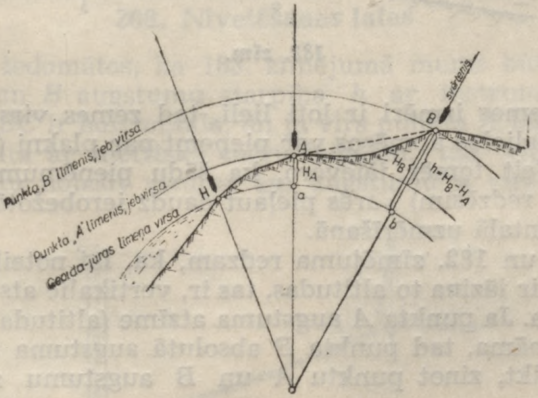
ja $f_p < {}^1/_{200} \,.\, P$.

Ja platību nesaiste f_p ir pieļaujama, tad tā jānosien proporcionali p_1, p_2, $p_3 \ldots p_n$ platību lielumiem ar nesaistei pretējo zīmi.

XVI. TECHNISKĀ (ĢEOMETRISKĀ) NIVELĒŠANA JEB LĪMEŅOŠANA

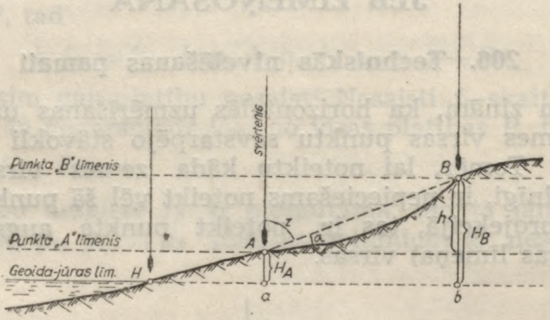
206. Tehniskās nivelēšanas pamati

Mēs jau zinām, ka horizontalās uzmērīšanas uzdevums ir noteikt zemes virsas punktu savstarpējo stāvokli horizontalā projekcijā. Tomēr, lai noteiktu kāda zemes virsas punkta stāvokli pilnīgi, ir nepieciešams noteikt vēl šā punkta stāvokli vertikalā projekcijā, tas ir, noteikt punkta augstumu virs geoida (jūras līmeņa) virsas.



181. zīm.

Ja mēs iedomāsimies, ka 181. zīmējumā zemes virsas punkti *H*, *A* un *B* atrodas uz vienas taisnes un ka caur šiem punktiem zemes virsa ir šķelta ar vertikalu plakni, tad ir skaidrs, ka esam dabūjuši šo punktu projekcijas vertikalā plaknē. No zīmējuma redzams, ka punkta *A* vertikalais atstatums virs jūras līmeņa ir H_A un punkta B — H_B. Atstatumus H_A un H_B sauc par punktu A un B augstumiem (altitudām) vai arī par absolutām zemes virsas atzīmēm. $H_A - H_B = h$ sauc par divu punktu augstumu starpībām. No zīmējuma redzam, ka punkta B horizontalā projekcija ir b, punkta A — a, bet punkta H horizontalā projekcija h sakrīt ar vertikalo projekciju, jo pats punkts H atrodas jūras līmeņa augstumā. Ja nu mēs iedomātos, ka pie punktu horizontalām projekcijām h, a un b būtu pierakstītas to augstuma atzīmes, tad punkta vieta būtu noteikta pilnīgi.



182. zīm.

Tā kā zemes izmēri ir ļoti lieli, tad zemes virsas sferoida izliekumu nelielos apmēros var pieņemt par plakni (sk. 182. zīmējumu). Šeit tomēr jāievēro, ka šādu pieņēmumu (kā mēs to turpmāk redzēsim) varēs pieļaut daudz ierobežotākā apmērā nekā horizontalā uzmērīšanā.

No 181. un 182. zīmējuma redzam, ka, lai noteiktu punktu augstumus, ir jāzina to altitudas, tas ir, vertikalie atstatumi virs jūras līmeņa. Ja punkta A augstuma atzīme (altituda) H_A mums būtu jau zināma, tad punkta B absolutā augstuma atzīmi mēs varētu noteikt, zinot punktu A un B augstumu starpību h un tad

$$H_B = H_A + h.$$

Ja būtu dota punkta B atzīme,

$$\text{tad } H_A = H_B - h.$$

Ja būtu dotas abu punktu A un B augstumu atzīmes, tad šo punktu augstumu starpība

$$h = H_B - H_A.$$

No tā mēs redzam, ka vertikalās uzmērīšanas jeb nivelēšanas pamatuzdevums ir noteikt zemes virsas atsevišķo punktu augstumu starpības.

Atkarībā no vertikalā uzmērīšanā lietotiem instrumentiem un darbības paņēmieniem vertikalo uzmērīšanu iedala:

1) Techniskā (ģeometriskā) nivelēšana.

2) Trigonometriskā nivelēšana.

3) Barometriskā nivelēšana.

Techniskai nivelēšanai ir vislielākā praktiskā nozīme. To izdara ar instrumentiem, kuru vizuras asis lietošanas brīdī ir līmeniskas.

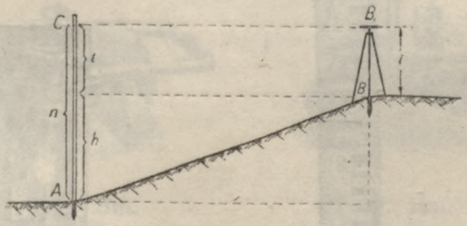
Trigonometrisko nivelēšanu izdara ar instrumentiem, kuriem ir iekārtotas ierīces slīpuma leņķu a jeb z (sk. 182. zīmējumu) noteikšanai.

Barometrisko nivelēšanu izdara ar barometriem.

207. TECHNISKĀS NIVELĒŠANAS INSTRUMENTI

208. Nivelēšanas latas

Ja mēs iedomātos, ka 183. zīmējumā mums būtu jānosaka punktu A un B augstumu starpība h ar instrumentu, kura vizuras ass BC ir horizontala, un ja virs punkta A būtu vertikali nostādīta lata ar metrisko mēru iedaļām, tad mēs uz latas viegli varētu nolasīt vizuras ass augstumu n virs punkta A.



183. zīm.

Ja tad mēs būtu vēl izmērījuši instrumenta augstumu i virs punkta B, tad A un B punktu augstumu starpība

$$h = n - i.$$

Tehniskā nivelēšanā tad arī lieto latas, uz kurām ir precizi uzzīmētas garuma mēru iedaļas.

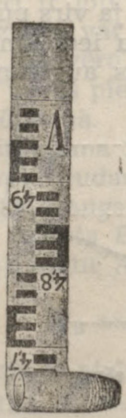
Latas tiek konstruētas dažādas. 184. zīmējumā parādīta iebīdāmā lata, bet 185. zīmējumā latas iedaļas uz saritināmas mērsloksnes.

186. zīmējumā parādīts pie latas piestiprinātais līmeņrādis, ar kura palīdzību var noturēt latu vertikali.

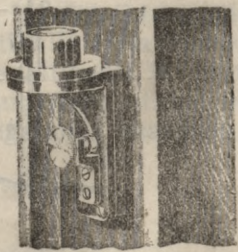
Latas iedaļām jābūt pareizām, skaidri un noteikti iezīmētām. Parasti latas iedaļas ir pareizi iezīmētas, bet, ja nav zināma latas iedaļu precizitate, tad tā jāpārbauda, salīdzinot iedaļas savā starpā, bet, ja iespējams, tad arī ar normalmēra iedaļām.

Latas garuma kļūda parasti ir niecīga — ap $^1/_{4000}$ no garuma. Tehniskām vajadzībām līdzenā vietā niecīga latas garuma kļūda nav jāievēro, bet kalnainos apvidos, kur divu punktu augstumu starpība ir liela (simts un vairāk metru), latas garuma kļūdu nevar ignorēt pat tad, ja lata ir kļūdaina tikai par 0,2 mm uz 1 metra.

184. zīm.



185. zīm.

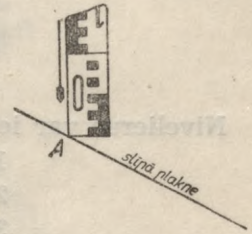


186. zīm.

209. Zābaki. Piketu mietiņi

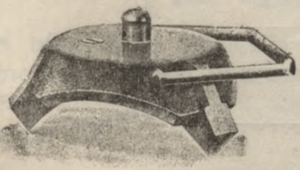
Tāpat kā horizontalā uzmērīšanā, arī nivelēšanas darbos pirms darbu uzsākšanas vispirms ir jāatzīmē dabā esošie punkti.

Tā kā ar nivelēšanu nosaka punktu vertikalos attālumus, tad galvenā uzmanība pievēršama punkta pareizai apzīmēšanai vertikalā plaknē. Ja, piemēram, 183. zīmējumā parādītā lata *AC* būtu nolikta tieši uz zemes virsas, tad, ja arī pieņemtu, ka zemes virsa ir stabila (akmens, klints vai tml.), tad tomēr reti kad tā būs tieši līmeniska. Bet, ja latas atbalsta plakne nav horizontala, bet slīpa, tad vertikali noturētā lata varēs balstīties uz plaknes tikai ar vienu šķautni (sk. 187. zīmējumu) un tāpēc uz plaknes būs noteikts tikai viens, t. i., atbalsta punkta *A* augstums.

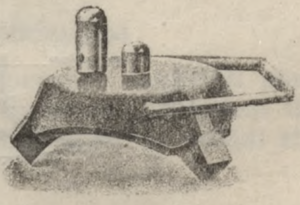


187. zīm.

No tā kļūst skaidrs, ka, pirmkārt, ir jāapzīmē punkta vieta uz plaknes un, otrkārt, punkta apzīmēšanai jālieto tāda virsa, uz kuras latas apakšējais gals (gala plakne) atbalstītos tikai vienā punktā. Tāda virsa ir lodei. Tādēļ arī precizas nivelēšanas darbos saistpunktus noteic ar specialiem metala paliktņiem — zābakiem (sk. 188. un 189. zīmējumu), kurus viegli pārnest no vienas vietas uz otru. Zābaku virsā ir ierīkota viena vai divas tapas ar lodes virsu. Uz tapām atbalsta latas.



188. zīm.



189. zīm.

Ja dažādām tehniskām vajadzībām nivelēšanas punktu augstums ir jāuzrāda dabā, tad mēdz lietot piketus un reperus. Vienam piketam vajadzīgi divi mietiņi. Viens, kas domāts punkta augstuma atzīmēšanai un kuru sauc par piketa punkta mietiņu, bet otrs, uz kura uzrakstīts piketa numurs — piketa mietiņš. Piketi ir mietiņi, kuru augšgali noapaļoti (vai līdzeni nogriezti). Piketa punktu mietiņu garums jāņem tik liels, lai tie, iedzīti zemē, būtu stabili un nepadotos vertikālā virzienā zem cilvēka svara. Piketu punkta mietiņus iedzen zemes virsas augstumā. Lai tos varētu vieglāk atrast, tad blakus piketam iedzen zemē otru garāku mietiņu ar piketa numura uzrakstu. Šos uzrakstu mietiņus mēdz saukt par piketu mietiņiem.

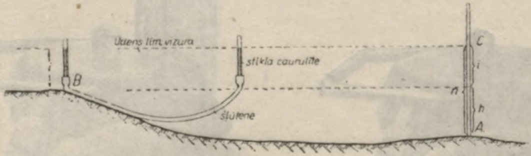
210. Nivelieru tipi

Nivelierus var iedalīt trīs tipos:

1) Ūdens nivelieris.
2) Svērteņa nivelieris.
3) Vispārīgais nivelieris.

211. Ūdens nivelieris

Tā darbība pamatojas uz savienoto trauku principa un konstrukcija ir ļoti vienkārša un iekārtota primitivā veidā; tā ir ar ūdeni piepildīta, parasta gumijas šļūtene, kuras abos galos iemauktas stikla caurulītes. Uz savienoto trauku principa pamata ūdens nostāsies vienā līmenī abās stikla caurulītēs.



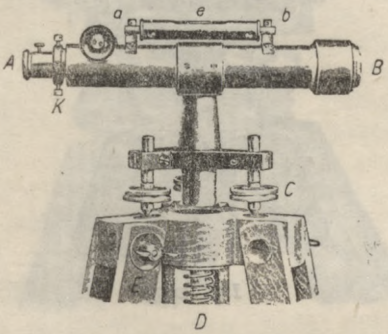
190. zīm.

190. zīmējumā attēlota ūdens niveliera darbība. Ja punktā A būtu nostādīta lata AC, tad no zīmējuma kļūst saprotams, ka punkta A un B augstuma starpība $h = n - i$.

Svērteņa niveliera darbība pamatota uz zemes pievilkšanas spēka principa. Šo niveliera tipu techniskā nivelēšanā nelieto.

212. Vispārīgā niveliera apskate

Instrumentus, kas konstruēti precizas horizontalas vizuras ātrai un ērtai nostādīšanai, sauc par nivelieriem. Šo instrumentu raksturīgā sastāvdaļa ir ļoti augstjutīgs cilindriskais līmeņrādis ar tālskati (sk. 191. zīmējumu).



191. zīm.

191. zīmējumā parādīts vienkāršā, ciešā niveliera attēls. *ab* — augstjutīgs cilindriskais līmeņrādis ar līmeņrāža izlabojamām skrūvēm, *e* — līmeņrāža ampula ar iedaļām un līmeņrāža burbulīti, *eD* — instrumenta vertikalā griešanas ass, *K* — pavedienu krustiņa izlabojamās skrūves, *A* — tālskata okulars, *B* — tālskata objektivs, *E* — instrumenta stativs, *C* — instrumenta paceļamās skrūves, *D* — instrumenta piestiprināmās skrūves atspere.

213. Ciešā niveliera tips

Šim nivelierim tālskatis ar līmeņrādi nekustīgi piesaistīti instrumenta trijkājim (pamatnei). Šiem instrumentiem tālskata palielinājums ap 20 reižu, un līmeņrāža vienai iedaļai atbilstošais leņķis 20″.

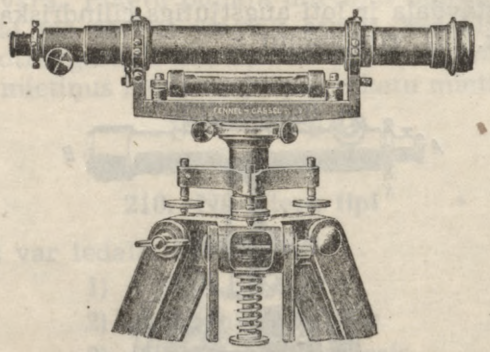
214. Nivelieri ar pārliekamo tālskati

Šā nivelieru tipa tālskatis nav piestiprināts tālskata balstiem. Tālskati var no balstiem izcelt un pārlikt tā, lai okulars būtu tanī balstu pusē, kur bija objektivs un otrādi.

Tālskati var balstos pagriezt arī ap tā ģeometrisko asi par 180°.

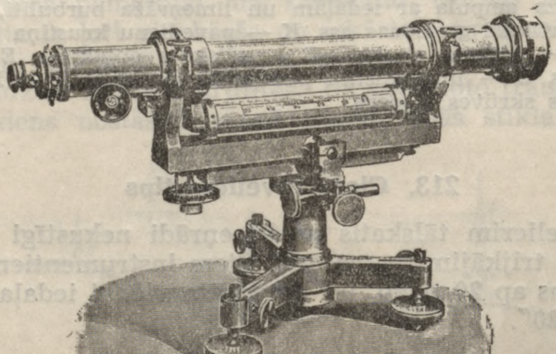
Nivelieri ar pārliekamo tālskati ir izgatavoti trejādi:

1) ar līmeņrādi pie balsta (kā tas redzams 192. zīmējumā),
2) ar līmeņrādi pie tālskata (sk. 193. zīmējumu),
3) tālskatis un līmeņrādis pārliekams katrs savos balstos.



192. *zīm.*

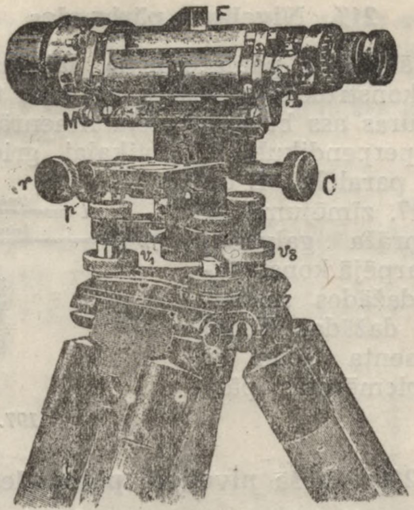
Nivelieri ar pārliekamo tālskati parasti ir izgatavoti daudz jutīgāki nekā ciešie nivelieri. Tālskata palielinājums ap 40 reižu, un līmeņrāža iedaļas jutība ap 5″.



193. *zīm.*

215. Jaunākā tipa nivelieri

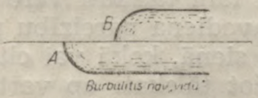
Tiem līmeņrādis piestiprināts tālskatim, bet tālskati kopā ar līmeņrādi var pagriezt ap ģeometrisko asi par 180° (sk. 194. zīmējumu).



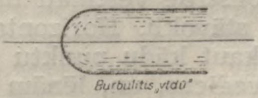
194. zīm.

v_1v_3 — instrumenta paceļamās skrūves, p — instrumenta pieslēgskrūve, r — instrumenta mikrometriskā skrūve, n — apaļais līmeņrādis instrumenta aptuvenai nostādīšanai horizontalā stāvoklī, M — spogulītis (reflektors) līmeņrāža apgaismojuma regulēšanai, N — līmeņrādis, E — prizmu ietvars, F — prizma, kurā novēro burbulīša stāvokli, C — pagāšanas skrūve līmeņrāža burbulīša precizai nostādīšanai (elevacijas skrūve).

Apkārt līmeņrāža ampulai ir stikla cilindrs, kas ampulu aizsarga no pēkšņām temperaturas maiņām. Uz ampulas nav iedaļu burbulīša stāvokļa noteikšanai. Burbulīti novēro prizmā F. Burbulītis ir vidū, ja attēlā prizmā abi burbulīša gali sakrīt (sk. 195. un 196. zīmējumu).



195. zīm.



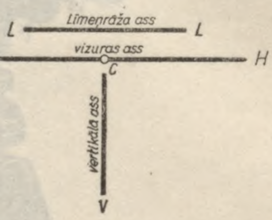
196. zīm.

216. Līmeņrāža vienas iedaļas un tālskata palielinājuma noteikšana

No tālskata teorijas mēs zinām, kā noteikt palielinājumu, un no līmeņrāža teorijas, kā noteikt līmeņrāža vienas iedaļas jutību.

217. Nivelieru pārbaudes

Nivelierim jāuzstāda pamatprasība, lai instrumenta lietošanas laikā tā konstruktivās ierīces atrastos tādā savstarpējā stāvoklī, ka vizuras ass būtu paralela līmeņrāža asij (sk. 197. zīmējumu) un perpendikulara vertikalai griešanas asij, tas ir, lai HH būtu paralela LL un $HH \perp VC$. 197. zīmējumā ir attēlotas līmeņrāža galvenās asis, kuru savstarpējā konstruktivā sakarība dažādos instrumentu tipos ir dažāda. Tādēļ katram instrumenta tipam ir jāizdara tam piemērotās pārbaudes.



197. zīm.

218. Ciešā niveliera pārbaudes

1) Līmeņrāža asij jābūt perpendikularai vertikalai griešanas asij. Šo pārbaudi mēs jau zinām. Nostāda līmeņrādi pēc acumēra horizontalā stāvoklī. Nostāda burbulīti vidū, tālskatī apgriež ap vertikalo asi tieši par 180° un vēro, vai burbulītis nav novirzījies. Ja burbulītis ir novirzījies, tad pusi novirzes daļas izlabo ar līmeņrāža izlabojamām skrūvēm, bet otru pusi ar paceļamām skrūvēm. Pārbaudi atkārto un labošanu turpina, kamēr burbulītis pēc pagriešanas par 180° vairs neiziet no vidus.

2) Tālskata pavediena krustiņam jābūt pareizam, t. i., ja līmeņrāža burbulītis ir vidū, tad horizontalajam pavedienam jābūt horizontalam, bet vertikalajam — vertikalam. Nostāda instrumentu lietošanas (horizontalā) stāvoklī, ar auklā piekārtu atsvaru konstruē vertikali un pēc tam tālskatī vēro vertikalā pavediena stāvokli. Horizontalā pavediena pareizību pārbauda, ievērojot kaut kādu punktu (ēkas sienā, kokā vai citur), kuru šķērso pavediens, un, lēnām griežot tālskati ap vertikalo asi, vēro, vai pavediens visā garumā sakrīt ar ievēroto punktu. Ja pavedieni, tos pārbaudot, bija nepareizā stāvoklī, tad pavedienu krustiņš jāizlabo ar tālskata pavedienu tīkliņa izlabojamām skrūvēm.

3) Tālskata vizuras asij jābūt paralelai līmeņrāža asij. Pārbaudei jāizvēlas divi punkti 50 m savstarpējā attālumā. Punktos iedzen zemē mietiņus. Instrumentu nostāda šo divu punktu noteiktās līnijas vidū, bet uz mietiņiem nostāda latas.

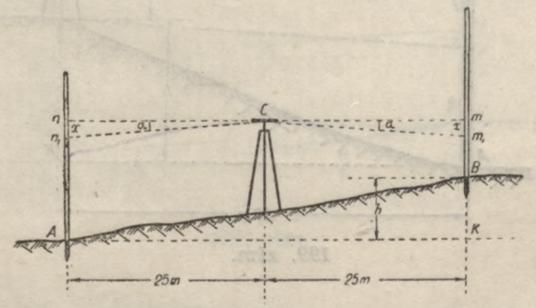
No 198. zīmējuma mēs redzam, ka, ja vizuras ass nebūtu paralela līmeņrāža asij, bet savā starpā veidotu leņķi a, tad pareizo (horizontalo) vizuru vietā mēs dabūtu slīpās vizuras Cm_1 un Cn_1, un nolasījumu kļūda (nolasījumi jānolasa ar 1 mm noteiktību) uz latas iedaļām būtu x, t. i.,

$$m_1 = m - x;$$
$$n_1 = n - x.$$

Punktu A un B augstumu starpība $BK = h = n - m$.

Tāpat var rakstīt, ka

$$h = n - m = (n_1 + x) - (m_1 + x) = n_1 - m_1 + x - x = n_1 - m_1.$$



198. zīm.

Redzam, ka, ja nivelieris ir nostādīts vienādos attālumos no nivelējamiem punktiem, tad ar nivelieri, kuram vizuras ass nav paralela līmeņrāža asij, var dabūt pareizu punktu augstumu starpību pēc slīpo vizuru nolasījumiem no latas (tas ir, nepareiza vizuras nolasījuma kļūda x izslēdzas). Kad punktu augstumu starpība h šādi ir noteikta, instrumentu pārnes punktā B (sk. 199. zīmējumu), nostāda instrumentu horizontali, rūpīgi, ar 1 mm noteiktību izmērī instrumenta augstumu i, vēlreiz pārbauda, vai burbulītis ir vidū, un nolasa uz A latas vizuras līnijas šķērsoto iedaļu. Ja vizuras ass būs paralela līmeņrāža asij, tad nolasījums no latas būs n un

$$h = n - i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

bet, ja instrumentā būs kļūda, tad dabūsim no latas nolasījumu n_1 un pareizo augstumu starpību pēc šā nolasījuma mēs nevarēsim dabūt, jo

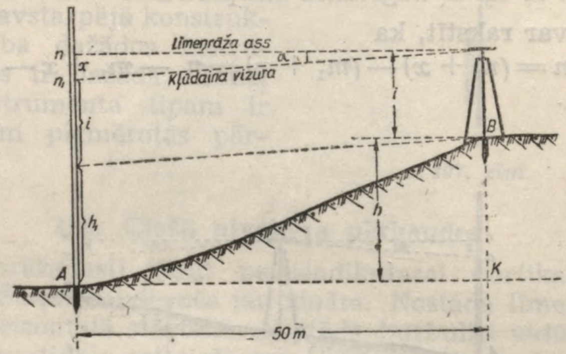
$$n_1 - i = h^1.$$

Pareizais nolasījums $n = x + i + h^1$.

Ieliekot šo izteiksmi (1) formulā, dabūjam, ka

$$h = x + i + h^1 - i;$$
$$x = h - h^1.$$

Tātad kļūda x izteicas kā divu punktu augstumu starpības nesakaņa, kas radusies, noteicot šo punktu augstumu starpības no divām instrumenta stāvvietām.



199. zīm.

Kļūdu izlabo, pārbīdot ar izlabojamām skrūvēm horizontalo diedziņu līdz tādam stāvoklim, kad vizuras līnija dod pareizo nolasījumu no latas, t. i., pareizais nolasījums būs

$$n = n_1 + x.$$

Pārbaudi izdara vairākkārt, kamēr h un h^1 neatšķiras vairāk par 2 mm.

Šo pašu pārbaudi var izdarīt arī šādi: 200. zīmējumā instrumentu vispirms nostāda punktā A un latu punktā B. Nostāda instrumentu un vizē. Ja pieņemam, ka instruments ir nepareizs, tad vizuras līnija nebūs vis horizontala CF, bet gan CE, un tad pareiza augstuma starpība

$$h = i + x - n.$$

Pēc tam instrumentu pārnes otrā punktā B (sk. 201. zīmējumu) un atkal nosaka punktu augstumu starpību

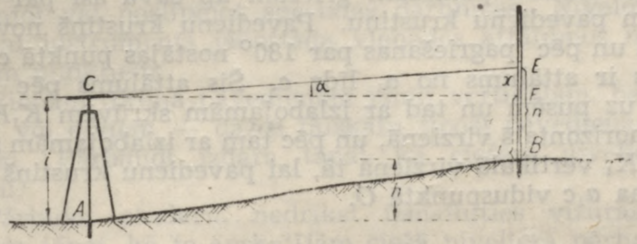
$$h = n_1 - (i_1 + x).$$

Abu nolīdzinājumu labās puses ir vienlīdzīgas h, tātad

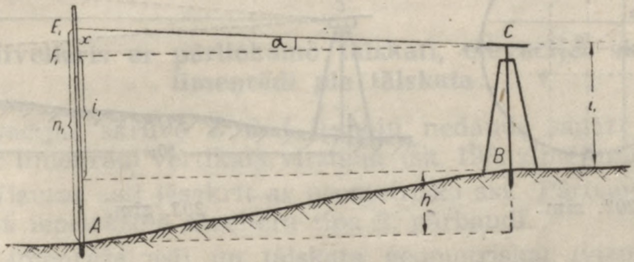
$$i + x - n = n_1 - (i_1 + x);$$
$$i + x - n = n_1 - i_1 - x;$$
$$2x = n_1 + n - i_1 - i;$$
$$x = \frac{n_1 + n}{2} - \frac{i_1 + i}{2}.$$

Tātad kļūda ir vienlīdzīga nolasījumu sumas pusei minus puse instrumenta augstumu sumas.

Kad noteikts kļūdas lielums, tad aprēķina to latas iedaļu F_1, uz kuras vizuras līnija ir horizontala (CF_1), t. i., $n_1 - x$ un ar pavedienu izlabojamām skrūvēm novirza horizontalo diedziņu tā, lai vizuras līnija sakristu ar latas iedaļu F_1.



200. zīm.



201. zīm.

4) Okularu izbīdot un iebīdot, vizuras ass nedrīkst izmainīties. Nostāda latu apm. 20—30 m attālumā un, izbīdot un iebīdot okularu, vēro, vai vizuras līnija paliek nemainīgi uz vienu un to pašu iedaļu. Iedaļu konturu asums, protams, mainīsies, bet pavediena nolasījums nedrīkst mainīties.

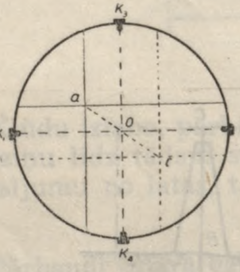
Ja šī prasība nav izpildīta, tad instrumentu var lietot tikai tad, ja to nostāda vienādos attālumos no punktiem, kuru augstumu starpību vēlas noteikt.

219. Niveliera, kam ir pārliekamais tālskatis un līmeņrādis pie tālskata, pārbaude

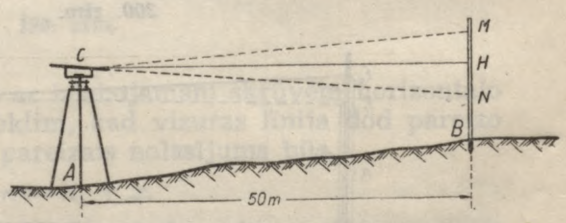
1) Līmeņrāža asij jābūt perpendikularai instrumenta vertikalai griešanas asij. Pārbaude izdarāma tāpat kā ciešam nivelierim.

2) Tālskata vizuras asij jāsakrīt ar ģeometrisko asi.

Lai šo prasību pārbaudītu, tālskata pavedienu krustiņš jāuzvizē kādam noteiktam punktam. Pieņemsim, ka šī prasība nav izpildīta un esam pavedienu krustiņu uzvizējuši punktam a_1 (sk. 202. zīmējumu). Nostiprinām niveliera pieslēgskrūvi un pēc tam tālskati pamazām griežam ap savu asi par 180° un vērojam pavedienu krustiņu. Pavedienu krustiņš novirzās no punkta un pēc pagriešanas par 180° nostājas punktā c. Kļūdas lielums ir attālums no a_1 līdz c. Šis attālums pēc acumēra jādala uz pusēm un tad ar izlabojamām skrūvēm K_1K_2 izlabo kļūdu horizontalā virzienā, un pēc tam ar izlabojamām skrūvēm K_3 un K_4 vertikalā virzienā tā, lai pavedienu krustiņš atrastos attāluma a_1c viduspunktā O.



202. zīm.



203. zīm.

Pārbaude jāatkārto un labojumi jāizdara tikmēr, kamēr pavedienu krustiņš, pagriežot to par 180°, nenovirzās no vizētā punkta.

3) Tālskata balstiem jābūt vienādiem. Pārbaudi izdara šādi (sk. 203. zīmējumu). Nostādām instrumentu horizontali (ar burbulīti vidū), tad nostādām latu apm. 50 m attālumā no instrumenta un nolasām pēc vidējā pavediena nolasījumu M. Pēc tam izceļam tālskati no balstiem, apgriežam balstus ap vertikalo asi par 180°, ieliekam tālskati atpakaļ balstos, kuri tagad ieņems pretēju stāvokli, t. i., a^1 ieņems a stāvokli un a — a^1

stāvokli. Ievirza burbulīti atkal vidū un nolasa iedaļas N. Ja M un N nolasījumi sakrīt, prasība izpildīta, bet, ja dabūti divi dažādi nolasījumi, tad balsti nav vienādi. Balsti jāizlabo ar balstu izlabojamām skrūvēm tā, lai vizura dotu vidējo nolasījumu H. Pārbaude jāatkārto, kamēr nolasījumi M un N neatšķiras vairāk par 1—2 mm.

4) Tālskata aptveru diametriem jābūt vienādiem. Ilglaicīgā darbā tālskata aptveres dažreiz nevienādi nodilst un tāpēc nepieciešams to noskaidrot. Pārbaudi izdara ar divkārtīgu divu punktu augstumu starpību noteikšanu, t. i., noteicot augstumu starpību tāpat kā ar ciešo nivelieri, bez tālskata pārlikšanas balstos. Ja konstatēta kļūda, tad to var izlabot tikai, aptveres pārvirpojot vai noslīpējot specialās darbnīcās. Nivelēt tomēr var, tikai instruments jānostāda vienādos attālumos no nivelējamiem punktiem.

5) Vienam tīkliņa pavedienam jābūt vertikalam, bet otram (vai arī vēl diviem — dažos tālskatu tipos) pavedienam horizontalam. Pārbaudi izdara tāpat kā ciešam nivelierim 2. pārbaudi.

6) Pārbīdot okularu, nedrīkst izmainīties vizuras līnija. Pārbauda tāpat, kā to apskatījām ciešā niveliera pārbaudē.

220. Nivelieris ar pārliekamo tālskati, elevacijas skrūvi un līmeņrādi pie tālskata

Elevacijas skrūve E dod iespēju nedaudz sagāzt tālskati kopā ar līmeņrādi vertikalā virzienā (sk. 193. zīmējumu).

1) Vizuras asij jāsakrīt ar ģeometrisko asi. Pārbaudi izdara tāpat kā iepriekšējā niveliera tipa 2. pārbaudi.

2) Līmeņrāža asij un tālskata ģeometriskai (vizuras) asij jābūt paralelām (jāatrodas vienā plaknē). Pārbaude:

Nostāda tālskati ar līmeņrādi paraleli divām paceļamām skrūvēm un ievirza burbulīti vidū. Šajā stāvoklī tālskati lēnām griež ap savu asi uz labo un kreiso pusi apm. par 30°—40° un vēro burbulīša stāvokli griešanas laikā. Ja burbulītis paliek vidū vai arī noslīd tikai uz vienu galu, tad prasība izpildīta. Ja burbulītis, tālskati griežot, noslīd pārmaiņus uz vienu un otru galu, tad prasība nav izpildīta un viens līmeņrāža gals jānostāda ar izlabojamām skrūvēm tā, lai, tālskati griežot, burbulītis neizietu no vidus.

3) Līmeņrāža turētājiem (pie tālskata) balstiem jābūt vienādiem. Pārbauda, nostādot līmeņrāža burbulīti vidū un pēc tam izmaina (pārliek) tālskati kopā ar līmeņrādi tālskata balstos. Ja burbulītis nestāv vidū, tad ar izlabojamām skrūvēm to izlabo par pusnovirzi un vēlreiz pārbauda, vai prasība izpildīta.

4) Tālskata balstiem jābūt vienādiem. Pārbaudi izdara tāpat kā 3. pārbaudi ar līmeņrādi pie tālskata balstiem un pārliekamo tālskati, tikai kļūdu izlabo ar elevacijas skrūvi *E*. Pēc izlabošanas jāievēro elevacijas skrūves iedaļa, kuru norāda indeks (pie kādas iedaļas balsti ir vienādi).

5) Tālskata aptverēm (capām) jābūt ar vienādiem diametriem. Pārbaudi izdara tāpat kā 4. pārbaudi pie iepriekšējā niveliera pārbaudes.

6) Viena pavediena virzienam jābūt vertikalam, bet otram horizontalam. Pārbauda kā 5. pārbaudi iepriekšējam nivelierim.

7) Pārbīdot okularu, nedrīkst izmainīties vizuras līnija. Pārbauda kā 6. pārbaudi iepriekšējam nivelierim.

8) Apaļajām līmeņrādim jābūt pareizam. Apaļā līmeņrāža pareizību pārbauda pēc horizontalā stāvoklī nostādīta instrumenta (kas nostādīts horizontalā stāvoklī ar cilindriska līmeņrāža palīdzību) vai arī līdzīgi, kā tas apskatīts līmeņrāžu pārbaudēs.

221. Jaunākā tipa niveliera pārbaudes

1) Apaļam līmeņrādim jābūt pareizam. Pārbaudi izdara kā parasti, nostādot burbulīti vidū un pēc tam pagriežot instrumentu ap vertikalo asi par 180°. Burbulīša varbūtējas novirzes pusi izlabo ar apaļā līmeņrāža izlabojamām skrūvēm.

2) Cilindriskam līmeņrādim jābūt pareizam. Pārbaudi izdara, nostādot latu apm. 50 m no instrumenta un nolasot nolasījumus. Pirmais nolasījums jāizdara tādā instrumenta stāvoklī, kad līmeņrādis (cilindriskais) tālskatim ir pa kreisi un otrs (pagriežot par 180°) līmeņrādis tālskatim pa labi. Abiem nolasījumiem jābūt vienādiem. Pēc tam pārliek okularu objektiva vietā un objektivu okulara vietā, t. i., tos apmaina, vizē uz latu un no jauna nolasa pēc abiem paņēmieniem tāpat kā pirmo reizi. Atkal nolasījumiem jābūt vienādiem. Ja nolasījumi nesakrīt, līmeņrādis jāizlabo par pusi no nolasījumu starpības.

3) Cilindriskā līmeņrāža un vizuras asīm jābūt paralelām. Šī pārbaude sadalās 2 daļās.

a) Tālskata ģeometriskai asij un līmeņrāža asij jāatrodas savstarpēji paralelās plaknēs. Pārbaudi izdara šādi: nostāda instrumentu tā, lai tālskata virziens uz latu ietu paraleli instrumenta divu paceļamo skrūvju virzienā. Ar instrumenta paceļamām skrūvēm nostāda apaļo līmeņrādi vidū un pēc tam ar elevacijas skrūvi *C* (sk. 194. zīmējumu) ievirza vidū cilindriskā līmeņrāža burbulīti. Nostiprina instrumentu (ar instrumenta pieslēgskrūvi *p)* un nolasa no latas. Pēc tam, neizkustinot tālskati, visu instrumentu pagāž ar paceļamām skrūvēm uz labo un uz kreiso pusi. Ja cilindriskā līmeņrāža burbulītis neiziet no vidus vai arī atiet tikai uz vienu galu, tad prasība izpildīta. Ja burbulītis pārvietojas instrumenta pagāšanas laikā uz abiem galiem, tad līmeņrādis jāizlabo ar līmeņrāža horizontalām skrūvēm *M*.

b) Ja prasības *a* daļa izpildīta, tad arī vizuras asij jābūt horizontalai. Pārbaudi izdara, nolasot 4 nolasījumus, kad līmeņrāža burbulītis ir vidū:

1. nolasījums — līmeņrādis pa labi no tālskata,
2. „ „ „ kreisi no tālskata.

Pārliek okularu un objektivu vienu otra vietā un atkal nolasa:

3. nolasījums — līmeņrādis pa labi no tālskata,
4. „ „ „ kreisi no tālskata.

Izskaitļo no 4 nolasījumiem aritmetisko vidējo nolasījumu un ar elevacijas skrūvi uzvirza vidējo horizontalo pavedienu šim nolasījumam. Ja šādā nolasījumā burbulīša gali nesakrīt, tad prizma *F* ar *E* skrūvēm jāpārbīda tikmēr, kamēr burbulīša gali sakrīt (pirms darboties ar *E* skrūvi, jāatbrīvo tās uzgrieznis).

4) Cilindriskai līmeņrāža asij jābūt paralelai vizuras asij. Pārbaude: ar paceļamām skrūvēm nostāda burbulīti vidū un nolasa uz latas. Tad apgriež tālskati ar līmeņrādi par 180°, ievirza atkal burbulīti vidū un atkal nolasa. Izskaitļo aritmetisko vidējo nolasījumu un tagad ar elevacijas skrūvi uzvirza šim izskaitļotam nolasījumam vizuras līniju (horizontalo pavedienu). Ja burbulīša gali nesakrīt (iziet no vidus), tad izlabo līmeņrādi ar vertikalām izlabojamām skrūvēm.

222. Jēdziens par augstuma atbalstu

Ja 182. zīmējumā punkts *B* atrodas no jūras līmeņa *(H)* vairāk simtu vai tūkstoš kilometru tālu, un mēs esam noteikuši *B* punkta augstumu virs jūras līmeņa, tad ļoti svarīgi ir šo punktu dabā iezīmēt tā, lai tā augstums neizmainītos pat milimetra daļās. Tad punkta *B* augstums būtu tāds, ka tam varētu pieslēgt visus apkārtējos nivelēšanas darbus. Šādus stabili ierīkotus punktus, kuru augstumi paliek ilgu laiku nemainīgi, sauc par augstuma atbalsta punktiem.

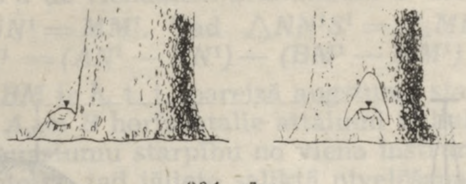
223. Pamatnivelējuma zīmes

Augstuma atbalsta punktu augstumus mērī (nivelē) ar ļoti augstjutīgiem nivelieriem, ar sevišķu rūpību un precizitati. Šos darbus sauc par precizās nivelēšanas darbiem un to uzdevums, bez praktiskām vajadzībām, ir arī vēl tīri zinātnisku jautājumu pētīšana un zinātnisku uzdevumu atrisināšana. Precizās nivelēšanas uzmērīšanas gadījumos raksturīgākās vietās ierīko stabilus, paliekošus augstuma atbalsta punktus — pamatnivelējuma zīmes, kuras sauc par reperiem un markām. Reperus ierīko stabilas zemes iežos ar tik stipriem un solidiem pamatiem, lai to augstumi neizmainītos vairākās paaudzēs pat simtdaļu milimetros.

Reperus-markas ierīko technisko darbu vajadzībām dažādās satiksmes vietās, piemēram, dzelzceļu staciju ēku pamatos, šoseju un lielceļu tuvumā esošo mūra ēku pamatos (skolās, sabiedriskās celtnēs u. tml.).

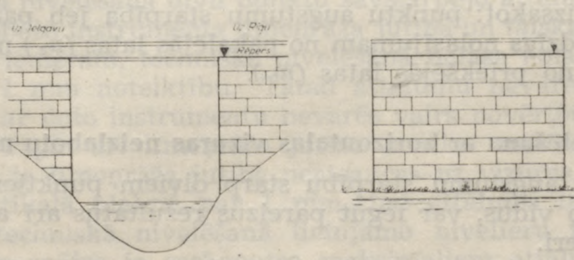
Precizas nivelēšanas gājienu virzieni nav saistoši. Ir tikai svarīga dabā apzīmēto punktu augstumu noteikšanas precizitate.

Techniskas dabas nivelēšanas darbiem izmanto precizas nivelēšanas pamatnivelējuma zīmes, tas ir, techniskos nivelēšanas augstumus piesaista precizās nivelēšanas augstumiem. Bet savukārt arī techniskiem nivelēšanas darbiem ir daudzreiz nepieciešami pamatnivelējumi, kuriem tad piesaista detaļu nivelēšanu. Arī tādos (techniskos) pamatnivelējuma gājienos ierīko reperus. Tie ir samērā vienkārši un primitivi, salīdzinot ar precizās nivelēšanas reperiem. Tos ierīko ēku pamatos, tiltu balstos un pat pieaugušu koku stumbros. Arī šiem reperiem uzstādāma prasība, lai to augstums neizmainītos vairāk par katrā atsevišķā gadījumā uzdoto noteiktību lielākā vai mazākā laika sprīdī. Pieaugušā kokā reperi parasti iecērt sakņu izauguma paplašinājumā, kā tas parādīts 204. zīmējumā.



204. zīm.

Tilta balstos, ēku pamatos un lielos akmeņos izvēlas tādas reperu vietas, lai noteikta augstuma virsa būtu nepārprotami atrodama un tā būtu viegli un ātri pieejama. Repera vietu atzīmē plānā un pēc vajadzības pievieno repera skici (repers tilta balstā parādīts 205. zīmējumā).



205. zīm.

224. Nivelēšana uz priekšu

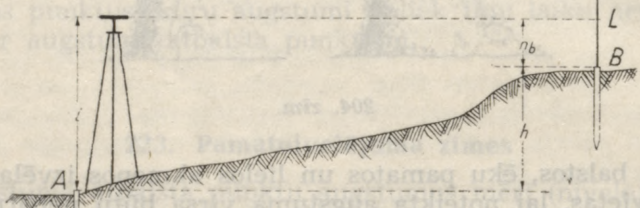
Ja mums jānoteic paaugstinājums, t. i., augstumu starpība starp 206. zīmējumā parādītiem punktiem *A* un *B,* tad to var izdarīt, nostādot instrumentu tā, lai varētu izmērīt instrumenta augstumu i virs punkta *A* un, nolasot nolasījumu n_b uz punktā *B* nostādīto latu *L,* augstumu starpība $h = i - n_b$.

225. Nivelēšana no vidus

V i e n k ā r š ā n i v e l ē š a n a

Ja augstumu starpību starp punktiem *A* un *B* (sk. 207. zīmējumu) noteic, nostādot instrumentu vienādos attālumos no tiem, tas ir, lai $AS = SB$, tad tā ir nivelēšana no vidus. Pēc 207. zīmējuma mēs varam rakstīt, ka augstumu starpība $h = NA - MB$ vai

$$h = n_a - n_b.$$



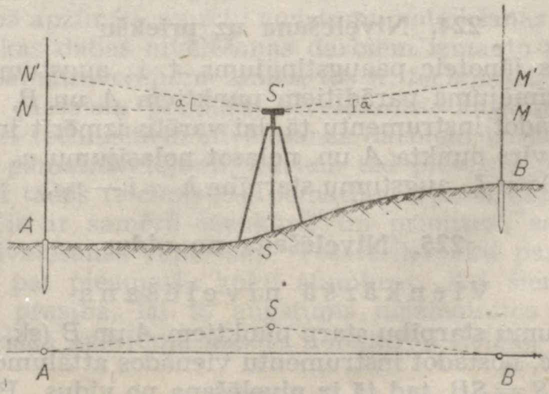
206. zīm.

Vārdos izsakot: punktu augstumu starpība jeb paaugstinājums vienlīdzīgs nolasījumam no pakaļējās latas (n_a) minus nolasījumam no priekšējās latas (n_b).

226. Nivelēšana ar horizontalas vizuras neizlabotu nivelieri

Noteicot augstumu starpību starp diviem punktiem ar nivelēšanu no vidus, var iegūt pareizus rezultatus arī ar neizlabotu nivelieri.

Pieņemsim, ka ar neizlabotu nivelieri jānosaka 207. zīmējumā parādītā punktu A un B augstumu starpība.



207. zīm.

Nav svarīgi, vai instruments atrodas tieši uz AB līnijas vai ne, bet attālumiem no instrumenta līdz novērojamiem punktiem jābūt vienādiem, t. i., $AS = SB$. Mēs zinām, ka slīpas vizuras slīpuma leņķis α uz vienādiem attālumiem ir nemainīgs

$$\text{un } NN^1 = MM^1. \text{ Tad } \triangle NN^1S^1 = \triangle MM^1S^1,$$

$$\text{un } AN^1 - BM^1 = (AN^1 - NN^1) - (BM^1 - MM^1) = AN - BM.$$

Bet $AN - BM$ ir h, t. i., pareizā augstuma starpība.

Ja punktu A un B horizontalie attālumi ir lieli (vairāk nekā 200 m) un to augstumu starpību no viena instrumenta stāvokļa nevar vairs noteikt, tad jālieto saliktā nivelēšana.

227. Saliktā nivelēšana

Atkarībā no punktu savstarpējā stāvokļa (t. i., savstarpējā attāluma un augstuma) to paaugstinājumus jeb augstumu starpības h noteic vai nu ar vienkāršo, vai arī salikto nivelēšanu. Vienkāršā nivelēšanā divu punktu savstarpējo attālumu līdzenā vietā ierobežo instrumenta līmeņrāža jutība un tālskatā optiskās spējas. Piemēram, techniskā nivelēšanā nolasa nolasījumus no latas ar 1 mm noteiktību. Tātad attālumu nevarēs ņemt tik lielu, ka ar doto instrumentu nevarēs vairs novērtēt milimetru iedaļas. Tāpat arī līmeņrāža jutība nosaka maksimalo attālumu, — ja līmeņrāža jutība neatsaucas uz vizuras līnijas novirzi vertikalā plaknē par 1 mm, tad attālums ir par lielu. Parasti techniskā nivelēšanā lietojamo nivelieru tālskata un līmeņrāža spējas ir saskaņotas maksimaliem attālumiem līdz 70 m; par normalo attālumu pieņem 50 m. Tāpēc līdzenā vietā par divu nivelējamo punktu maksimalo attālumu var pieņemt 100 m. Tad arī piketažas attālumus, kurus ņem ik pēc 100 m, var uzskatīt par normaliem.

Kalnainos apvidos divu punktu maksimalos attālumus nosaka reljefs. Ja starp diviem piketiem zemes virsas kāpums vai kritums ir tik liels, ka (no instrumentu stāvvietas) vizuras līnija ielejas virzienā iet pāri latai, vai pret kalnu ir tāds, ka nesasniedz punktā uzstādīto latu, tad starp piketiem vēl jāņem saistpunkti, turklāt uz saistpunkta piketa mietiņa uzraksta daļas veidā iepriekšējā piketa mietiņa numuru kā skaitītāju, bet saucējā ieraksta ar plus zīmi metru skaitu no iepriekšējā punkta līdz starppunktam (sk. piketažas darbus).

Pieņemsim, ka 208. zīmējumā parādīto punktu A un B horizontalais attālums ir tik liels, ka šo punktu augstumu starpību nonivelēšanai nepieciešamas 3 instrumentu stāvvietas — stacijas.

Vispirms nostāda instrumentu I stacijā vienādā attālumā no piketiem 0 un 1. Vizē uz atpakaļējo latu, t. i., uz 0 piketā nostādīto latu, nolasa nolasījumu n'_a, pagriež tālskati uz priekšējo 1. piketu, vizē un nolasa nolasījumu n'_p.

Abu piketu punktu augstumu starpība $h_1 = n'_a - n'_p$. Tāpat rīkojas otrā, trešajā utt. stacijās. Visās stacijās saistpunktu paaugstinājumu aprēķināšanas formula paliek tā pati:

$$\text{II stacijā } h_2 = n''_a - n''_p,$$
$$\text{III} \quad " \quad h_3 = n'''_a - n'''_p.$$

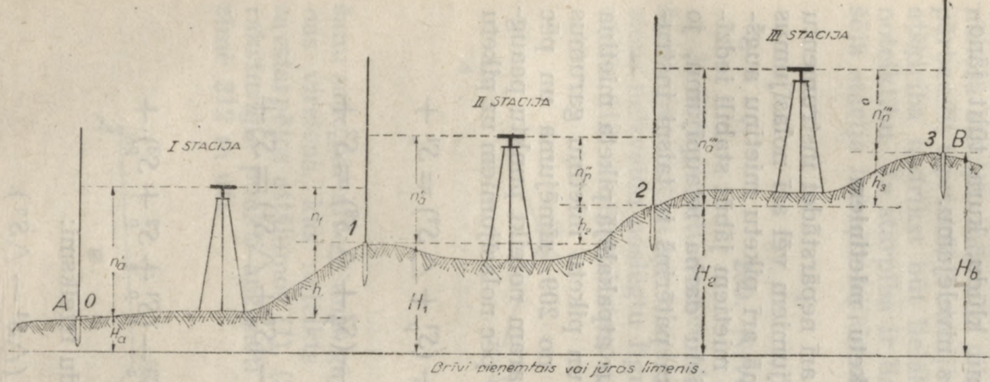
Saskaitot abas nolīdzinājumu puses, dabūsim, ka

$$h_1 + h_2 + h_3 = n'_a + n''_a + n'''_a - (n'_p + n''_p + n'''_p);$$
$$\Sigma h = \Sigma n_a - \Sigma n_p.$$

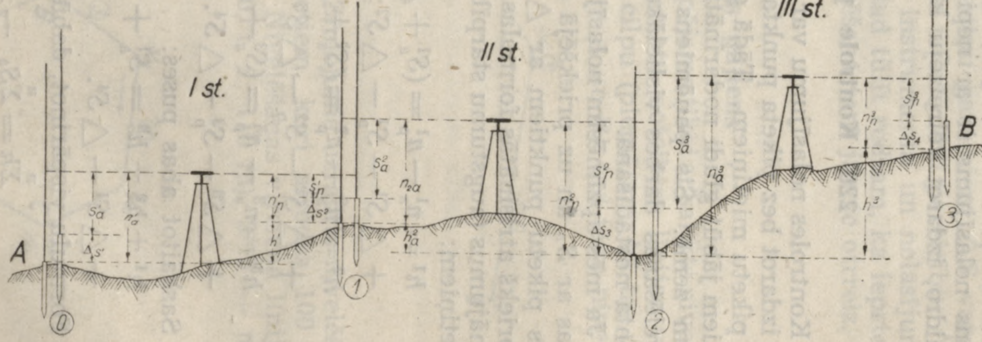
No atrisinātās formulas redzam, ka augstumu starpību starp diviem punktiem var aprēķināt divējādi: 1) aprēķina atsevišķo piketu savstarpējās augstumu starpības h_1, h_2, h_3 utt. un to algebriskā suma dod meklējamo punktu augstumu starpību Σh, vai 2) saskaita atpakaļējos nolasījumus n'_a, n''_a, $n'''_a = \Sigma n_a$ un priekšējos nolasījumus n'_p, n''_p, $n'''_p = \Sigma n_p$ un no atpakaļējo nolasījumu sumas atņem priekšējo nolasījumu sumu; dabūtā starpība ir arī punktu *A* un *B* augstumu starpība. Ja starpība Σh ir pozitiva, tad noteicamais punkts ir augstāks par sākuma punktu *A*, ja $\Sigma h = 0$, tad tas norāda, ka abi punkti ir vienādā augstumā, bet, ja Σh ir negativa (ar minus zīmi), tad noteicamais punkts ir zemāks par sākuma (atpakaļējo) punktu. Vai, ja atpakaļējo nolasījumu suma Σn_a ir mazāka par priekšējo nolasījumu sumu Σn_p, tad sākuma punkts ir augstāks par noteicamo punktu, bet, ja $\Sigma n_a = \Sigma n_p$, tad abi punkti ir vienādā augstumā, un, ja Σn_a ir lielāka par Σn_p, tad sākuma punkts ir zemāks par noteicamo punktu.

228. Saliktās ģeometriskās nivelēšanas kontrole

Lai izvairītos no rupjām kļūdām, tad katrā stacijā der izdarīt nivelēšanu vismaz divos paņēmienos. Lai to izdarītu, tad pēc pirmiem novērojumiem — atpakaļējiem un priekšējiem nolasījumiem, izceļot instrumentu kopā ar stativu, pārstāda instru-



208. zīm.



209. zīm.

mentu par 10—20 cm augstāk vai zemāk nekā pirmajā stāvoklī un izdara atkal nolasījumu atpakaļ un uz priekšu. Tādā gadījumā augstumu starpība katrā stacijā ir noteikta divas reizes, un tās drīkst atšķirties tikai pieļaujamības robežās. Pretējā gadījumā viens nolasījums ir ar nepieļaujamu kļūdu, kura tūlīt jānoskaidro, izdarot vēlreizēju kontroles nivelējumu.

229. Kontrole pēc piketu mietiņiem

Kontroles nolasījumu var dabūt arī nepārstādot instrumentu un izdarot bez piketa punkta nolasījumiem vēl arī nolasījumus uz piketu mietiņiem. Tādā gadījumā arī piketu mietiņu augšgaliem jābūt gludi nodarinātiem un mietiem jābūt stabili iedzītiem zemē. Šis paņēmiens dod lielu darba ietaupījumu, jo nivelēšanas darbos vislielākais laika patēriņš ir taisni instrumenta nostādīšanā.

Ja mēs apzīmēsim nolasījumus uz atpakaļējā piketa mietiņa latas ar S_a un uz priekšējā ar S_p un piketu mietiņu garumus virs piketu punktiem ar $\triangle S$, tad no 209. zīmējuma un pēc iepriekš atrisinātās formulas mēs varam noteikt punktu paaugstinājumus (augstumu starpības) arī pēc nolasījumiem uz piketu mietiņiem:

$$h^1 = n^1_a - n^1_p = (S^1_a + \triangle S^1) - (S^1_p + \triangle S^2) = S^1_a + \\ + \triangle S^1 - S^1_p - \triangle S^2;$$

$$h^2 = n^2_a - n^2_p = (S^2_a + \triangle S^2) - (S^2_p + \triangle S^3) = S^2_a + \\ + \triangle S^2 - S^2_p - \triangle S^3;$$

$$h^3 = n^3_a - n^3_p = (S^3_a + \triangle S^3) - (S^3_p + \triangle S^4) = S^3_a + \\ + \triangle S^3 - S^3_p - \triangle S^4.$$

Saskaitot abas puses:

$$h^1 + h^2 + h^3 = S^1_a + S^2_a + S^3_a - (S^1_p + S^2_p + S^3_p) + \\ + \triangle S^1 - \triangle S^4.$$

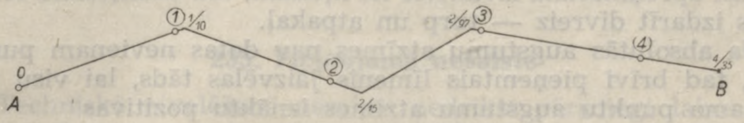
Formulu vispārinot, dabūsim šādu izteiksmi:

$$\sum_1^n h = \sum_1^n S_a - \sum_1^n S_p + (\triangle S^1 - \triangle S^n).$$

No atrisinātās formulas redzam, ka 1) izdarot nivelēšanu pa piketu mietu galiem, divu punktu augstumu starpības vienlīdzīgas atpakaļējo nolasījumu sumai minus priekšējo nolasījumu suma, plus piketa mietiņu garumu starpība starp izejas punkta un beigu punktu mietiņu garumiem; 2) visi piketu mietiņu garumi $\triangle S$, izņemot pirmo un pēdējo, tiek noteikti divās stacijās, tas ir, divos instrumenta augstuma stāvokļos. Tātad, pārejot nākošā stacijā, mēs pēc piketu mietiņu garumiem $\triangle S$ varam pārbaudīt iepriekšējā stacijā izdarīto nolasījumu pareizību: $\triangle S$ atšķirība nedrīkst būt lielāka par instrumenta un nolasījumu noteiktību. Ja starpība ir lielāka, tad tūlīt redzam, ka iepriekšējā stacijā izdarīta kļūda un nivelēšana tanī jāveic otrreiz.

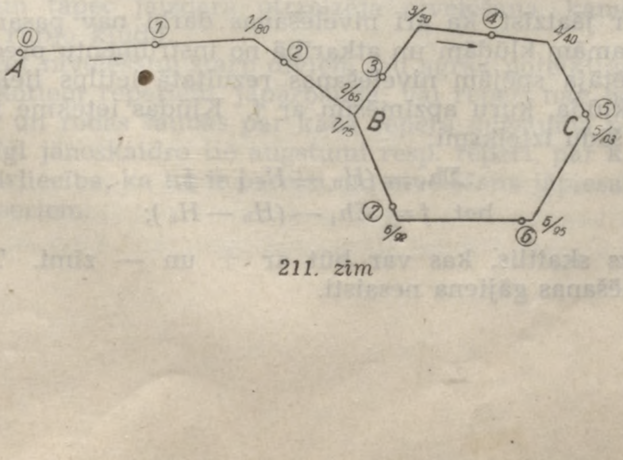
230. Nivelēšanas gājiens

Ja divu punktu nonivelēšana iespējama tikai ar salikto nivelēšanas paņēmienu un nivelējamo punktu noteiktas līnijas virziens neizveido noslēgtu figūru — cilpu (piemēram, kā tas parādīts 210. zīmējumā starp punktiem *A* un *B*), tad tādu nivelē-



210. zīm.

šanu sauc par nivelēšanas gājienu. Zīmējumā uzrādīts nivelēšanas virziens, kas noteikts ar piketiem, kuri atrodas 100 m savstarpējos attālumos (1), (2) utt. Nivelēšanas virziena līnijas raksturīgie punkti apzīmēti ar 1/10, t. i., 110 m), 2/15 — nozīmē 212 m utt.



211. zīm

231. Nivelēšanas cilpa

Ja nivelēšanas gājiens izveido noslēgtu figuru (cilpu), tad tādu nivelēšanas gājienu sauc par „nivelēšanas cilpu".

211. zīmējumā parādītajā gājienā mēs pēc sastādītās piketažas redzam, ka nivelēšanas gājiens nosprausts no punkta A uz B un no B uz C līdz punktam B 775 m garumā, turklāt izveidota arī nivelēšanas cilpa, t. i., punktu B var pienivelēt, ejot no 2. piketa uz 3. un otrreiz no 7. piketa uz punktu B.

232. Nivelēšanas pārbaudes

Lai gūtu labus nivelēšanas rezultatus un lai varētu atklāt varbūtējās rupjās kļūdas, tad nivelēšana jāizdara divreiz — turp un atpakaļ, jo tad dažas sistematiskās kļūdas, kas atkarīgas no gājiena virziena, abu gājienu aritmetiskā vidējā rezultatā iznīcināsies, bet rupjās kļūdas viegli atklāsies.

Lai aprēķināšanā izvairītos no kļūdām, tad skaitļošanu ieteicams izdarīt divreiz — turp un atpakaļ.

Ja absolutās augstumu atzīmes nav dotas nevienam punktam, tad brīvi pieņemtais līmenis jāizvēlas tāds, lai visu paredzamo punktu augstumu atzīmes iznāktu pozitivas.

233. Nivelēšanas nesaiste gājienā

Ja mēs būsim nonivelējuši gājienu starp diviem punktiem A un B, kuru augstumu atzīmes ir jau iepriekš precizi noteiktas, tad šo punktu augstumu starpībai ir jābūt vienlīdzīgai ar nivelēšanā iegūto augstumu starpību sumu, t. i.,

$$H_b - H_a = \Sigma h.$$

Tomēr jāatzīst, ka arī nivelēšanas darbi nav pasargāti no nenovēršamām kļūdām un atkarībā no instrumentu precizitates un nivelētāja spējām nivelēšanas rezultatā ietilps lielāka vai mazāka kļūda, kuru apzīmēsim ar f. Kļūdas ietekmē formula pieņems šādu izteiksmi:

$$\Sigma h_1 = (H_b - H_a) + f,$$

$$\text{bet } f = \Sigma h_1 - (H_b - H_a);$$

f ir mazs skaitlis, kas var būt ar + un — zīmi. To sauc par nivelēšanas gājiena nesaisti.

234. Nesaiste nivelēšanas cilpā

Mēs secinājām, ka nivelēšanas gājienā augstumu starpību suma var būt ar + zīmi, ar — zīmi un arī vienlīdzīga 0, turpretim nivelēšanas cilpā augstumu starpību sumai teorētiski vienmēr jābūt vienlīdzīgai 0, t. i.,

$$\Sigma h = 0.$$

Tas izriet no vispārējās formulas $H_b - H_a = \Sigma h$.

Tā kā nivelēšanas cilpā izejas punkts A un beigu punkts B ir viens un tas pats un to augstumu atzīmes ir vienādas, tas ir, $H_b = H_a$, tad:

$$H_b - H_a = 0 = \Sigma h;$$
$$\Sigma h = 0.$$

Bet arī šeit augstumu starpību sumā ietilpst nenovēršamā kļūda f un tad $\Sigma h = f$.

Redzam, ka nivelēšanas cilpā nivelējuma nesaiste ir vienlīdzīga augstumu starpību sumai.

235. Pieļaujamā nesaiste

Techniskā nivelēšanā nesaiste nedrīkst pārsniegt labos apstākļos 5 mm un nelabvēlīgos apstākļos 10 mm reizinājumam ar kvadratsakni no nonivelēto kilometru skaita S.

Tātad labos darba apstākļos maksimalā pieļaujamā kļūda $f_{max} = 5 \text{ mm} \cdot \sqrt{S}$, nelabvēlīgos apstākļos $f_{max} = 10 \text{ mm} \cdot \sqrt{S}$.

Parasti katram uzdotam nivelēšanas darbam nosaka pieļaujamo nesaisti.

Gājienu drīkst nosiet tikai tad, ja nesaiste f ir mazāka par pieļaujamo f_{max}. Ja f ir lielāks par f_{max}, tad jāpārbauda aprēķini. Ja aprēķinos kļūdu nav, tad nivelēšanā ir ieviesusies rupja kļūda, un tāpēc jāizdara otrreizēja nivelēšana, kamēr atrod radušos rupjo kļūdu.

Izdarot nivelēšanu starp diviem jau agrāk noteiktiem primitivi ierīkotiem reperiem, jāpārbauda, vai reperi nav bojāti. Ja tas tā ir un rodas šaubas par kāda repera augstuma pareizību, tad rūpīgi jānoskaidro tie augstumi resp. reperi, par kuriem ir droša pārliecība, ka tie ir pareizi, un nivelēšana jāpiesaista drošiem reperiem.

236. Nesaistes nosiešana

Kā mēs jau redzējām, nesaisti var atrast slēgtā nivelēšanas cilpā, kad $\Sigma h = f$, vai arī gājienā starp diviem iepriekš noteiktiem reperiem, kad $f = \Sigma h - (H_b - H_a)$.

Ja nesaiste f ir pieļaujama, tad tā ir jānosien, tas ir, jāizlabo tā, lai atsevišķo punktu augstumu starpību suma dotu iepriekš noteikto reperu atzīmju starpību, vai, ja būtu noslēgta cilpa, lai Σh *dotu nulli*. Nesaistes nosiešanas piemērs uzrādīts nivelēšanas žurnālā.

237. Augstumu atzīmju aprēķināšana

Augstumu starpības starp atsevišķiem punktiem nedod vēlamo pārskatāmību par zemes virsas reljefu, tāpēc visos gadījumos, kad ir noteiktas vairāk nekā divu punktu augstumu starpības, ir jāaprēķina šo punktu augstumu atzīmes vai nu pēc jūras līmeņa, vai arī kāda brīvi pieņemta līmeņa. Pieņemsim, ka 208. zīmējumā mums ir dota punkta A atzīme H_a, jāaprēķina nākošo punktu atzīmes.

Redzam, ka:

$$H_1 = H_a + h_1,$$
$$H_2 = H_1 + h_2,$$
$$H_b = H_2 + h_3.$$

Vai, izsakot vārdos, nākošā punkta atzīme ir vienlīdzīga iepriekšējā punkta atzīmei plus augstumu starpība starp šiem punktiem.

Ja augstumu starpība h ir pozitiva, tad aprēķināmā punkta atzīme ir lielāka nekā pirmā punkta atzīme, bet, ja h ir negativa, tad mazāka.

Ja atrisinātās formulās ievietosim H_1 un H_2 nozīmes, tad

$$H_2 = H_a + h_1 + h_2,$$
$$H_b = H_a + h_1 + h_2 + h_3$$

jeb $H_b = H_a + \Sigma h$,

vai vispārināti

$$H_n = H_1 + \sum_1^n h.$$

Punktu augstumu atzīmes var aprēķināt arī tajā gadījumā, ja dotais augstums nav gala punktam, bet kaut kādam citam punktam C_1, kas atrodas starp gala punktiem A un B.

Dotā atzīme tad būs H_c, bet augstumu starpību sumas tad ir jāsaskaita divās daļās: 1) no sākuma punkta A līdz dotajam punktam C augstuma starpību sumā, kuru apzīmēsim ar Σh_c un 2) no dotā punkta C līdz punktam B, kuru apzīmēsim ar Σh_b. Tad punkta A atzīme

$$H_a = H_c - \Sigma h_c$$

un punkta B atzīme

$$H_b = H_c + \Sigma h_b\,.$$

Bez iztirzātā aprēķināšanas veida augstuma atzīmes var aprēķināt arī pēc instrumenta horizonta. Par instrumenta horizontu sauc vizuras līnijas augstuma atzīmi. 208. zīmējumā I stacijas instrumenta horizonts $H_J = H_a + n_a^1$, tātad dotā punkta augstuma atzīme plus nolasījums no latas uz šā punkta. Tad 1. piketa augstuma atzīme $H_1 = H_J - n_p^1$, t. i., instrumenta horizonts minus nolasījums no latas uz noteicamo punktu.

238. Nivelēšanas kļūdas. Rupjās kļūdas

Rupjās kļūdas rodas no nivelētāja neuzmanības un paviršības, vai nu nepareizi nolasot no latas, vai arī nepareizi nostādot instrumentu. Nolasījumos visbiežāk kļūdās par 1, 5, 10 vai 100 iedaļām resp. centimetriem. Tāpat neiestrādājies nivelētājs bieži vien piemirst nolasīšanas brīdī nostādīt līmeņrāža burbulīti vidū vai arī nostāda to nepareizi — par vienu vai vairāk iedaļām slīpi. No nepareizi nostādīta burbulīša nolasījumā no latas var ietilpt rupja, nepieļaujama kļūda.

Ar iestrādāšanos, rūpību un uzmanību darbā rupju kļūdīšanās gadījumu skaits samazinās, bet no tām izvairīties var tikai tad, ja nivelēšanas darbus kontrolē jau darba gaitā. Tādēļ nivelēšanas darbi jāiekārto tā, lai ar kontroli kļūdas būtu iespējami viegli atrast un novērst.

Apskatīsim dažas kļūdu grupas, kas var ietekmēt nivelēšanas darbu rezultatus, ja tām nav darba laikā pievērsta vajadzīgā uzmanība.

239. Kļūdas, kas rodas no iedaļu ņocenošanas

Novērojumi rāda, ka, strādājot ar instrumentu, kura tālskatis palielina 20 reižu, nolasījumam no latas 100 m attālumā vidējā kļūda ir ap ± 3/100 no iedales, t. i., 0,3 mm.

240. Latas garuma kļūda

Parastā tehniskā nivelēšanā latas garuma kļūda ir tik niecīga, ka to var neievērot. Latas garuma kļūda ir apm. $\frac{1}{8000}$ no garuma un vislielākā kļūda ir $\frac{1}{4000}$. Kalnainos apvidos ar divu punktu augstumu starpību 100 m un vairāk latas sistematiskā garuma kļūda rada arī nivelēšanas rezultatā ievērojamas kļūdas, un sistematisko kļūdu nevar ignorēt pat tad, ja lata ir kļūdaina tikai par 0,2 mm uz metra.

241. Kļūdas, ko rada atmosferiskie apstākļi

Nivelēšanas rezultatus var jūtami ietekmēt refrakcija, gaisa viļņošanās, vējš, lietus un straujas temperaturas maiņas.

Gaisa viļņošanās, vējš un lietus, ja tie nav brāzmainos apmēros, nedod lielas kļūdas, un, ja tik novērotājs pats personīgi no tiem neietekmējas, tad instrumentu un rīku kļūdas ir to ietekmē niecīgas un neievērojamas.

Turpretim refrakcija un temperaturas straujas svārstības var radīt vairākus milimetrus lielu kļūdu. Strauja temperaturas maiņa rada instrumentos deformacijas, kas dod nivelēšanas rezultatos kļūdas. Tādēļ nolasījumi jāizdara iespējami īsākā laikā — vienādā temperaturā.

Refrakcijas kļūdu apskatīsim atsevišķi.

242. Zemes sferiskuma kļūda

(kādu, zemes virsas loku nivelējot, var uzskatīt par taisni).

Iedomāsimies, ka mums jānonivelē un jānoteic 212. zīmējumā parādīto punktu A un B augstumu starpības. Sferiskā-līmeniskā zemes virsa ir AB_0.

Lai dabūtu teoretiski pareizo augstumu starpību, tad mums caur punktu B un punktu C jānovelk paraleles sferiskajai virsai AB_0.

Zīmējumā redzam, ka, lai dabūtu pareizo augstumu starpību, tad vizuras līnijai jābūt apļa lokam C_b, kas ir $\parallel AB_0$ resp. ir koncentrisks ar pēdējo. Tad A un B punktu augstumu starpība $h = AC - Bb$. Bet mēs zinām, ka niveliera tālskata vizuras ass ir taisne, kas ir stateniska vertikalei AC, un tāpēc tā punkta B vertikāli krusto punktā D un nevis punktā b. Tad nivelējot dabūtais nolasījums no latas patiesībā ir lielums BD, kas ir lielāks par Bb, jo

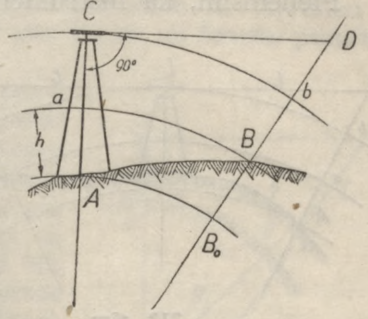
$$Bb = BD - Db.$$

Lielumu Db sauc par zemes sferiskuma kļūdu.

Ja mēs ieliksim Bb nozīmi pirmajā formulā, tad tā pieņems šādu izteiksmi:

$$h = AC - (BD - Db).$$

Pieņemot jūras līmeņa resp. zemes sferas radiju par R, t. i., no zemes centra līdz punktam A vai punktam B_0, loka Cb radijs ir $R + AC = R + bB_0$.



212. zīm.

Vizuras līnija CD ir redzamais horizonts. Vertikales B_0D turpinājums iet caur zemes centru un visas sekantes garums ir vienlīdzīgs

$$2(R + B_0b) + Db.$$

Tad $\overline{CD}^2 = Db\,[2(R + B_0b) + Db]$.

Ja mēs attālumu $\overline{CD}$ no instrumenta līdz latai D apzīmēsim ar l, sferiskuma kļūdu Db ar $\triangle h$, tad, ievērojot, ka lielums B_0b, salīdzinot ar R, ir ļoti mazs un tāpat arī Db^2 ir mazs lielums, mēs tos no formulas bez jūtamas kļūdas varam izslēgt un

$$l^2 = \triangle h \cdot 2R;$$

$$\triangle h = \frac{l^2}{2R}.$$

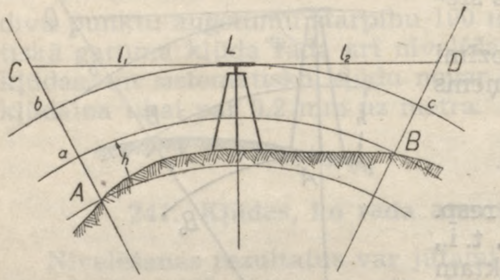
Pēc atrisinātās formulas varam aprēķināt zemes sferiskuma kļūdas dažādos attālumos:

attālumā	$l <$ 35	m	kļūda	$\triangle h <$ 0,1	mm
„	$l =$ 50	„	„	$\triangle h =$ 0,2	„
„	$l =$ 100	„	„	$\triangle h =$ 0,8	„
„	$l =$ 200	„	„	$\triangle h =$ 3,1	„

243. Zemes sferiskuma kļūdas izslēgšana

Pierādīsim, ka sferiskuma kļūda izslēdzas, ja instrumentu nostāda vienādos attālumos no nivelējamiem punktiem. Pieņemsim, ka mums jānosaka augstumu starpība starp 213. zīmējumā parādītiem punktiem A un B.

Pieņemsim, ka instruments nav nostādīts gluži vidū, t. i., ka attālums $l_1 = CL$ un $l_2 = LD$ ir dažādi. Tad, nolasot no latām, mēs dabūsim nolasījumu uz atpakaļējo latu AC un uz priekšējo BD, bet, lai dabūtu pareizo augstumu starpību, vajadzētu dabūt nolasījumus Ab un Bc. Pareizā punktu A un B augstumu starpība ir:



213. zīm.

$$h = Ab - Bc = (AC - Cb) - (BD - Dc)$$

$$\text{jeb: } h = (AC - BD) - (Cb - Dc).$$

No formulas redzam, ka latas nolasījumu starpība nedod pareizu rezultatu un jāizdara izlabojums $Cb - Dc$.

Noteicot sferiskuma kļūdu, mēs rakstījām, ka

$$Cb = \triangle h_1 = \frac{l_1^2}{2R}$$

$$\text{un } Dc = \triangle h_2 = \frac{l_2^2}{2R}.$$

Ieliekot šos lielumus formulā, dabūsim, ka

$$h = (AC - BD) - \frac{l_1^2 - l_2^2}{2R}.$$

Ja nu mēs būtu nostādījuši instrumentu L vienādos attālumos no punktiem A un B tā, lai $l_1 = l_2$, tad

$$Cb = Dc;$$

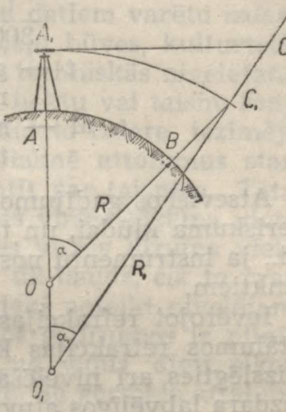
izteiksme $\frac{l_1^2 - l_2^2}{2R} = 0$ un $h = AC - BD$.

Tātad, ja nivelējamie punkti atrodas vienādā atstatumā no instrumenta stāvvietas L, tad zemes sferiskuma kļūda izslēdzas.

244. Refrakcijas kļūda

Novērojumi rāda, ka tālskata vizuras līnija nav taisna, jo gaisa slāņi nav visur vienādā blīvumā un gaismas stars, ejot caur dažāda blīvuma vidēm, tiek dažādi lauzts un tādēļ izliecas. 214. zīmējumā parādīts, ka gaismas stars no A_1 neiet vis taisnā virzienā uz punktu C, bet gan liecas un krusto punkta B vertikali ar liekumu punktā C_1.

Ar attālināšanos no zemes gaisa slāņu blīvums pazeminās, un gaismas stars tiek lauzts uz leju. Bet zemes virsas tuvumā, kad zemes virsa ir saulē sakarsusi, refrakcija var būt arī pretēja, un stars var tikt liekts uz augšu. Vai nu vienādi, vai otrādi, bet refrakcija pastāv, un, ja nivelēšanas darbos to neievēro, tad nivelēšanas rezultatos tā rada jūtamas svārstības.



214. zīm.

Pieņemsim, ka gaismas stars dotajā gadījumā refrakcijas ietekmē iet pa loku A_1C_1, kura radijs $R_1 = O_1C_1 = O_1A_1$. Zemes centru apzīmēsim ar O un radiju ar R. Centralos leņķus attiecīgi apzīmēsim ar α un α_1 un izteiksim tos radianos.

Praktiski varam pieņemt, ka lielumi

$$A_1C = A_1C_1 = AB \text{ un } OB = OC_1.$$

Tad $A_1C_1 = R\alpha = R_1\alpha_1$ un $R_1 = R\,\dfrac{\alpha}{\alpha_1}$.

Apzīmējot attālumu no instrumenta līdz novērojamam punktam ar l, mēs varam rakstīt, ka refrakcijas kļūda $CC_1 = r = \dfrac{l^2}{2R_1}$; ar r apzīmē refrakcijas kļūdu. Ieliekot šajā formulā R_1 nozīmi:

$$r = \frac{\alpha_1}{\alpha} \cdot \frac{l^2}{2R}.$$

Ja vizuras līnija neskar zemi, tad var aptuveni pieņemt, ka

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} = +\,0{,}16.$$

Vispār tomēr attiecība $\frac{a_1}{a}$ var stipri svārstīties, un ieteicams to aprēķināt pēc šādas formulas:

$$\frac{a_1}{a} = \frac{h}{760} \times \frac{1}{1 + at} \times \left(0{,}2345 - \frac{6{,}867}{M}\right).$$

Šajā formulā h — vidējais barometriskais augstums,
a — gaisa izplešanās koeficients, aptuveni — $\frac{11}{3000}$,
t — gaisa slāņu vidējā temperatura, caur kuriem spiežas gaismas stars,
M — metru skaits, par kuriem jāpaceļas, lai temperatura pazeminātos par 1° C.

Atsevišķos gadījumos refrakcijas kļūda ir analoģiska zemes sferiskuma kļūdai, un tā izslēdzas līdzīgi kā sferiskuma kļūda, t. i., ja instrumentu nostāda vienādā attālumā no nivelējamiem punktiem.

Ievērojot refrakcijas svārstības dažādās vidēs, pat nelielos attālumos refrakcijas kļūda atsevišķos gadījumos var pilnīgi neizslēgties arī nivelēšanā no vidus. Tādēļ precizā nivelēšana jāizdara labvēlīgos atmosferiskos apstākļos, piemēram, jāievēro, lai saules stari nebūtu lielos apmēros sakarsējuši zemes virsu utt.

245. Sagatavošanās darbi

Saņemot nivelēšanas uzdevumu, jāveic sagatavošanas darbi uzdevuma izpildīšanai. Vispirms jānoskaidro, ar kādu noteiktību instrumentiem darbs būs jāveic. Jāpārbauda, vai instrumenti ir lietošanas kārtībā un ar pietiekamo noteiktību, un jāapsver, kādi vēl darba rīki būs nepieciešami uzdevuma veikšanai. Jāievāc ziņas par darba vietai tuvākā apkaimē ierīkotām pamatnivelējumu zīmēm, reperiem un markām (to atrašanās vietas apraksts, noteiktība un augstumi). Jāpārbauda un jāievāc ziņas par darba vietas apstākļiem, reljefu, mežiem, purviem, stepēm, tuksnešiem, plāniem un kartēm utt. Pilnīgai darba vietas apstākļu noskaidrošanai jāizdara darba vietas iepriekšējā apskate — rekognoscēšana.

Rekognoscēšana. Ja paredzēta darba vietas iepriekšējā apskate, tad, izbraucot uz vietas, jāsastāda darba vietas skice ar nepieciešamiem darba vietas apstākļu aprakstiem un paskaidrojumiem, kas dotu iespēju spriest par darba metodēm, vajadzīgiem darba rīkiem un instrumentiem, vārdu sakot, lai varētu sastādīt uzdevuma izpildīšanas plānu — grafiku.

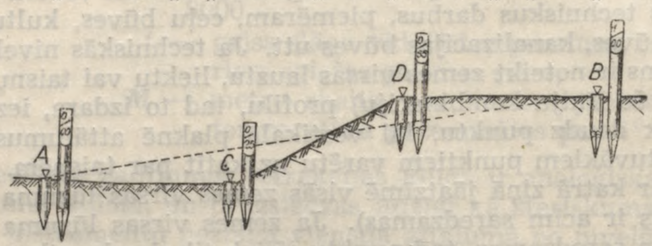
246. Piketažas darbi

Techniskā nivelēšana ir saistīta ar noteiktu virzienu vai platību, lai pēc nonivelēto punktu augstumu datiem varētu izdarīt zināmus techniskus darbus, piemēram, ceļu būves, kulturtechniskas būves, kanalizacijas būves utt. Ja techniskās nivelēšanas uzdevums ir noteikt zemes virsas lauztu, liektu vai taisnu līniju (vai arī šo līniju kombinaciju) profilu, tad to izdara, iezīmējot dabā tik daudz punktu, lai vertikalā plaknē attālumus starp diviem tuvākiem punktiem varētu uzskatīt par taisnēm. Tātad punkti ir katrā ziņā jāatzīmē visās zemes virsas lūzuma vietās (ja tādas ir acīm saredzamas). Ja zemes virsas lūzuma vietas nav acīm saredzamas, tad punktu jāliek tik daudz, cik to prasa uzdotā uzdevuma noteiktība. Tātad iepriekš noteikt nivelējamo punktu savstarpējo attālumu ļoti daudzos gadījumos ir pilnīgi neiespējami. Mēs zinām, ka, nivelējot no vidus, divu piketu normalais savstarpējais attālums ir 100 m. Šo normalo attālumu izlieto piketažas sastādīšanas darbos. Sastādot projektus, piketus iezīmē no profila sākuma 0 punkta ik pēc 100 m numeracijas kārtībā. Nospraužot piketus dabā, piketus tāpat iezīmē ik pēc 100 m. Šādi iekārtotai piketažai ir liela nozīme arī līniju horizontalo garumu varbūtējo rupjo kļūdu norobežošanā vienā piketa garumā, un bez tam vēl ikviena piketa uzraksts rāda tā attālumu no sākuma punkta. Piemēram, pikets ar uzrakstu **7** rāda, ka tas atrodas 700 m no sākuma punkta.

Ja augstuma starpība starp diviem piketiem ir tik liela, ka no vienas instrumenta stāvvietas nav iespējams noteikt augstumu starpību starp šiem piketiem vai arī, ja profila sastādīšanas noteiktība prasa noteikt zemes virsas augstumu tuvākos horizontalos attālumos, tad starp 100 metru piketiem liek vēl papildu piketus.

Piemēram 215. zīmējumā parādīts, ka 100 m attālumā starp piketiem 0/00 un 1/00 atrodas zemes virsas lūzuma punkti *C* un *D*. Ja punkti *A* un *B* būtu noteikti ar 2 piketiem, tad, tos nonivelējot, mēs dabūtu gan augstumu starpību starp *A* un *B*, bet raksturīgo zemes virsas lūzumu vietas punktos *C* un *D* mums nebūtu zināmas, un zemes virsa attēlotos kļūdaini ar līniju *AB* (raustītā). Tādēļ punktos C un D iesit papildu piketus un uz piketu mietiņiem atzīmē to attālumus no iepriekšējā piketa. Apzīmējumu nozīmes ir šādas:

0/00 — nozīmē 0 piketu sākuma punkts
1/00 — „ 1. „ 100 m no sākuma punkta
2/00 — „ 2. „ 200 „ „ „ „
0/25 — „ 25 m no 0 piketa resp. 25 m no sākuma punkta
0/65 — „ 65 „ „ 0 „ „ 65 „ „ „ „
2/75 — „ 75 „ „ 2 „ „ 275 „ „ „ „



215. zīm.

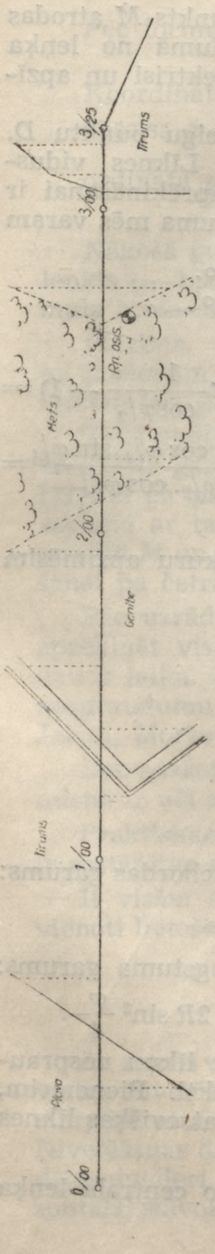
Ja dotais nivelēšanas uzdevums saistīts ar būvdarbiem, kuriem nepieciešamas zemes virsas augstumu atzīmes uz abām pusēm no piketu līnijas, tad reizē ar piketažas sastādīšanu dabā jāuzmērī arī situacija uz abām pusēm no nospraustās nivelēšanas līnijas un rūpīgi jāsastāda abriss (sk. 216. zīmējumu). Abrisā jāuzrāda to punktu vietas, kuriem nonivelējami augstumi un kas neatrodas uz piketažas līnijas. Šos punktus sauc par starppunktiem, un tie noder šķērsprofilu sastādīšanai. Piketažas līniju dažreiz sauc arī par trasu.

247. Līknes

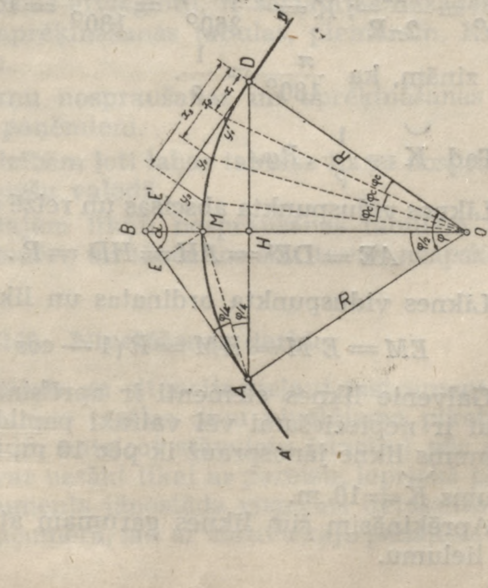
Technisko būvdarbu vajadzībām ļoti bieži taisnu līniju lūzuma vietas ir jānoapaļo ar zināma radija līknēm. Tā, piemēram, neviens transporta ceļš vai pludināšanas kanalis nav domājams ar lauztām līnijām.

Pieņemsim, ka 217. zīmējumā parādītās lauztās līnijas A^1BD^1 vietā mums jānosprauž līkne ar radiju R.

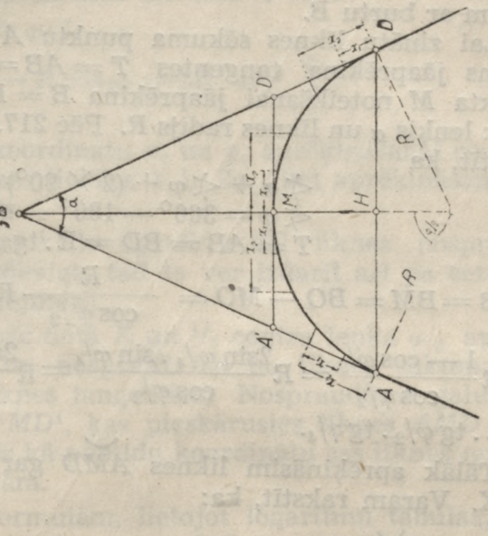
Līnijas nogriežņi $AB = BD$ tiek saukti par līknes tangentēm un tās apzīmēsim ar T. Līknes aprēķināšanas un nospraušanas vajadzībām pieņemsim tangentes AB un DB par abscisas X



216. zīm.



217. zīm.



218. zīm.

asīm ar nullpunktiem A un D. Līknes viduspunkts M atrodas uz leņķa α bisektrises un atgriežņa BM attālumā no leņķa virsotnes. Šo attālumu BM nosauksim par bisektrisi un apzīmēsim ar burtu B.

Lai zinātu līknes sākuma punktu A un beigu punktu D, mums jāaprēķina tangentes $T = AB = BD$. Līknes viduspunkta M noteikšanai jāaprēķina $B = BM$. Aprēķināšanai ir dots: leņķis α un līknes radijs R. Pēc 217. zīmējuma mēs varam rakstīt, ka

$$\sphericalangle \alpha + \sphericalangle \varphi + (2 \times 90^\circ) = 360^\circ;$$
$$\sphericalangle \varphi = 360^\circ - 180^\circ - \alpha = 180^\circ - \alpha;$$
$$T = AB = BD = R \,.\, \mathrm{tg}\varphi/_2$$

un $B = BM = BO - MO = \dfrac{R}{\cos\varphi/_2} - R = R\left(\dfrac{1}{\cos\varphi/_2} - 1\right) =$

$$= R\frac{1-\cos\varphi/_2}{\cos\varphi/_2} = R\frac{2\sin\varphi/_4 \,.\, \sin\varphi/_4}{\cos\varphi/_2} = R\frac{2\sin\varphi/_4 \,.\, \cos\varphi/_4 \,.\, \sin\varphi/_4}{\cos\varphi/_2 \,.\, \cos\varphi/_4} =$$
$$= R \,.\, \mathrm{tg}\,\varphi/_2 \,.\, \mathrm{tg}\,\varphi/_4.$$

Tālāk aprēķināsim līknes $\overset{\smile}{AMD}$ garumu, kuru apzīmēsim ar K. Varam rakstīt, ka:

$$\frac{\varphi}{360^\circ} = \frac{\overset{\smile}{K}}{2\pi R};\ \overset{\smile}{K} = \frac{2\pi R \,.\, \varphi}{360^\circ} = \frac{\pi R\varphi}{180^\circ} = R\frac{\pi\varphi}{180^\circ};$$

mēs zinām, ka $\dfrac{\pi}{180^\circ} = \dfrac{1}{\rho}$.

Tad $\overset{\smile}{K} = \dfrac{1}{\rho} \,.\, R\varphi$.

Līknes viduspunkta abscisas un reizē arī puschordas garums:

$$AE = DE^1 = AH = HD = R \,.\, \sin\frac{\varphi}{2}.$$

Līknes viduspunkta ordinatas un līknes augstuma garums:

$$EM = E^1M = HM = R\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) = 2R\sin^2\frac{\varphi}{4}.$$

Galvenie līknes elementi ir aprēķināti, bet līkņu nospraušanai ir nepieciešami vēl vairāki papildu punkti. Pieņemsim, ka mums līkne jānosprauž ik pēc 10 m, tas ir, atsevišķas līknes garums $\overset{\smile}{K} = 10$ m.

Aprēķināsim šim līknes garumam atbilstošo centralā leņķa φ_c lielumu.

Pēc formulas: $\breve{K} = \frac{1}{\rho} R\varphi$; $\varphi_c = \rho \cdot \frac{\breve{K}}{R}$.

Koordinatu aprēķināšanas formula ir šāda:

abscisa $x_1 = R \sin \varphi_c$;

ordinata $y_1 = R - R \cos \varphi_c = 2R \cdot \sin^2 \frac{\varphi_c}{2}$.

Nākošā punkta koordinatu x_2 un y_2 aprēķināšanai centralais leņķis φ_c būs 2 reizes lielāks, t. i., $2\varphi_c$, bet aprēķināšanas formula ar to nemainās.

Piezīme. Ja kaut kādu apstākļu dēļ līknes nospraušana pa puslokam nav izdevīga, tad to var izdarīt arī pa ceturtdaļlīknēm (sk. 218. zīmējumu).

Tādā gadījumā pēc dotā R un $^1/_2$ centra leņķa $\varphi/_2$ aprēķina tangentu garumus un nosprauž tos no līknes sākuma resp. beigām pa pilnas līknes tangentēm. Nosprauduma galus A^1D^1 savieno ar taisni A^1MD^1, kas pieskārusies līknes AMD viduspunktā M un noderēs kā papildu koordinatu ass līknes nospraušanai pa četrām daļām.

Pēc uzrādītām formulām, lietojot logaritmu tabulas, viegli aprēķināt visus līkņu elementus, bet tas tomēr prasa samērā daudz laika. Lai darbus atvieglotu, ir sastādītas dažādas līkņu nospraudumu datu aprēķināšanas tabulas, piemēram, Krenkes, Jacini, Moržova u. c.

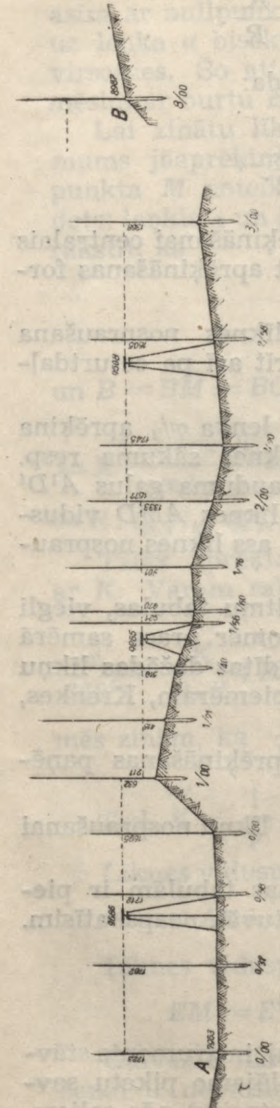
Bez apskatītā līkņu nospraušanas un aprēķināšanas paņēmiena ir vēl arī citi paņēmieni.

Praktiskām vajadzībām ļoti labas tabulas līkņu nospraušanai ir sastādītas arī latviešu valodā.

It visām sastādītajām līkņu nospraušanas tabulām ir pievienoti lietošanas piemēri, un tāpēc tos šeit tuvāk neapskatīsim.

248. Nivelēšanas darbi

Ja zemes virsas reljefs un situacija pieļauj, instrumenta stāvvietas nivelēšanas darbos izvēlas divu nivelējamo piketu savstarpējā attāluma vidū, noteicot stāvvietu (staciju) pēc soļiem. Nivelēšanas darbus var uzsākt tikai ar pareizu, iepriekš pārbaudītu nivelieri. Instruments jānostāda vispirms lietošanas (horizontalā) stāvoklī pēc acumēra, tad ar stativu kāju pedaļiem iedzen



219. zīm.

stativa kājas zemē, piegriež stingri stativa galvas skrūves un pēc tam nostāda instrumentu precīzi horizontalā stāvoklī (ar līmeņrāža palīdzību). Vizē uz atpakaļējo latu un tajā pašā laikā rūpīgi uzmana, lai līmeņrāža burbulītis būtu vidū. Ja tas kaut mazākā mērā ir pavirzījies uz vienu galu, tad ar vienu instrumenta paceļamo skrūvi (vai ar elevacijas skrūvi, ja tāda ir) nostāda burbulīti vidū un *tikai tādā stāvoklī* drīkst nolasīt no latas. Nolasījumu tūlīt ieraksta nivelēšanas žurnalā attiecīgā ailē. Pēc tam pagriež tālskati ap instrumenta vertikalo asi un uzvirza vizuru uz priekšējo latu. Nolasījumu atkal drīkst izdarīt tikai stāvoklī, kad burbulītis ir vidū. To panāk tāpat, kā izdarot nolasījumu uz atpakaļējo latu. Nivelēšanas kontroli var izdarīt pēc mums jau zināmā viena vai otra paņēmiena.

Stingri jāievēro (sevišķi vietās ar biezāku augsnas vai kūdras virskārtu), ka nedrīkst ap instrumentu lieki, nevajadzīgi staigāt. Ja pārvietojoties ap instrumentu arī neaizskartu tieši stativa kājas, tad tomēr cilvēka smaguma ietekmē var izmainīties jutīgā līmeņrāža stāvoklis, tas ir, burbulītis var izvirzīties no vidus. Instrumenta pārnešanā no vienas vietas uz otru jāievēro viss tas pats, kas sacīts par teodolita pārnešanu. Instrumentu pārnesot, uzmanība un rūpība nevar nekad būt par lielu.

249. Skaitlisks piemērs saliktai nivelēšanai

Pieņemsim, ka mums ir jānonivelē 219. zīmējumā parādītais profils.

Saskaņā ar norādījumiem par piketažas sastādīšanu no 0—8/0 piketiem vajadzīgos attālumos ir iedzīti piketu punktu mietiņi. Nivelēšana izdarīta pēc saliktās nivelēšanas no vidus. Sākuma punkta *A* atzīme dota 7963 (milimetros), dota arī beigu punkta atzīme *B*-8987. Instrumentu nostādām vienādos attālumos resp. 50 m no *O* un 1. piketa. Nolasām no atpakaļējās latas, t. i., uz *O* piketu (nolasījums 1725) un ierakstām žurnalā, tad uz priekšējo piketu 1/0; nolasījums 0634; *izmainām instrumenta augstumu* un atkal nolasām uz tiem pašiem punktiem. Pēc tam šajā instrumenta stāvoklī nolasām arī uz visiem papildu punktiem un visus nolasījumus ierakstām žurnala attiecīgās ailēs.

250. Nivelēšanas žurnals

Piketu un papildu punktu Nr.	Nolasījumi no latas			Vidējie nolasīj.		Augstumu starpības	Instrumenta horizonts	Punktu augstumu atzīmes	Piezīmes
	Atpakaļējie	Priekšējie	Papildu punkti	Atpakaļējie	Priekšējie				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A 0/0	1725 1723			1724			9686,0	7963	
						+1091			
1/0		0624 0632			0633				
0/32			1702					7984	
0/58			1712					7974	
0/80			1695					7991	
1/0	0213 0211			0212		−1122,5 −0,5	9265	9054	
2/0		1336 1333			1334,5 + 0,5 1335,0	−1123,0			
1/21			0415					8850	
1/40			0510					8755	
1/56			0921					8344	
1/60			0970					8295	
1/76			0901					8364	

Piketu un papildu punktu Nr.	Nolasījumi no latas			Vidējie nolasīj.		Augstumu starpības	Instrumenta horizonts	Punktu augstumu atzīmes	Piezīmes
	Atpakaļējie	Priekšējie	Papildu punkti	Atpakaļējie	Priekšējie				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2/0	1579 1577			1578			9508	7931	
3/0		1370 1368			1369	+0209			
2/20			1745					7763	
2/58			1605					7903	
3/0	1451 1453			1452				8140	
4/0		1207 1209			1208	+244			
4/0	1475 1473			1474				8384	
5/0		1139 1136			1137,5 +0,5 1138,0	+0336,5 −1,5 +03[illegible]			
5/0	1239 1241			1240				8720	
6/0		1137 1139			1138	+0102			
6/0	1245 1241			1243				8822	
7/0		1415 1411			1413	−0170			
7/0	1567 1569			1568				8652	
B8/0		1232 1234			1233	+335		8987,0	

$\Sigma n_a =$ $=10491$	$\Sigma n_p =$ $=9466$	$\Sigma h =$ $+2317{,}5$ $-1292{,}5$
$\Sigma n_a - \Sigma n_p =$ $= +1025{,}0$		$+1025{,}0$

$$f = \Sigma h_1 - (H_b - H_a) = 1025 - (8987 - 7963) = +0001.$$

Nesaisti nosien:

a) atpakaļējos nolasījumos ar nesaistei pretēju zīmi, piemēram, ja f ir ar + zīmi, tad nesaisti izlabo ar — zīmi;

b) priekšējos nolasījumos ar tādu pašu zīmi kā nesaistei; ja f ir ar + zīmi, tad arī izlabojumi ir ar + zīmi un

c) augstumu starpībās ar nesaistei pretēju zīmi; ja f ir ar + zīmi, tad izlabojums ar — zīmi.

Aprēķinām aritmetiskos vidējos nolasījumus. Pēc tam sasumējam $\Sigma n_a = 10491$ un $\Sigma r_p = 9466$. Tad $\Sigma n_a - \Sigma n_p = + 1025,0$; sasumējam arī augstumu starpības: $\Sigma h = + 2317,5 - 1292,5 = + 1025,0$. Ar to esam pārbaudījuši aprēķināšanas pareizību.

Pēc dotām gala punktu A un B augstumu atzīmēm un Σh skaitliskās vērtības aprēķināsim nesaisti f:

$$f = \Sigma h_1 - (H_b - H) = 1025 - (8987 - 7963) = + 0001$$

$$\text{resp. } f = + 1 \text{ mm.}$$

Nesaiste f ir pieļaujama, jo, kā zinām, labos darba apstākļos $f_{max} = 5 \text{ mm.} \sqrt{S} = 5 \text{ mm} . \sqrt{0,8} \cong 4,5 \text{ mm.}$

Tā kā nolasījumi izdarīti ar 1 mm noteiktību, tad nesaiste nosieta, noapaļojot milimetra daļas 2. un 5. stacijas nolasījumiem, izlabojot arī augstumu starpības. Pēc izlabotām augstumu starpībām aprēķina piketu punktu augstumu atzīmes:

$$
\begin{array}{r}
A = 7963 \\
+ 1091 \\
\hline
1/0 = 9054 \\
- 1123 \\
\hline
2/0 = 7931 \\
+ 0209 \\
\hline
3/0 = 8140 \\
+ 244 \\
\hline
4/0 = 8384 \\
+ 336 \\
\hline
5/0 = 8720 \\
+ 102 \\
\hline
6/0 = 8822 \\
- 170 \\
\hline
7/0 = 8652 \\
+ 335 \\
\hline
B = 8/0 = 8987
\end{array}
$$

Papildu punktu augstumus aprēķina pēc instrumenta horizonta: $H_J = H_a + n^1_a$.

Pirmajā stacijā punktā A resp. 0/0 piketā punkta atzīme $H_a = 7963$. Tā kā papildu punkti ir pieniveleti otra instrumenta stāvoklim, tad $n^1_a = 1723$, un instrumenta horizonts pirmajā stacijā

$$H_J = 7963 + 1723 = 9686.$$

Papildu punktu augstumu atzīmes varam aprēķināt pēc formulas $H_{sp} = H_J - n_{sp}$, apzīmējot papildu punktu augstumu atzīmes ar H^{sp} un nolasījumu no latām uz papildu punktiem ar n_{sp}, t. i., papildu punktu augstumu atzīmes ir vienlīdzīgas instrumenta horizonta atzīmei minus nolasījumi no latām uz papildu punktiem. Piemēram, pirmajā stacijā, kur $H_J = 9686$:

$$H_{0/2} = 9686 - 1702 = 7884,$$
$$H_{0/58} = 9686 - 1712 = 7974,$$
$$H_{0/80} = 9686 - 1695 = 7991 \text{ utt.}$$

Otrā stacijā: $H_J = 9054 + 0211 = 9265$,

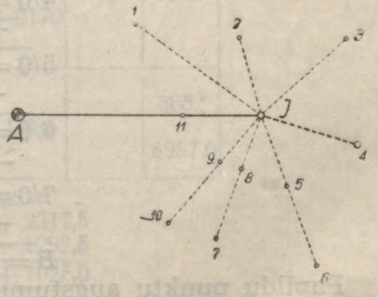
$$H_{1/21} = 9265 - 0415 = 8850 \text{ utt.}$$

Trešajā stacijā: $H_J = 7931 + 1577 = 9508$ utt.

251. Platību nivelēšana

Polarā metode

Platību nivelēšanai var lietot ģeometriskās nivelēšanas polaro metodi. Pēc šīs metodes no vienas stacijas pienivelē visus vajadzīgos (no šīs stacijas nonivelēt iespējamos) punktus. Ja 220. zīmējumā parādītajā punktā A atrodas repers, vai, ja tāds nav bijis, mēs to ierīkojam paši, tad instrumenta stāvvietu J izvēlas tā, lai no tās varētu nonivelēt iespējami visus, zināmās platības reljefa noteikšanai vajadzīgos punktus un lai no tās varētu pienivelēt arī reperu.



220. zīm.

Tāpat kā saliktā nivelēšanā nolasījums uz repera A skaitās atpakaļējs nolasījums, bet nolasījumi no latas uz noteicamiem punktiem 1—11 ir starppunktu nolasījumi. Parasti reperam ir dota augstuma atzīme, bet, ja tāda nav dota, tad repera atzīmi pieņemam brīvi ar tādu apsvērumu, lai visu noteicamo punktu atzīmes iznāktu pozitivas. Lai varētu noteikt visu punktu atzīmes, vispirms jānosaka instrumenta horizonts H_J.

Mēs jau zinām, ka tas ir vienlīdzīgs repera augstumam H_R plus nolasījums no latas uz repera n_R, t. i.:

$$H_J = H_R + n_R.$$

Pārējo šajā stacijā nivelēto punktu augstumu atzīmes tad būs: instrumenta horizonta atzīmes H_J minus nolasījums no latas un noteicamā punkta $n_1 . n_2, \ldots n_n$.

$$H_1 = H_J - n_1,$$
$$H_2 = H_J - n_2,$$
$$H_3 = H_J - n_3 \text{ utt.}$$
$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

n punktam: $H_n = H_J - n_n$.

Ņemsim piemēru: no stacijas J izdarīti nolasījumi vispirms uz reperi A, kuram dota jeb pieņemta atzīme 12675; nolasījums uz repera 814 ierakstīts nivelēšanas žurnalā.

Tāpat ierakstīti arī visu pārējo punktu nolasījumi uz latas.

Novēroto punktu apzīmējumi	Nolasījumi no latas n	Instrumentu horizonts H_J	Augstumu atzīmes H
Repers A	814	13489	12675
1	1025		12464
2	1004		12458
3	1359		12130
4	1780		11709
5	1565		11924
6	1140		12349
7	1000		12489
8	951		12538
9	9 0		12589
10	970		12519
11	851		12638
	13359		148509

$H_J = H_R + n_R = 12675$
$+814$
13489

$H_1 = 13489 - 1025 =$
$= 12464$ utt.

Aprēķināšanas pārbaudi var izdarīt pēc formulas $\Sigma H = m . H_J - \Sigma n$

m = nivelēto punktu skaits dotajā piemērā $11 + 1 = 12$;
n = nolasījumi no latas uz novērotiem punktiem.

Pārbaude: $148509 = 12 \times 13489 - 13359 = 161868 - 13359 = 148509.$

Polarā metode dod platību nivelēšanā labus rezultatus un lielu darba ražību, ja nivelieris ir pareizi izlabots un nolasījumi no latas tiek rūpīgi un uzmanīgi nolasīti.

252. Gājiena un polarās metodes apvienošana

Techniskos nivelēšanas darbos bieži vien darba ražības nolūkos ir ļoti izdevīgi apvienot gājiena un polaro metodi. Tā, piemēram, kulturtechniskos darbos šo abu metožu apvienošana ir tieši nepieciešama.

Pieņemsim, ka mums jānoteic 221. zīmējumā parādītā objekta *ABCDEF* zemes virsas reljefs.

Punktā *P* atrodas liels akmens, kura virsotnes augstāko vietu pieņemsim par reperi. Tāpat dzīvojamās ēkas *(DR)* dienvidaustrumu stūra pamata akmeni pieņemsim par reperi. Reperu augstuma atzīmes nav dotas. Nivelēšanas darbus uzsākot, vispirms jāizvēlas gājiena virziens ar tādu apsvērumu, lai tas izveidotu nivelēšanas cilpu. Cilpa nepieciešama, lai varētu noteikt varbūtējo nesaisti.

Atkal jāatceras, ka nivelējamie punkti jāizvēlas tā, lai ar diviem punktiem vertikālā plaknē noteikto attālumu praktiski varētu uzskatīt par taisni. Piemēram, 221. zīmējumā parādīts, ka virsas attēlošanai vertikālā plaknē pirmajā stacijā nepieciešami 14 punkti.

Pieņemsim, ka šo noteikumu izpildīšanai esam nosprauduši gājienu ar instrumentu stāvvietām J_1, J_2, J_3 un J_4, ar gājiena saistpunktiem — P, P_1, P_2 un P_3.

Nostājoties stacijā J_1, vispirms nolasām no latas uz repera, t. i., nolasījumu atpakaļ $n_a = n_R = 1779$, tad nolasījumu uz priekšu, t. i., uz piketa punktu P_1, $n_{p_1} = 1235$ un kontroles dēļ arī nolasījumu uz piketa mietiņa $n_{s_1} = 1021$. Nolasījumus ierakstām nivelēšanas žurnalā, kā turpmāk parādīts. Pēc tam nolasām šinī stacijā uz visiem vajadzīgiem punktiem un nolasījumus ierakstām žurnalā (sk. 274. lpp.).

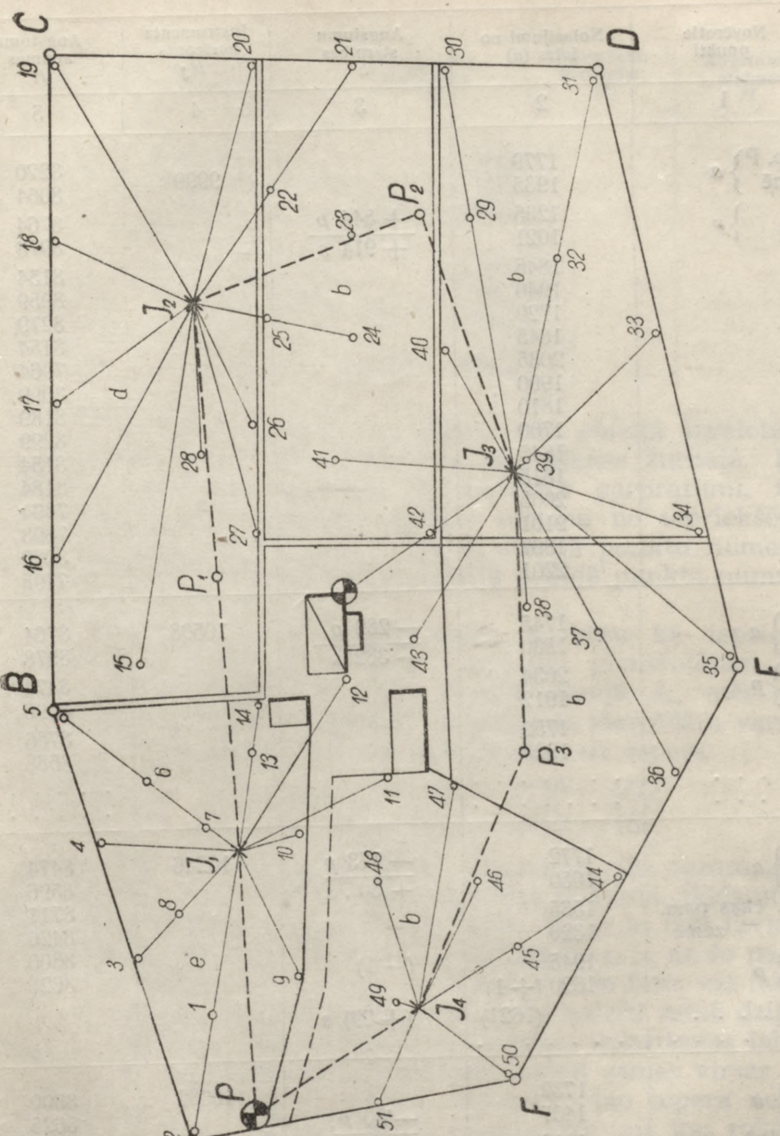
Pieņemsim, ka pirmajā stacijā reljefa noteikšanai ir nolasīti 14 punkti.

Pārejam ar instrumentu nākošā stāvvietā J_2, nolasām un ierakstām žurnalā vispirms atpakaļējo nolasījumu, t. i., $n_{p_1} = 1745$ un $n_{s_1} = 1530$, un pēc tam priekšējo, t. i., $n_{p_2} = 2034$ un $n_{s_2} = 1912$.

Šinī J_2 stacijā mēs tūlīt arī pārbaudām, vai nolasījumu starpības starp P_1 un S_1 abās stacijās sakrīt, t. i., izdarām kontroli, vai nolasījumos nav izdarīta rupja kļūda:

$$J_1 \text{ stacijā } \triangle S_1 = 1235 - 1021 = 214 \text{ mm},$$
$$J_2 \text{ stacijā } \triangle S_1 = 1745 - 1530 = 215 \text{ mm}.$$

Rupja kļūda nav izdarīta, jo 1 mm starpība ir iedaļu nocenojuma kļūda.



221. zīm.

Novērotie punkti	Nolasījumi no latas (n)	Augstumu starpības h	Instrumenta horizonts H_J	Augstumu atzīmes H
1	2	3	4	5
Rep. P } a	1779		9999	8220
zemē	1935			8064
P_1 } p	1235	$+544\ p$		8764
P_{s1}	1021	$+914\ s$		8978
1	1845			8154
2	1940			8059
3	1720			8279
4	1845			8154
5	2035			7964
6	1900			8099
7	1810			8189
8	1700			8299
9	1845			8154
10	1815			8184
11	2005			7994
12	2101			7898
13	1907			8092
14	2201			7798
P_1 } a	1745	$-289\ p$	10508	8764
P_{s1}	1530	$-382\ s$		8978
P_2 } p	2034			8474
P_{s2}	1912			8596
15	1752			8756
16	1920			8588
. . . .	. . . .			. . . . .
. . . .	. . . .			. . . . .
P_2 } a	1772	$-173\ p$	10246	8474
P_{s2}	1650	$+30\ .\ s$		8596
Rep. ēkas pam.	1535			8711
zemē	1820			8426
P_3 } p	1945	(-1)		8300
P_{s3}	1620 $(+1)$			8625
. . . .	(1621)	$(+29)\ s$		
. . . .	. . . .			
P_3 } a	1732		10032	8300
P_{s3}	1407	$-80\ p$		8625
Rep. P } p	1812	$-561\ s$		8220
zemē	1968			8064

Novērotie punkti	Nolasījumi no latas (n)	Augstumu starpības h	Instrumenta horizonts H_J	Augstumu atzīmes H
	$\Sigma n_a - \Sigma n_p =$ $= 7028 - 7026 =$ $= +0002$	$+544$ -542 $\Sigma h_p = \overline{+0002}$		
	$\Sigma S_a - \Sigma S_p =$ $= 6522 - 6521 =$ $= +0001$	$+944$ -943 $\Sigma h_s = \overline{+0001}$		.
	f vid. $= +1,5$	Σh vid. $= 0001,5$		

Pēc tam atkal nolasām uz visiem šinī stacijā izvēlētiem punktiem un nolasījumus ierakstām nivelēšanas žurnalā. Lai nivelētos punktus nesajauktu un nerastos pārpratumi, tad punktu numeraciju nākošās stacijās turpina no iepriekšējās stacijas pēdējā punkta. Piemēram, J_2 stacijā punktu numeraciju sāk ar 15 uz augšu, un šinī stacijā pēdējā punktā numurs ir 28.

Pārejam uz J_3 staciju un turpinām darbību kā iepriekš. Šinī stacijā rūpīgi un ar lielu uzmanību pienivelējam arī reperi — ēkas pamatu. Nonākot pēdējā stacijā J_4, mēs pēc piketu mietiņu un piketu punktu nolasījumu starpībām varam pārkontrolēt arī pirmās stacijas nolasījumus uz repera:

J_1 stacijā starpība $= 1935 - 1779 = 156$;

J_4 stacijā starpība $= 1968 - 1812 = 156$.

Tā pēc piketa punkta un piketa mietiņiem mēs varam pārbaudīt nivelēšanas pareizību visos saistošos punktos. Šāds nivelēšanas paņēmiens noderīgs vēl arī tāpēc, ka ar to mēs ikvienā stacijā pārbaudām saistošo mietiņu stabilitati, t. i., ar šo paņēmienu kontrolējam, vai mietiņi, uzliekot uz tiem latu, vai netīši uzkāpjot ar kāju, vai arī citādā veidā, nav iedzīti zemē dziļāk, nekā tie bijuši iepriekšējā stacijā nolasījumu izdarīšanas laikā.

Tā kā repera augstuma atzīme pati nedod zemes virsas atzīmi, tad, lai noteiktu arī pēdējo, ieteicams pie repera nelikt vis piketa mietiņu, bet gan piketa punkta mietiņu, kas raksturotu zemes virsu (t. i., mietiņu iedzīt tik dziļi, lai tas raksturotu zemes virsas līmeni pie repera).

Kad nivelēšanas cilpa noslēgta un visi nolasījumi ierakstīti nivelēšanas žurnalā, bet punktu atrašanās vietas atzīmētas uz plāna, kā tas bija 221. zīmējumā iepriekš parādīts, var sākt aprēķināt nesaisti un to nosiet.

Pēc šāda nivelēšanas paņēmiena nesaisti varam aprēķināt pēc formulām:

1) Pēc augstuma starpībām a) starp saistošiem piketu punktu mietiņiem, b) starp saistošiem piketu mietiņiem;

a) $\Sigma h_p = f_1$, h_p = pēc piketu punktu mietiņiem;

b) $\Sigma h_s = f_2$, h_s = pēc piketu mietiņiem.

2) $f_1 = \Sigma h = \Sigma n_a - \Sigma n_p$ (pēc nolasījumiem uz piketu punktiem);

3) $f_2 = \Sigma h = \Sigma s_a - \Sigma s_p + (\triangle s^1 - \triangle s^n)$(pēc nolasījumiem uz piketu mietiņiem).

Nivelēšanas cilpā $\triangle S^1 = \triangle S^n$, jo pirmais un pēdējais novērojums ir viens un tas pats. Tātad 1. formulā izteiksme

$$\triangle S^1 - \triangle S^n = 0$$

un formula pieņems šādu veidu: $f_2 = \Sigma s_a - \Sigma s_p$.

Uzrādītajā piemērā pārskatāmības dēļ nivelēšanas žurnalā „novēroto punktu" 1. ailē nivelēšanas saistošiem punktiem pierakstīti a un p, lai vieglāk būtu izšķirt atpakaļējos nolasījumus, kas apzīmēti ar a, un priekšējos nolasījumus, kas apzīmēti ar p.

Taču, nivelēšanas darbos iestrādājoties, tas nemaz nav vajadzīgs, jo ikvienā stacijā mēs nepārprotami varam atrast bez jebkādiem pierakstījumiem, kāds nolasījums ir atpakaļējais un kāds priekšējais. Piemēram, trešajā stacijā mēs redzam pēc žurnala ierakstījumiem vien, ka P_3 ir nākamajā stacijā, bet punkts P_2 iepriekšējā stacijā, tātad šinī stacījā punkta P_2 nolasījums ir atpakaļējais, bet P_3 — priekšējais.

Nesaistes atrašanai un nosiešanai sasumējam 2. un 3. ailes skaitļus un atrodam, ka nesaiste f_1 pēc piketu punktu nivelējuma vienlīdzīga + 2 mm, bet f_2 pēc piketu mietiņu nivelējuma vienlīdzīga + 1 mm.

$$f \text{ vid.} = \frac{1+2}{2} = 1{,}5 \text{ mm.}$$

Nesaisti nosiesim vai nu piketu punktu, vai piketu mietiņu nolasījumos, skatoties pēc tā, kuros nesaiste ir mazāka. Šajā gadījumā — piketu mietiņu nolasījumos.

Trešajā stacijā P_{s3} nolasījums vienlīdzīgs 1620.

Šis nolasījums ir priekšējais.

Tā kā šajā gadījumā nesaiste ir ar +, tad arī izlabojums ir jāieliek ar + zīmi, un izlabotais nolasījums ir 1620 + 1 = 1621. Arī augstumu starpība šai stacijai līdz ar to jālabo par — 1, t. i., + 30 — 1 = + 29.

Izlabojumu pareizību pārbaudām šādi:

$$\Sigma s_a - \Sigma s_p = f_2 = 6522 - 6522 = 0;$$
$$\Sigma h_s = f_2 = 943 - 943 = 0.$$

Pēc nesaistes nosiešanas jāaprēķina punktu augstumu atzīmes. Tā kā reperu atzīmes nav dotas, tad mums brīvi jāizvēlas relativa virsa, pēc kuras visas aprēķināto punktu augstumu atzīmes būtu ar pozitivām zīmēm.

Pēc nolasījumu starpībām mēs redzam, ka zemes virsas kritumi nav lieli un nepārsniedz 1,0 m. Tāpēc pieņemsim, ka 1. *stacijā* akmenī pienivelētā repera augstuma atzīme ir 8220. Tad:

$$H_J = 8220 + 1779 = 9999;$$

P_1 atzīme $= H_J - n_{p1} = 9999 - 1235 = 8764;$

P_{s1} atzīme $= H_J - n_{ps\text{-}1} = 9999 - 1021 = 8978;$

1. atzīme $H_J - n_1 = 9999 - 1845 = 8154;$

2. atzīme $H_J - n_2 = 9999 - 1940 = 8059$ utt.

Tā kā nesaisti esam nosējuši piketu mietiņu nolasījumos, tad arī nākošo staciju instrumenta horizonta atzīmes aprēķināsim pēc piketu mietiņu izlabotiem nolasījumiem:

2. *stacijā* $H_{J2} = H_{Ps1} + n_{Ps1} = 8978 + 1530 = 10508;$

P_{s2} atzīme $= H_{J2} - n_{Ps2} = 10508 - 1912 = 8596;$

3. *stacijā:* $H_{J3} = H_{Ps2} + n_{Ps2} = 8596 + 1650 = 10246;$

P_{s3} atzīme $= H_{J3} - n_{Ps3} = 10246 - 1621 = 8625;$

4. *stacijā:* $H_{J4}\,H_{Ps3} + n_{Ps3} = 8625 + 1407 = 10032;$

Rep. P atzīme $= H_{J4} - n_{Rs} = 10032 - 1812 = 8220.$

Mēs redzam, ka aprēķināšanas gaita ir pareiza, jo dabūjam rezultatu — repera P augstumu atzīmi 8220, no kura uzsākām aprēķinu. Tā kā visās stacijās ir aprēķinātas instrumenta horizonta atzīmes, tad visu nivelēto punktu atzīmju aprēķināšana ir ļoti vienkārša.

Vispārināti : $H_J - n_p$, tas ir:
no instrumenta horizonta atzīmes jāatņem aprēķināmā punkta nolasījums no latas.

Piezīme. Punktu augstumu atzīmju un instrumenta horizonta atzīmju aprēķināšana ir vienkāršojama šādi (zinot, ka dotā punkta augstuma atzīme plus nolasījums uz šo punktu vienlīdzīgs instrumenta horizonta atzīmei; piemērs no nivelēšanas žurnala 274. lappuses):

$$
\begin{array}{rcr}
\text{rep. } P \text{ atzīme} & & 8220 \\
\text{nolasījums no latas} & + & 1779 \\
\hline
H_{J1} = & & 9999 \\
\text{nolasījums no latas} & - & 1021 \\
\hline
P_{s1} \text{ atzīme} & & 8978 \\
\text{nolasījums no latas} & + & 1530 \\
\hline
H_{J2} = & & 10508 \\
\text{nolasījums no latas} & - & 1912 \\
\hline
P_{s2} \text{ atzīme} & & 8596 \\
 & + & 1650 \\
\hline
H_{J3} = & & 10246 \\
 & - & 1621 \\
\hline
P_{s3} \text{ atzīme} & & 8625 \\
 & + & 1407 \\
\hline
H_{J4} = & & 10032 \\
 & - & 1812 \\
\hline
\text{rep. } P \text{ atzīme} & & 8220
\end{array}
$$

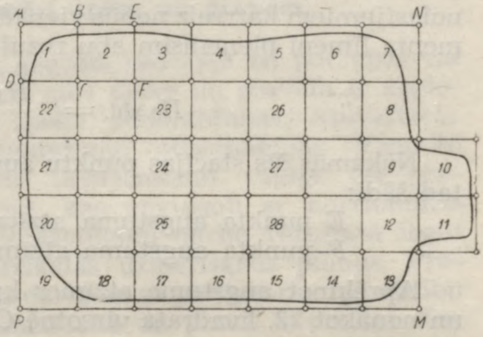
Instrumenta horizontu atzīmes var aprēķināt arī pēc katras stacijas augstumu starpībām, tikai tad mēs vispirms aprēķinātu saistošo punktu atzīmes un pēc tām, pieskaitot attiecīgos nolasījumus, dabūtu instrumenta horizontu atzīmes.

253. Kvadratu metode

Ja nivelējamā laukuma virsai nav skaidri izteikts reljefs vai arī laukums ir apaudzis ar krūmiem un reljefs nav pārskatāms, tad laukumu ir izdevīgi nivelēt pēc kvadratu metodes. Nivelējamo laukumu sadala kvadratos, kuru malu garumi, skatoties pēc uzstādītās prasības, tiek nosprausti no 20—100 m.

Reizē ar kvadratu iedalīšanu sastāda abrisu. Kvadratus apzīmē vai nu ar vienu numuru visam kvadratam, vai arī numurē katru kvadrata virsotni.

Nivelēšanu izdara šādi: kvadratu stūros iedzen piketu mietiņus. Ja laukums ir klajs, tad nostājas ar instrumentu pirmā kvadrata vidū, nonivelē visas pirmā kvadrata virsotnes (sk. 222. zīmējumu) *ABCD* un pieraksta žurnālā nolasījumus no latas pie attiecīgās virsotnes. Tad nostāda instrumentu 2. kvadrata vidū un atkal attiecīgos nolasījumus pieraksta žurnālā. Tādā pašā kārtībā turpina darbu pēc kārtas visos kvadratos: 3., 4., 5 ... līdz 22. kvadratam, pēc tam pāriet ar nivelieri 23. kvadrata vidū un darbu tāpat turpina 24. un 25. kvadratā. Pabeiguši darbu arī šeit, pārejam ar nivelieri 28. kvadratā, pēc tam 27. un 26. kvadratā.



222. *zīm.*

Kvadrata nivelēšanā dabūtos nolasījumus tūlīt kontrolē: no 1. kvadrata uz punktiem *B* un *C* nolasīto nolasījumu n_b^1 un n_c^1 starpībai jābūt nolasījumu noteiktības robežās, vienādai ar 2. kvadratā nolasīto n_b^2 un n_c^2 starpību, t. i.,

$$n_b^1 - n_c^1 = n_b^2 - n_c^2.$$

Tāpat kontroli izdara katrā kvadratā. Kad nivelēšanas darbi pabeigti visos kvadratos, tad aprēķina nonivelēto punktu augstumus. Ja punkta *A* augstums nav dots un tuvākā apkaimē nav neviena repera, tad punkta *A* augstuma atzīmi izvēlas brīvi ar tādu apsvērumu, lai visas platības punktu atzīmes būtu pozitivas un lai arī domātā projekta atzīmes būtu pozitivas. Piemēram, ja nivelētā platībā būtu paredzēts izstrādāt kanalizacijas projektu, tad projekta atzīmes būtu apmēram 8,0 m zemākas par zemes virsas atzīmēm.

Augstuma atzīmes jāaprēķina pēc vidējiem instrumenta līmeņiem (horizontiem). Piemēram, 2. kvadrata instrumenta līmeni dabūsim, ja aprēķinātam augstumam *B* pieskaitīsim 2. kvadratā nolasīto nolasījumu uz $B - n_b^2$, un to pašu līmeni dabūsim arī, ja augstumam C pieskaitīsim n_c^2 (nolasījumi jānolasa pie viena instrumenta augstuma).

Ja mēs apzīmēsim 2. kvadrata instrumenta līmeni ar H_J, punktu augstumu atzīmes ar H_B un H_C,

$$\text{tad } H_J = H_B + n_b^2 \text{ un arī } H_J = H_C + n_C^2.$$

Protams, ka nenovēršamo kļūdu ietekmē H_J pēc abiem nolasījumiem katrreiz nebūs vienāds un tādēļ par pareizo instrumenta līmeni pieņemsim abu rezultatu vidējo, t. i.,

$$H_{J\,\text{vid.}} = \frac{H_J + H_J}{2}.$$

Nākamās šīs stacijas punktu augstumu atzīmes aprēķināmas tad šādi:

E punkta augstuma atzīme: $E = H_{J\,\text{vid.}} - n_E$,
F punkta augstuma atzīme: $F = H_{J\,\text{vid.}} - n_F$.

Aprēķinot augstuma atzīmes kvadratu numeracijas kārtībā un nonākot 22. kvadrata virsotnē C vai D, mēs būsim izveidojuši nivelēšanas cilpu. Kā zinām, pēc nivelēšanas cilpas mēs varam aprēķināt nivelēšanas nesaisti. Ja uzstādītā punktu augstumu atzīmju aprēķināšanas noteiktība to prasa, tad jāizdara nesaistes nosiešana.

254. Nivelēšanas darbu pārtraukums

Gadījumos, kad nivelēšanas darbi jāpārtrauc, iekāms tie nav galīgi pabeigti, stingri jāievēro, ka no pēdējās instrumenta stāvvietas pienivelētā punkta darbus vajadzēs turpināt no šā punkta aprēķinātās augstuma atzīmes. Tāpēc ir svarīgi, lai nivelēšanas pārtraukuma laikā punkts būtu nodrošināts pret tā augstuma izmainīšanos. Lai tādu nodrošinājumu panāktu, tad katrā ziņā jāpienivelē kāds repers. Tas jādara arī vēl tāpēc, ka nivelēšanas darbu galvenais uzdevums ir noteikt visiem nivelētiem punktiem saskaņotas, nemainīgas augstuma atzīmes. Un, ja nu saistpunkti nebūtu bijuši pietiekami stabili vai arī tie būtu izzuduši (kā, piemēram, lietojot nivelēšanas zābakus, tos pārnes no viena punkta uz otru), tad viss nivelēšanas darbs būtu bijis veltīgs, jo mums nebūtu vairs droša saistpunkta, no kā nivelēšanas darbus varētu turpināt. Parastie koka piketa mietiņi darba turpināšanas vajadzībām der tikai tad, ja 1) tie ir pietiekami stabili iedzīti zemē un 2) ja ir droša pārliecība, ka darba pārtraukums nebūs ilglaicīgs un piketi pārtraukuma laikā netiks ne izvilkti, ne iedzīti zemē, un to augstumi nebūs mainījušies kaut kādu dabas faktoru ietekmē (piemēram, stiprs sals var mietiņus „izcilāt", mitruma ietekmē mietiņi var pagarināties utt.).

255. Nivelēšana pāri upēm un gravām

Nivelēšanu pāri upēm un gravām sauc vēl arī par upes vai gravas profilēšanu. Nivelēšana pāri upēm un gravām ir nepieciešama kuģniecības, ūdens spēka izmantošanas, kulturtechnikas un citu tamlīdzīgu jautājumu atrisināšanai. Visu šo jautājumu noskaidrošanai ir nepieciešami rūpīgi un precizi izdarīt nivelēšanas darbus, kas apvienoti ar horizontalās uzmērīšanas darbiem, t. i., nepieciešami darbu rezultatā iegūt precizus horizontalās un vertikalās uzmērīšanas plānus. Protams, ka, ja pirms nivelēšanas darbiem ar pietiekamu noteiktību ir jau veikta horizontalā uzmērīšana un plānā ir uzlikta visa situacija — upes krasti, tilti, ceļi, ēkas krastu tuvumā, dambji, hidrometriskie posteņi, spēkstacijas ar ierīcēm, reperi utt., tad nivelēšanas vajadzībām var izlietot šos plānus un horizontalā uzmērīšana nav jāizdara. Nivelējot upes, sevišķa uzmanība jāpievērš tekošā ūdens līmeņa nonivelēšanai, lai varētu noteikt ūdens līmeņa stāvokli dažādos upes posmos. Tā kā ūdens līmeņa augstums upēs mainās gandrīz ik stundu (un dažreiz pat vēl ātrāk), tad saprotams, ka ūdens līmeņa pienivelēšanai lielākā upes garuma posmā tikai tad būs nozīme, ja nivelēšana būs veikta vienā laikā. Tā kā tas praktiski nav iespējams, tad vienā laikā noteic tikai ūdens līmeņa stāvokli, bet nivelē pēc tam. To izdara noteikti vienā laika sprīdī, iedzenot mietiņus tā, lai to gali sakristu ar ūdens līmeni. Mietiņus sanumurē, pierakstot iesišanas datumu un pulksteņa stundu ar 5 minušu noteiktību. Pēc tam mietiņu galus pienivelē parastā kārtībā. Nivelējot upi, jāpienivelē arī visi tilti, to grīdas virsa un apakšējās sijas, hidrometrisko posteņu latu nulles punkti, reperi, krasti, spēkstaciju dambji, aizsprosti un to aizvari utt. Upes dibenu parasti tieši nenivelē, bet izmērī dibena dziļumu no pienivelētā līmeņa, un pēc tam izskaitļo upes dibena atzīmes. Lai upi varētu profilēt, tad mazākām, līdz 50 m platām upēm, pārvelk pāri no viena krasta uz otru dzelzs stiepli ar metru iedaļām, pēc kurām tad noteiktos intervalos izmērī ūdens dziļumus, t. i., nosaka upes dibena attālumu no ūdens līmeņa. Lielāko upju un ezeru profilēšanai dziļumu mērīšanas vietas nosaka ar iekrustojumu — laiva ar profilētājiem brauc noteiktā virzienā un ar teodolitu no iepriekš ierīkotas bazes noteic ar horizontalo leņķu palīdzību laivas atrašanās vietu katrā dziļuma mērījuma brīdī. Ļoti ērti un parocīgi ezeru un upju profilēšanas darbus veikt ziemā no ledus.

256. Profila pagatavošana

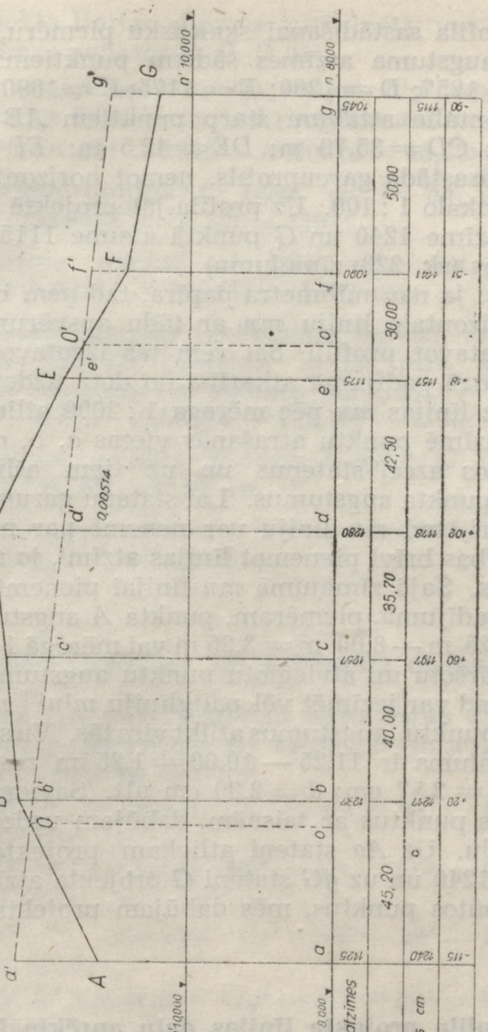
Kā mēs jau zinām, zemes virsas līnijas projekciju vertikalā plaknē, kas attēlota zināmā samazinātā mērogā (uz papīra), sauc par profilu. Ir divi profila veidi: 1) garenprofils un 2) šķērsprofils.

Garenprofila sastādīšanai parasti izvēlas divus dažāda lielumu mērogus: *vienu* izmērīto attālumu — garumu, uzlikšanai uz papīra, ko saīsināti mēdz saukt par garuma jeb horizontalo mērogu, un *otru* nivelēto punktu augstumu atzīmju — augstumu, atlikšanai, ko sauc par augstuma jeb vertikalo mērogu.

Garuma mērogs atkarībā no uzdevuma var būt 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000 u. c. Augstuma mērogu pieņem apmēram 10 reižu lielāku par garuma mērogu ar apsvērumu, lai zemes virsas reljefu spilgtāk izceltu. Skatoties pēc uzdevumu augstuma, mērogs mēdz būt 1 : 50; 1 : 100; 1 : 200; 1 : 500 u. c.

Šķērsprofila sastādīšanai dažreiz lieto tikai vienu mērogu kā horizontalo, tā vertíkalo lielumu atlikšanai, piemēram, upju, ceļu un citu zemes darbu kubaturas aprēķinu vajadzībām.

Parasti profilus sastāda uz milimetra papīra. Sastādot profilu uz šāda papīra, dažkārt var iztikt bez mēroga. Tādā gadījumā rīkojas šādi: uz nenoteikta garuma (milimetra papīra izvēlētas) līnijas noteic nivelēto punktu vietas, pēc izmērītiem attālumiem (garumiem), piemērojot milimetru rūtiņas dotajam garuma mērogam. No katra dabūtā punkta uzceļ stateni, un pēc dotā augstuma mēroga nosaka punktu vietas uz stateņiem. Savienojot uz stateņiem atliktos augstuma punktus, dabūsim zemes virsas profilu dotajos mērogos. Jāatzīmē tomēr, ka milimetra papīra iedaļas (rūtiņas) dažkārt mēdz būt ievērojami kļūdainos izmēros. Tāpēc izmantot milimetra papīra rūtiņas kā mēra vienības lielumu profila sastādīšanai var tikai tad, ja darba izpildīšanas noteiktība to atļauj.



m 1:10000
m 8.000
n' 10.000
n 8000
A
B
C
D
E
F
G
a'
b'
c'
d'
e'
f'
g'
O
O'
0,00514
a
b
c
d
e
f
g
Zemes virsmas atzīmes
1125
1237
1257
1280
1175
1080
1045
Attālumi metros
45,20
40,00
35,70
42,50
30,00
50,00
Projekta atzīmes cm
1240
1217
1197
1178
1157
1141
1115
Dziļums cm
-115
+20
+60
+102
+18
-90

223. zīm.

Ņemsim profila sastādīšanai skaitlisku piemēru, — izskaitļotas punktu augstuma atzīmes šādiem punktiem: $A = 1125$; $B = 1237$; $C = 1257$; $D = 1280$; $E = 1175$; $F = 1090$; $G = 1045$. Izmērīti horizontalie attālumi starp punktiem $AB = 45{,}20$ m; $BC = 40{,}00$ m; $CD = 35{,}70$ m; $DE = 42{,}5$ m; $EF = 30{,}$— m; $FG = 50$ m. Jāsastāda garenprofils, ņemot horizontalo mērogu 1 : 2000 un vertikalo 1 : 100. Uz profila jāieprojektē līnija, kurai A punktā ir atzīme 1240 un G punktā atzīme 1115. Augstumi doti centimetros (sk. 223. zīmējumu).

Darba gaita: ja nav milimetra papīra, tad ņem baltu papīru un uzvelk horizontalo līniju *mn* ar tādu apsvērumu, lai virs tās varētu izgatavot profilu, bet zem tās izgatavot tik daudz aiļu, cik tas katrā gadījumā atkarībā no dotā uzdevuma ir nepieciešams. Uz līnijas *mn* pēc mēroga 1 : 2000 atliek izmērītos garumus un atzīmē punktu atrašanās vietas *a, b, c, d, e, f* un *g;* šajos punktos uzceļ stateņus un uz tiem atliek mērogā 1 : 100 ikkatra punkta augstumus. Lai stateņu garumi neiznāktu nevajadzīgi gari, tad *mn* līniju var neņemt par nulles līniju, bet pēc vajadzības brīvi pieņemot līnijas atzīmi, jo ar to profila attēls nemainās. Šajā zīmējumā *mn* līnijai pieņemtā atzīme ir 8,00 m. Tādā gadījumā, piemēram, punkta *A* augstums virs *mn* līnijas būs: 11,25 m — 8,00 m = 3,25 m vai mērogā 1 : 100 — 3,25 cm. Lai vienkāršotu un atvieglotu punktu augstumu uzlikšanu uz stateņiem, tad var iezīmēt vēl palīglīniju $m^1n^1 \parallel mn$ ar atzīmi 10,000 m un punktu augstumus atlikt virs tās. Virs līnijas m^1n^1 *A* punkta augstums ir 11,25 — 10,00 = 1,25 m resp. 1,25 cm; $b = 2{,}37$ cm; $c = 2{,}57$ cm; $d = 2{,}80$ cm utt. Savienojot uz stateņiem uzliktos punktus ar taisnēm, dabūjam uzdotos mērogos sastādītu profilu. Uz *Aa* stateni atliekam projekta līnijas *A* punkta atzīmi 1240 un uz *gG* stateni *G* projekta atzīmi — 1115. Savienojot dabūtos punktus, mēs dabūjam projekta līnijas attēlu a^1g^1.

257. Profila projekta līnijas datu aprēķināšana

Līnijas slīpums. Mēs jau zinām, ka līnijas slīpums ir kritums uz viena garuma mēra vienību. Pēc 223. zīmējuma līnijas $a'g'$ slīpums $J = \frac{a^1a - g^1g}{ag} = \frac{1240 - 1115 \text{ cm}}{243{,}40 \text{ m}} = 0{,}00514 = 0{,}514\% = 5{,}14‰$. Projekta līnijas slīpumu (skaitlisko lielumu) ieraksta zem projekta līnijas.

Kad projekta līnijas slīpums aprēķināts, var sākt aprēķināt projekta atzīmes punktos *B*, *C*, *D* utt.

Pēc 223. zīmējuma projekta līnijas a^1g^1 aprēķinātais slīpums vienlīdzīgs 0,00514 un tad projekta atzīme punktā *B* būs:

$bb_1 = aa_1 - (J \times ab) = 1240 - (0{,}00514 \times 45{,}20) = 1217;$

projekta atzīme punktā *C* būs: $cc_1 = aa_1 - (J \times ac) = 1240 - (0{,}00514 \times 85{,}20) = 1197;$

projekta atzīme punktā *D* būs: $dd_1 = aa_1 - (J \times ad) = 1240 - (0{,}00514 \times 120{,}90) = 1178$ utt.

Vai augstuma atzīmes aprēķinātas pareizi, to var kontrolēt, ja aprēķinus sāk no projekta līnijas otra gala (gg^1) atzīmes, piemēram, projekta atzīmes punktā $D = dd_1 = gg^1 + (J \times dg) = 1115 + (0{,}00514 \times 122{,}50) = 1178;$

projekta atzīmes punktā $C = cc_1 = gg^1 + (J \times gc) = 1115 + (0{,}00514 \times 158{,}20) = 1197$ utt.

Aprēķinātās projekta līnijas atzīmes ierakstām attiecīgā ailē zem profila (sk. 223. zīmējumu).

258. Ierakuma vai uzbēruma dziļums

Ja projekta līnija a^1g^1 raksturo kādu zemes darbu augstuma līniju, tad ikreiz jāaprēķina pie katra piketa augstuma punkta uzbēruma vai ierakuma dziļumi.

Punktā *A* ir uzbērums $Aa^1 = aA - aa^1 = 1125 - 1240 = -115$ cm;

punktā *B* ir ierakums $Bb^1 = bB - bb^1 = 1237 - 1217 = +20$ cm;

punktā *C* ir ierakums $Cc^1 = cC - cc^1 = 1257 - 1197 = +60$ cm utt.;

punktā *G* ir uzbērums $Gg^1 = gG - gg^1 = 1045 - 1115 = -70$ cm.

Aprēķināšanas veidu var formulēt vārdos: ierakuma vai uzbēruma dziļums ir vienlīdzīgs zemes virsas atzīmei minus projekta atzīme, turklāt + zīme raksturo ierakumu, bet — zīme uzbērumu.

259. Nulles punkts

Projekta līnijas un zemes virsas līnijas krustošanās punktu sauc par nulles punktu. Nosaukums, domājams, cēlies no tā, ka šinī vietā nav ne uzbēruma, ne ierakuma. Aprēķināsim O nulles punkta atrašanās vietu un tā augstuma atzīmi (sk. 223. zīmējumu).

Līdzīgiem trijstūriem $\triangle Aa^1O$ un $\triangle Bb^1O$ augstumi attiecas tāpat kā pamati, un tāpēc mēs varam rakstīt, ka

$$\frac{ao}{ob} = \frac{a^1A}{b^1B};\ \text{izsakot } ob \text{ citādi: } \frac{ao}{ab - ao} = \frac{a^1A}{b^1B};$$

$$\text{ieliekot skaitļus: } \frac{ao}{45{,}20 - ao} = \frac{1{,}15}{0{,}20};$$

$$\text{atrašanās vieta: } ao \cong 38{,}50 \text{ m.}$$

Augstuma atzīme:

$$Oo = aa^1 - J \times ao = 1240 - (5{,}14^0/_{00} \times 38{,}50) = 1220.$$

XVII. MENSULAS UZBŪVE UN LIETOŠANA

260. Leņķu grafiskā uzmērīšana

Apskatot leņķu horizontalo projekciju matematiskos noteikumus, mēs redzējām, ka, ja virs leņķa virsotnes dabā būtu nostādīta horizontalā plakne, tad uz tās mēs viegli varētu grafiski projecēt šo leņķi, ja mēs iedomātos, ka caur leņķa malām iet vertikalās plaknes, kas šķeltu virs leņķa novietoto horizontalo plakni.

Leņķu grafiskā uzmērīšana tieši balstās uz iepriekš minēto apsvērumu, tikai leņķu malu garumus projecē uz horizontalās plaknes dažādos mērogos, sākot no pat 1 : 100 000 līdz 1 : 1000.

Grafiskai uzmērīšanai lietojamos instrumentus sauc par mensulām.

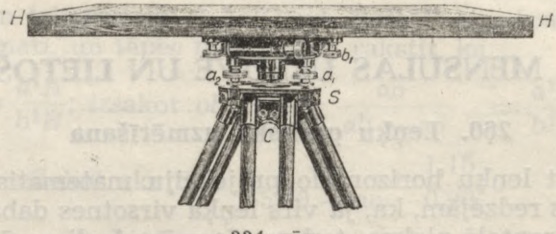
261. Mensula un tās sastāvdaļas

Mensulu mēs varam iedomāties kā vieglu, dabā ērti pārnesamu un stabili nostiprināmu galdiņu. Tās sastāvdaļas ir šādas:

HH — mensulas galds jeb planšete, b^1, b^2, b^3 — planšetes piestiprināmās skrūves, a^1, a^2, a^3 — instrumenta paceļamās skrūves, *S* — instrumenta statīvs, *C* — planšetes piestiprināmā skrūve zem statīva galvas.

Bez tam mensulas konstruktīvo ierīci, kas atrodas starp galdu (planšeti) un instrumenta statīva virsu, sauc par mensulas galvu.

Mensulas galdu var griezt ap vertikalo asi par pilnu aploci, turklāt planšeti var nostiprināt ar nostiprināmo skrūvi, bet pēc nostiprināšanas ar mikrometrisko skrūvi var izdarīt mikrometrisku (sīku) galda pagriezienu uz vienu vai otru pusi (ap vertikalo asi). Mensulas galdu jeb planšeti izgatavo no koka ar tādu apsvērumu, lai galda virsa nesašķiebtos, neplaisātu un neliektos. Galdam parasti ir kvadrata forma ar malu garumu no 40×40 cm līdz 60 × 60 cm; galda biezums ir no 25—30 mm. Pēdējā laikā galdus gatavo arī no dažādiem vieglmetaliem.



224. zīm.

Plāna sastādīšanai virs galda uzlīmē vai citādi piestiprina labu un izturīgu rasējamo papīru ar tādu apsvērumu, lai pēc darba izbeigšanas papīru varētu viegli noņemt. Pirms piestiprināšanas papīrs jāsamitrina un mitrs cieši jāpiestiprina galdam. Uzlīmēšanai parasti lieto sakultu olas baltumu. Papīrs žūstot saraujas un vienmērīgi stingri pārklāj mensulas galdu. Izturīgākais un labākais planšetes papīrs ir tāds, kas uzlīmēts uz plānas aluminija plātnes.

Lietošanai ir sastopami dažādi mensulu tipi, kuri viens no otra atšķiras lielāko tiesu ar balstu konstrukciju.

262. Mensulas pārbaude

Mensulai jāpilda šādas prasības: 1) Mensulai jābūt stabilai un atsperīgai. 2) Planšetes virsai jābūt plaknei. 3) Planšetes virsai jābūt stateniskai vertikalajai griešanas asij.

Pirmo pārbaudi izdara šādi: nostāda mensulu pēc acumēra horizontalā stāvoklī, nostiprina planšeti un uzliek uz tās kādu vizējamo ierīci, kuras vizuru uzvirza kādam punktam dabā. Vizējot uz punktu, nedaudz paspiež ar pirkstu planšetes stūri uz labo pusi un pēc tam pirkstu atņem. Ja vizuras līnija spiešanas brīdī novirzās no vizētā punkta, bet, spiešanu pārtraucot, tā atkal atvirzās atpakaļ uz vizēto punktu, tad planšete ir stabila un atsperīga. Šo pārbaudi atkārto, paspiežot planšetes stūri arī uz kreiso pusi. Ja prasība nav izpildīta, tad jāpārbauda tā instrumenta konstrukcijas daļa, kas vāji darbojas un, ja pats to nevar izlabot, jādod specialistam izlabošanai.

2) Planšetes virsai jābūt plaknei.

Pārbaude: pārbaudītu (taisnu) līneala šķautni pieliek dažādos virzienos planšetes virsai un vēro, vai virsa viscaur sakrīt ar līneala šķautni. Ja sakrīt, tad planšetes virsa ir pareiza, ja ne, tad tā ir vai nu sagriezusies, vai nelīdzena un tā jānodod attiecīgā darbnīcā izlabošanai.

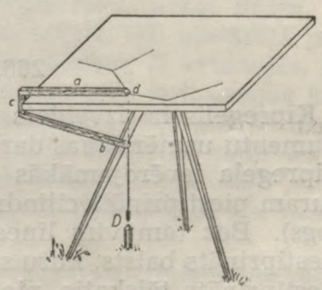
3) Planšetes virsai jābūt stateniskai vertikalajai griešan asij.

Pārbaude: nostādām planšetes virsu ar līmeņrāža palīdzību horizontalā stāvoklī. Pēc tam, nenoņemot līmeņrādi, griež lēnām planšeti ap vertikalo griešanas asi un vēro, vai burbulītis neiziet no vidus. Ja burbulītis visā griešanas laikā neiziet no vidus, tad prasība izpildīta.

Ja prasība nav izpildīta, tad jāapskata rūpīgi mensulas sastāvdaļas un ass, lai varētu nepareizās sastāvdaļas vai asi izlabot.

263. Mensulas piederumi

D a k š a. Dakšu lieto mensulas centrēšanai, tas ir, mensulas nostādīšanai tā, lai dotais punkts *d* uz planšetes atrastos vienā vertikalē ar to pašu punktu *D* dabā (sk. 225. zīmējumu). Pie dakšas virsējās daļas *a* horizontalā stāvokļa centrējamās dakšiņas smailei *d*, svērteņa piestiprinājuma punktam *b* un pašam svērtenim jāatrodas uz vienas vertikales. Pārbauda tā: uz horizontali nostādītās planšetes izvēlas kādu punktu *d* un projecē šo punktu ar dakšas palīdzību uz zemes virsas. Pēc tam dakšu pārliek par 180° (tā, lai dakšas *c* gals būtu planšetes labajā pusē) pie tā paša punkta *d* uz planšetes. Ja arī šajā stāvoklī dakša projecē *d* punktu punktā *D*, tad dakša ir pareiza. Ja ne, tad svērteņa piestiprināšanas vieta attiecīgi jāpārmaina.



225. zīm.

264. Busole

Planšetes orientēšanai pēc magnetiskā vai īstā meridiana lieto busoles. Mensulas darbiem lieto divējāda veida busoles: 1) Busoles ar graduēta loka iedaļām, pēc kurām var orientēt ne tikvien kā pašu planšeti, bet noteikt arī līniju virzienus — azimutus un rumbus un 2) orientējamās busoles, kam ir iegarenas kastītes forma. Orientējamai busolei gradu iedaļas ir tikai 10—15°. Planšetes orientēšanai šīs busoles dod lielāku noteiktību, jo tām ir samērā ar iepriekšējām busolēm daudz garāka magnetiskā šautriņa.

265. Vizējamā ierīce

Vizējamās ierīces jeb alidades mensulas darbos lieto kolimacijas plaknes veidošanai, tas ir, ar alidadi nosaka tādu vizuras līniju, kas vienā laikā sakrīt ar līniju dabā un uz planšetes. Vienkāršākā alidade sastāv no diviem dioptriem, kas piestiprināti līnealam, uz kura savukārt piestiprināts līmeņrādis. Ar līmeņrādi nostāda planšeti horizontalā stāvoklī.

Šādas vienkāršas alidades mensulas darbos vairs nelieto, jo, kā mēs jau zinām, dioptru trūkumu dēļ ar dioptru vizurām nav sasniedzami labi darba rezultati. Tādēļ tagad lieto alidades ar tālskatiem. Mensulas darbiem piemērotu alidadi ar tālskati sauc par *kipregeli.*

266. Kipregelis

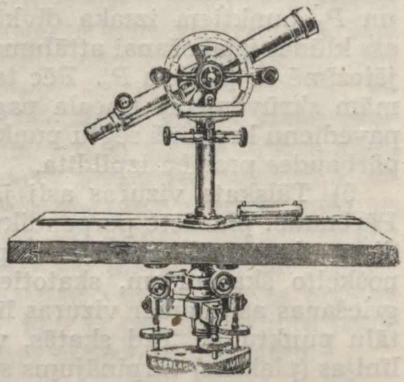
Kipregelis ir izveidots par ērtu un pilnvērtīgu alidades instrumentu uzmērīšanas darbiem ar mensulu (sk. 226. zīmējumu). Kipregeļa ievērojamākās sastāvdaļas ir šādas: metala līneals, kuram piestiprināts cilindriskais līmeņrādis (un dažreiz arī mērogs). Bez tam virs līneala ar 3 piestiprināmām skrūvēm ir piestiprināts balsts, kuru sauc arī par kolonu. Kolonas augšgalā piestiprināts tālskatis, pie tālskata griešanas ass. Tālskati var izgriezt caur zenitu. Tālskati var nostiprināt ar tālskata pieslēgskrūvi. Tālskata mikrometriskām pagāšanas kustībām ir ierīkota mikrometriska skrūve. Bez tam vertikalo leņķu mērīšanai kipregelim ir pierīkots pie tālskata griešanas ass vertikalais loks.

267. Kipregeļa pārbaudes

1) Kipregeļa līneala apakšējai virsai jābūt plaknei, bet līneala šķautnei jābūt taisnai. Pārbauda tāpat kā rasējamo līnealu.

2) Līmeņrāža asij jābūt paralelai līneala apakšējai plaknei. Pārbaude aplūkota nodaļā par līmeņrāža pārbaudi.

3) Tālskata vizuras asij jābūt perpendikularai pret tālskata griešanas asi. Pārbaudi izdara šādi: nostāda planšeti horizontali un nostiprina ar pieslēgskrūvi. Uz planšetes atzīmē kādu brīvi izvēlētu punktu M, pieliek šim punktam līneala nošķelto šķautni un vizē uz tālu, apmēram planšetes līmenī esošo punktu P. Tad caur punktu M gar līneala malu novelk ar zīmuli tievu līniju. Pēc tam izgriež tālskati caur zenitu, pagriež kipregeli par 180° un ļoti rūpīgi pieliek līneala nošķelto šķautni līnijai no otras puses tā, lai līneala mala sakristu ar iepriekš izvēlēto punktu M, un vizējam atkal uz to pašu punktu P. Kad tas izdarīts, novelk gar līneala malu atkal līniju. Ja abas caur punktu M novilktās līnijas sakrīt, tad uzstādītā prasība izpildīta. Ja abas izvilktās līnijas punktā M krustojas, tad līniju grafiski veidotais leņķis izsaka kipregeļa kolimacijas kļūdas divkārtēju lielumu. Kipregeļa labošanai jānovelk šā leņķa bisektrise. Uz bisektrises nostāda līneala nošķelto malu un ar tīkliņa izlabojamām skrūvēm uzvirza vizuras līniju dabā punktam P. Pēc tam pārbaudi atkārto, tas ir, pārliecinās, vai uzstādītā prasība izpildīta.



226. zīm.

4) Tālskata griešanas asij jābūt paralelai līneala apakšējai plaknei. Ja šī prasība nebūtu izpildīta, tad vizuras ass, griežoties ap horizontalo griešanas asi, neveidotu vis vertikalu plakni, bet slīpu plakni, un tātad vizuras būtu kļūdainas. Pārbaude: planšete jāpieslēdz un precizi jānostāda horizontalā stāvoklī. Tad jāatzīmē uz planšetes brīvi izvēlēts punkts M, jāpieliek tālskata līneala šķautne punktam M un jāvizē uz tuvu, augstu punktu P un tad, neizkustinot līnealu, projecē vizuras

līniju (pagriežot tālskati) uz leju (apm. 1,5 m no zemes) un dabā atzīmē vizuras līnijas punktu P_1. Pēc tam izgriež tālskati caur zenitu, pieliek līnealu planšetē iezīmētam punktam M un vizē atkal uz augsto punktu P. Pēc tam atkal, neizkustinot līnealu, nolaiž vizuras līniju (pagriežot tālskati) uz leju un vēro, vai vizuras līnija sakrīt ar iepriekš iezīmēto P_1, tas ir, vai pavedienu krustpunkts sakrīt ar punktu P_1. Ja vizuras ass nesakrīt ar P_1, bet iezīmē kādu citu punktu P_2, tad attālums starp P_1 un P_2 punktiem izsaka divkārtējo kļūdu. Tālskata griešanas ass kļūdas izlabošanai attālums P_1P_2 jādala uz pusēm, un šī vieta jāiezīmē ar punktu P_0. Pēc tam ar kipregeļa kolonas izlabojamām skrūvēm pie līneala pagāž kolonu uz vajadzīgo pusi, lai pavedienu krustiņš segtu punktu P_0. Pārbaude jāatkārto, kamēr pārbaudes prasība izpildīta.

5) Tālskata vizuras asij jāsakrīt ar līneala nošķelto malu. Pārbaude: planšetē perpendikulari tās virsējai plaknei iesprauž divas tievas adatas. Pie iespraustām adatām pieliek līneala nošķelto šķautni un, skatoties tālskatī, griež planšeti ap tās griešanas asi, kamēr vizuras līnija sedz kādu dabā noteiktu, attālu punktu P. Tad skatās, vai arī iesprausto adatu veidotās līnijas (plaknes) turpinājums sedz to pašu punktu P. Ja sedz — prasība izpildīta, bet ja punkts P atrodas pa labi vai pa kreisi no adatu veidotās virziena līnijas turpinājuma, tad līneala šķautne nav paralela vizuras plaknei. Šo kļūdu izlabo ar kolonas piestiprināmām skrūvēm pie līneala. Atgriež visas 3 skrūves un kolonu pagriež uz vajadzīgo pusi par kļūdas lielumu. Šai vajadzībai kolonu pēdā skrūves nav izlaistas kā parasti caur caurumiņiem skrūvju diametra izmēros, bet gan nelielos pagarinātos lokveida izgriezumos. Pēc izlabošanas un otrreizējas pārbaudes kolonu skrūves atkal rūpīgi piegriež. Ja mēs iedomātos, ka strādājam ar kipregeli, kuram tālskata vizuras ass nesakrīt ar līneala malu, tad visas grafiski attēlotās līnijas uz planšetes būtu kļūdas apmērā pagrieztas uz vienu un to pašu pusi un līniju savstarpējās attiecības un leņķi būtu patiesībā pareizi un brīvi no instrumenta kļūdas.

268. Kipregeļa vertikalais loks

Ja vertikalo leņķu mērīšanai kipregelim ir pierīkots vertikalais loks ar gradu iedaļām, tad jāpārbauda arī loka darbības pareizība. Parasti vertikalais loks piestiprināts nekustīgi tālskatim, un vertikalā loka gradu iedaļu numeracija sākas no divām diametrali pretējām pusēm, turklāt no nulles uz vienu pusi numeracija pieaug līdz 60°, bet uz otru pusi no 0 iedaļas samazinās no 360 līdz 300°. Vertikalam lokam jāpilda šādas prasības.

1) Ja vizuras ass ir horizontala, tad nolasījumiem uz vertikalā loka jābūt 0°0′. Pārbaudi izdara šādi: uzvirza tālskata pavedienu krustpunktu kaut kādam augstam, nekustīgam punktam P un ar līmeņrāža (kas piestiprināts nekustīgi alidadei) mikrometrisko skrūvi nostāda burbulīti noteikti vidū un šajā stāvoklī nolasa vertikalā loka gradu iedaļas. Piemēram, stāvoklī, kad loks tālskatim ir pa labi, nolasījums ir 7°28′, ko saīsināti raksta šādi: $LL = 7°28'$. Pēc tam izgriež tālskati caur zenitu, pagriež kipregeli par 180° un uzbīda tīkliņa krustu atkal punktam P. Tagad vertikalais loks atradīsies tālskatim pa kreisi — LK. Atkal tāpat līmeņrāža burbulīti nostāda vidū un nolasa uz vertikalā loka, piemēram, nolasījumu $LK = 352°38'$.

Ja mēs tagad pirmajam nolasījumam pieskaitītu 360° un no abiem nolasījumiem ņemtu aritmetisko vidējo, tad, ja prasība būtu izpildīta, vajadzētu būt 0°0′, bet, ja prasība nebūtu izpildīta, tad dabūtu skaitli, kas norādītu patieso nulles vietu.

Tātad nulles vieta ir

$$NV = \frac{LL + LK}{2} = \frac{7°28' + 352°38'}{2} = \frac{367°28' + 356°38'}{2} =$$
$$= 360°03' = 0°03'.$$

Ja mēs ņemtu abu nolasījumu pusstarpību, tad mēs dabūtu pareizo leņķi:

$$\alpha = \frac{LL - LK}{2} = \frac{7°28' - 352°38'}{2} = \frac{367°28' - 352°38'}{2} = 7°25'.$$

Pareizo leņķi varētu aprēķināt arī šādi:

$$\alpha = LL - NV = 7°28' - 0°03' = 7°25'$$
$$\text{vai } \alpha = NV - LK = 0°03' - 352°38' =$$
$$= 360°03' - 352°38' = 7°25'.$$

Mēs redzam, ka, ja prasība nav izpildīta, t. i., ja pie vertikalā loka 0°0′ nolasījuma vizuras ass nav horizontala, tad pareizo vertikalo leņķi tomēr var aprēķināt, ja iepriekš ir noteikta nulles vieta — NV.

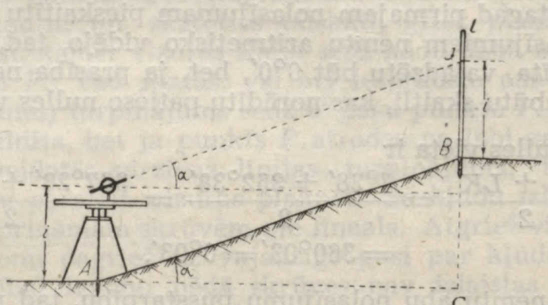
Lai katrreiz nebūtu leņķis jāizskaitļo, tad nulles vieta jāpievirza nullei. To var izdarīt, ja otrreizējā novizēšanā uz punktu P, neizkustinot tālskati, vertikalā loka alidadi ar alidades izlabojamo skrūvi piebīda nolasījumam $352°38' - 0°03' = 352°35'$.

Ieteicams nulles vietu noteikt katru dienu pirms darbu sākšanas.

Piezīme. Ja kipregeļa tālskatu izlieto kā tālmēru attālumu noteikšanai, tad pirms darbu uzsākšanas jānosaka tālmēra konstantie lielumi K un C.

269. Vertikalo leņķu mērīšana

Vienkāršākais vertikalo leņķu mērīšanas paņēmiens ar mensulu un kipregeli ir šāds: pieņemsim, ka mums ir jāizmērī līnijas AB slīpuma leņķis $BAC = \alpha$ (sk. 227. zīmējumu).



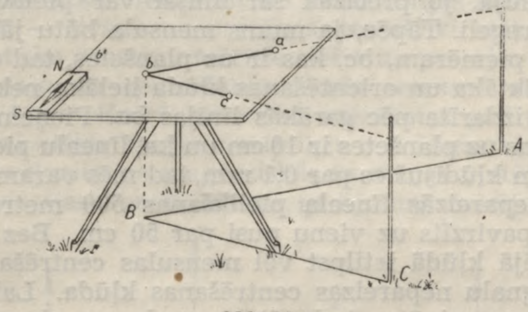
227. zīm.

Nostājamies ar mensulu vienā līnijas gala punktā, teiksim A. Nostādām planšeti horizontali un uzliekam uz tās kipregeli. Pēc tam izmērījam tālskata griešanas ass augstumu virs punkta A, t. i., izmērījam instrumenta augstumu i un atzīmējam to uz latas BL. Tad latas garums $BJ = i$. Nostādām latu punktā B un vizējam ar kipregeli uz latā iezīmētā instrumenta augstuma punktu J. Šādā tālskata stāvoklī nolasījums no vertikalā loka dos līnijas AB slīpuma leņķa α lielumu, kas izteikts grados. Kā izmērīt vertikalo (resp. slīpuma) leņķi, ja nevizē uz latā iezīmēto augstumu, bet brīvi izvēlētā augstumā, to apskatīsim nodaļā par nivelēšanu ar slīpo vizuru.

270. Mensulas orientēšana.

Planšetes nostādīšanu tā, lai visas uz planšetes uzzīmētās līnijas būtu paralelas to pašu līniju horizontalām projekcijām dabā, sauc par mensulas (planšetes) orientēšanu (sk. 228. zīmējumu).

Mensulu var orientēt divējādi: 1) ar mensulas busoli un 2) pēc uz planšetes dotiem punktiem un līnijām. Pēdējais orientēšanas paņēmiens dod lielāku noteiktību.



228. zīm.

1) *Orientēšana ar busoli pēc magnetiskā meridiana.* Ja uz planšetes nav dota neviena līnija, tad mensulu orientē pēc busoles. Busole jāuzliek uz planšetes tā, lai orientēšanas busoles viena mala sakristu ar planšetes vienu malu vai ievilktu līniju, kuru varētu pieņemt par meridianu (sk. 228. zīmējumu). Pēc tam planšeti lēnām griež ap vertikalo griešanas asi, kamēr busoles šautriņa brīvi nostājas ziemeļu-dienvidu virzienā.

2) *Orientēšana pēc dotiem punktiem un līnijām.* Orientēšanu pēc uz planšetes un dabā dotiem punktiem un līnijām izdara šādi. Pieņemsim, ka uz planšetes ir dota līnija *ba* un dabā tai atbilstošā līnija *BA*. Nostājamies ar mensulu punktā *B*, pēc acumēra nostādām planšeti horizontalā stāvoklī, piegriežam stingri stativa skrūves un nostādām pēc acumēra mensulu tā, lai līnijas *ba* virziens uz planšetes sakristu ar līniju *BA* dabā, un tanī pašā reizē, lai punkts *b* uz planšetes un tas pats punkts *B* dabā atrastos uz vienas vertikales. Pēc tam ar dakšas palīdzību, spiežot stativa kājas zemē, centrē punktu *b* virs *B* dabā; nostāda planšeti horizontali, pieliek vizējamo ierīci līnijai *ab* un, griežot planšeti vispirms ar roku un pēc tam ar mikrometrisko skrūvi, rūpīgi un precizi nostāda planšeti tā, lai vizuras

līnija sakristu ar punktu A, bet punkti b un B atrastos uz vienas vertikales. Kad tas būs panākts — mensula būs orientēta pēc līnijas BA.

271. Mensulas orientēšanas kļūda un orientēšanas līniju izvēle

Mensulas orientēšanas noteiktība pēc dotas līnijas ir lielā mērā atkarīga no līniju garumiem, kas uzlikti uz planšetes. Jo garāka ir līnija, jo precizāk šai līnijai var pielikt vizējamo ierīci — kipregeli. Tāpēc, ja mums mensula būtu jāorientē pēc īsās līnijas, piemēram, bc, kas ir uz planšetes, tad orientēšana būtu nenoteiktāka un orientēšanas kļūda lielāka nekā, ja orientēšana būtu izdarīta pēc garākās līnijas ba. Pieņemsim, ka bc līnijas garums uz planšetes ir 10 cm un ka, līnealu pieliekot līnijai, mēs esam kļūdījušies par 0,1 mm, tad mēs varam aprēķināt, ka no šīs nepareizās līneala pielikšanas 500 metru attālumā punkts būs pavirzīts uz vienu pusi par 50 cm. Bez tam orientēšanas kopējā kļūdā ietilpst vēl mensulas centrēšanas un novērojamo signalu nepareizas centrēšanas kļūda. Lai orientēšanas kļūdas samazinātu, tad: 1) mensula un signali jācentrē rūpīgi un precizi, 2) līnijas, kas der mensulas orientēšanai, jāturpina visā planšetē iespējamā garumā. Parasti līnijas nevelk vienlaidus pāri planšetei, bet atzīmē tikai līnijas turpinājuma atgriezni b' planšetes malā. Ja uz planšetes ir dotas divas līnijas ba un bc, tad orientēšanu izdara pēc garākās līnijas ba, bet orientēšanu pārbauda pēc otras līnijas bc.

272. Leņķu uzlikšana uz planšetes

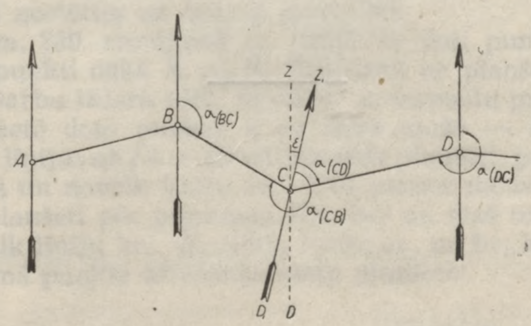
Pieņemsim, ka 228. zīmējumā planšetē nav dota neviena līnija, ne punkti un mums uz planšetes jāuzliek dabā esošais leņķis ABC. Tad nostādām mensulu virs leņķa virsotnes B, orientējam pēc magnetiskā meridiana un ar centrējamo dakšu projecējam punktu B uz planšetes b. Neizkustinot planšeti, uzmanīgi pieliekam kipregeļa līneala šķautni punktam b un vizējam uz leņķa vienas malas gala punktu A. Kad vizuras līnija sakrīt ar signalu un tanī pašā reizē līneala šķautne iet caur punktu b, tad novelkam gar līneala malu līniju ba. Pēc tam tāpat vizējam uz virsotni C un novelkam uz planšetes līniju bc. Uz planšetes dabūtais leņķis abc ir dabā esošā leņķa ABC horizontalā projekcija.

273. Leņķu uzlikšanas kļūda

Leņķu uzlikšanas kļūda ceļas no orientēšanas un arī zīmēšanas kļūdas. Rūpīgi strādājot, leņķu mērīšanā ar mensulu var sasniegt noteiktību $\pm 7'$.

274. Magnetiskās šautriņas novirzes noteikšana

Mēs zinām, ka vienas un tās pašas līnijas abos galos noteiktie azimuti — tiešais un pretējais, teorētiski atšķiras par 180°. Ar magnetisko šautriņu mērītie tiešie un pretējie azimuti tomēr instrumentalo un centrēšanas kļūdu ietekmē atšķiras vairāk nekā par 180°. Katrā atsevišķā mērīšanas gadījumā ir jānoskaidro, vai atšķirībai (deviacijai) ir mērīšanas kļūdas raksturs, vai arī tā cēlusies no magnetiskās šautriņas vietējās deviacijas. Tādēļ deviacijas konstatēšanas gadījumos mērījumi jāatkārto.



229. zīm.

Magnetiskās šautriņas deviacija var būt ne tikai vienā atsevišķā stacijā, bet tā var būt (arī visā uzmērījamā platībā) vairākās stacijās. Apskatīsim šautriņas deviaciju vienā stacijā.

229. zīmējumā virsotnē (stacijā) C meridians $Z'D'$ nav paralels citu staciju meridianiem par novirzes leņķi $ZCZ' = \varepsilon$. Ar atkārtotu mērījumu esam noskaidrojuši, ka novirze ε nav cēlusies instrumentalo un centrēšanas kļūdu dēļ un tā ir šautriņas magnetiskā novirze. Ka novirze ir tikai vienā stacijā, var spriest no tā, ka pārējās stacijās meridianu virzieni kļūdu robežās ir paraleli, bet stacijā C meridiana virziens novirzījies no paralelā virziena par ε. Malas BC pretējais azimuts $\alpha\ (CB)$ un

malas *CD* tiešais azimuts α *(CD)* atšķiras no to pašu malu tiešā un pretējā azimuta par šautriņas novirzes leņķi ε.

Ja magnetiskās šautriņas deviacija ir visā izmērījamā platībā, tad novērojama parādība, ka vairāku viens otram sekojošu līniju tiešie un pretējie azimuti jūtami atšķiras par mainīgiem lielumiem divās atsevišķās stacijās. Šautriņas novirzi un novirzes lielumu var pārbaudīt un noteikt pēc konstruētiem leņķiem.

275. Paralelu līniju novilkšana uz planšetes

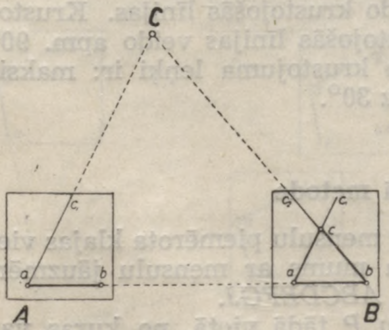
Paralelās līnijas novilkt uz planšetes var ar vienu vai otru koordinatu tīkla konstruēšanas paņēmienu. Ja iespējams dabūt Drobiševa līnealu, tad pēc koordinatu tīkla izgatavošanas apraksta ar Drobiševa līnealu paralelās līnijas var novilkt sevišķi ērti un ātri. Katrā ziņā darbs jāizpilda ar iespējamo precizitati, vienalga, pēc kāda paņēmiena darbu izdara.

XVIII. METODES PUNKTU NOTEIKŠANAI UZ PLANŠETES

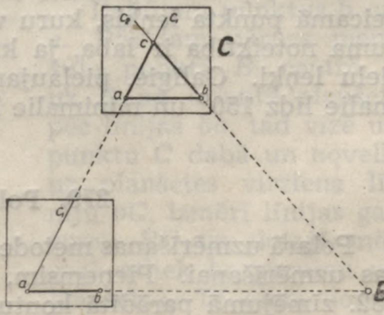
276. Tiešais krustojums

Lai ar tiešo krustojuma metodi varētu noteikt uz planšetes kāda dabā esošā punkta stāvokli attiecībā pret diviem jau uz planšetes dotiem punktiem, tad nepieciešams, lai ar mensulu varētu dabā nostāties uz dotiem punktiem.

Piemēram, 230. zīmējumā uz planšetes doti punkti *a* un *b* un tie paši punkti dabā *A* un *B*. Jānosaka uz planšetes trešais punkts *C*. Darbu izdara šādi: nostājas ar mensulu punktā *A* un centrē planšetē doto punktu *a* uz dabā esošo — *A*. Orientē planšeti pēc līnijas *ab* (*A* — *B*) un pieslēdz planšeti, pēc tam vizē uz punktu *A* un novelk līniju ac_1. Tad pārnes mensulu punktā *B*, orientē planšeti pēc punktiem *BA* (*ba*) un vizē uz punktu *C* un tad novelk līniju bc_2. Novilkto līniju ac_1 un bc_2 krustpunkts *c* ir noteicamā punkta atrašanās vieta planšetē.



230. zīm.



231. zīm.

Ja vienā no dotajiem punktiem ar mensulu nevar nostāties, tad punkta C noteikšanai jālieto pretējais krustojuma paņēmiens.

277. Pretējais krustojums

Uz planšetes un dabā doti punkti (sk. 231. zīmējumu) a un b resp. A un B. Uz punkta B nevar nostāties. Noteikt punkta C atrašanās vietu uz planšetes.

Nostāda mensulu punktā A un orientē pēc līnijas ab, tad vizē caur punktu a uz punktu C dabā un novelk līniju ac_1. Tad pārnes mensulu punktā C, nostāda planšeti horizontali, orientē planšeti pēc līnijas c_1a, vizē caur b uz punktu B dabā un novelkam līniju bc_2. Abu līniju ac_1 un bc_2 krustpunkts c ir meklējamais punkts.

Piezīme. Tā kā punktā C mensula nebija centrēta, tad c punkta vieta uz planšetes nav īsti precizi noteikta. Ar to samierināties var tikai tad, ja uzmērīšanas mērogs ir tik sīks, ka nepareizā centrēšanas kļūda nav jūtama. Turpretī rupjāka mēroga mensulēšanas darbos punkta c dabūtā atrašanās vieta uz planšetes noteikti jācentrē virs C dabā. Pēc tam atkārto darbību kā pirmo reizi un dabūjam jaunu krustpunktu uz planšetes, teiksim C_0, kas ir patiesā punkta C atrašanās vieta.

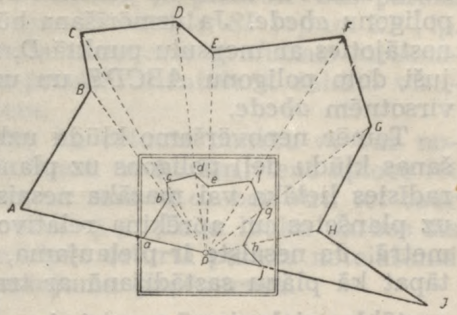
278. Krustojuma leņķis un tā galējais pieļaujamais lielums

Abu iepriekš apskatīto krustojumu noteiktību nosaka noteicamā punkta leņķis, kuru veido krustojošās līnijas. Krustojuma noteiktība ir laba, ja krustojošās līnijas veido apm. 90° lielu leņķi. Galīgie, pieļaujamie krustojuma leņķi ir: maksimalie līdz 150° un minimalie līdz 30°.

279. Polarā metode

Polarā uzmērīšanas metode ar mensulu piemērota klajas vietas uzmērīšanai. Pieņemsim, ka mums ar mensulu jāuzmērī 232. zīmējumā parādītā kontura $ABCDEFGJ$.

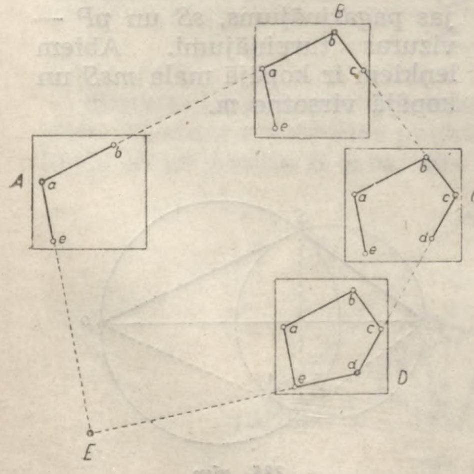
Vispirms izvēlas dabā punktu P tādā vietā, no kuras var pārredzēt visus konturas raksturīgākos punktus. Šajā punktā nostāda mensulu, orientē pēc busoles, nostiprina planšeti un projecē dabā esošo punktu P uz planšetes. Pēc tam, vizējot uz konturas raksturīgiem punktiem un attālumus nolasot ar tālmēru, atzīmē uz planšetes attiecīgām vizurām plāna sastādāmā mērogā līniju garumus. Savienojot atliktos punktus, dabūjam uz planšetes konturas attēlu *abcdefghj* dotajā mērogā.



232. *zīm.*

280. Gājiena metode

Mežus, krūmus un citādi aizsegtas vietas uzmērī ar mensulu pēc gājienu metodes. Ar šo paņēmienu uzmērī, noteicot katru nākošo punktu ar virzienu un attāluma izmērīšanu starp noteicamo punktu un instrumenta stāvvietu. Nostāda mensulu punktā *A* (sk. 233. zīmējumu), orientē planšeti ar busoli, centrē punktu *A* uz planšetes *a* un, vizējot caur punktu *a* uz dabā esošiem punktiem *B* un *E*, novelk virziena līnijas *aB* un *aE* un izmērī šo līniju garumus dabā, atliekot tos dotajā mērogā uz planšetes.



233. *zīm.*

Dabūjam punktus *b* un *e*. Pēc tam pārnes mensulu punktā *B*, centrē *b* uz *B* un orientē planšeti pēc līnijas *ba*, tad vizē uz punktu *C* dabā un novelk uz planšetes virziena līniju *bC*, izmērī līnijas garumu *BC* un dotajā mērogā atliek *bc* garumu uz planšetes. Tā esam noteikuši punkta *c* atrašanās vietu uz planšetes. Pēc tam, līdzīgi darbojoties, nostājamies ar mensulu punktos *C, D* un *E* un konstruējam visu poligonu *abcde.* Ja uzmērīšana būtu notikusi bez kļūdām, tad, nostājoties ar mensulu punktā *D,* mēs jau būtu pilnīgi uzmērījuši doto poligonu *ABCDE* un uzzīmējuši to uz planšetes ar virsotnēm *abcde.*

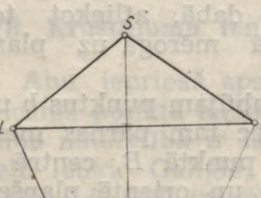
Tomēr nenovēršamo kļūdu uzkrāšanās dēļ (sevišķi orientēšanas kļūdu dēļ) poligons uz planšetes nekad nenoslēgsies, bet radīsies lielāka vai mazāka nesaiste. Nesaistes lielumu izmērī uz planšetes un aprēķina relativo nesaisti visā poligona perimetrā. Ja nesaiste ir pieļaujama, tad to nosien visā perimetrā tāpat kā plānu sastādīšanā ar transportieri. Labos mērīšanas apstākļos pieļaujamā nesaiste ir $\frac{1}{300}$, bet sliktos apstākļos $\frac{1}{100}$.

281. Potenota uzdevums

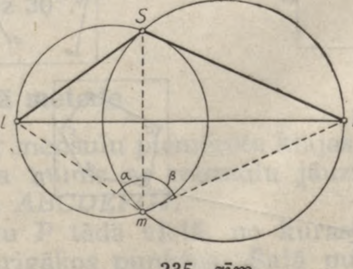
(Grafiskais atrisinājums)

Pēc trim dabā esošiem punktiem, kas precizi uzlikti uz planšetes, jānosaka planšetē ceturtais punkts, kurā novietota mensula un no kuras saredzami visi trīs punkti dabā.

Apskatīsim šā uzdevuma grafiskos atrisināšanas paņēmienus. Ja 234. zīmējumā dabā esošie punkti ir *L, S* un *P* un uz planšetes uzlikti tie paši punkti *l, s* un *p,* tad ceturtā punkta *m* stāvokli noteic leņķi α un β, kurus uz planšetes izveido šādas vizuras līnijas: *lL* — vizuras līnijas pagarinājums, *sS* un *pP* — vizuras turpinājumi. Abiem leņķiem ir kopējā mala *msS* un kopējā virsotne *m.*



234. zīm.



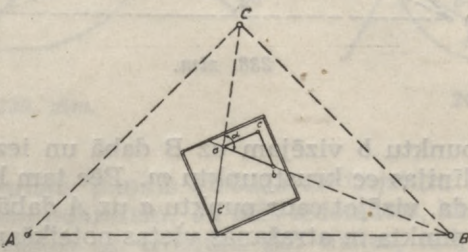
235. zīm.

Tāds stāvoklis varēs būt tikai tad, ja planšete būs pareizi orientēta un ja dabā esošās līnijas LS būs $\parallel ls$; $SP \parallel sp$ un $LP \parallel lp$. Mēs varam spriest, ka Potenota uzdevuma grafiskais atrisinājums pamatojas uz planšetes precizā orientēšanā dabūto vizuras līniju atpakaļkrustojumiem.

Pēc 235. zīmējuma redzam, ka ceturto punktu m var noteikt arī ar divu aploču krustošanos, no kurām viena aploce iet caur punktiem L, S, m un ietver sevī $\sphericalangle \alpha$, bet otra iet caur punktiem S, P, m un ietver sevī $\sphericalangle \beta$. Taču lauku darbos šis paņēmiens nav piemērots, un tāpēc ceturtā punkta noteikšanai uz planšetes lieto atpakaļkrustojumu paņēmienus.

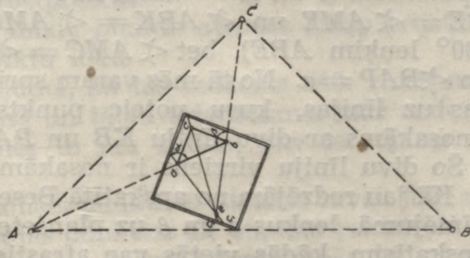
282. Besela paņēmiens

Pieņemsim, ka 236. zīmējumā A, B un C ir dotie punkti dabā un abc uz planšetes. Potenota uzdevuma atrisināšanu pēc Besela paņēmiena izdara šādi.



236. zīm.

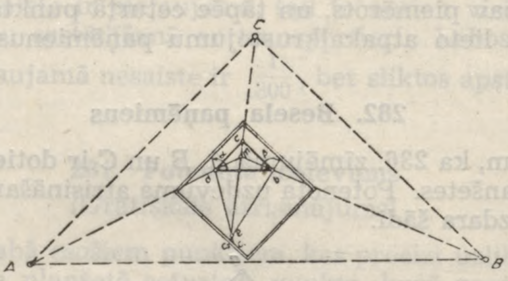
Nostājas ar mensulu noteicamā punktā M. Uz brīdi pieņemam, ka esam nostājušies punktā A. Tad orientējam planšetes līniju ab uz punktu B dabā. Pēc tam vizējam caur punktu a uz



237. zīm.

punktu C dabā un ar zīmuli novelkam vizuras līniju ac^1. Pēc tam pieņemam (sk. 237. zīmējumu), ka esam nostājušies punktā $Б$ un orientējam planšeti pēc ba līnijas uz punktu A dabā, tad vizējam caur punktu b uz C dabā un novelkam vizuras līniju bc^2 uz planšetes. Abu novilkto vizuras līniju krustošanās punkts e ir palīgpunkts.

Novelkam caur palīgpunktu e un punktu c taisni ec. Uz šīs taisnes jāatrodas noteicamam punktam m. Orientējam pēc ec līnijas planšeti uz punktu C dabā (sk. 238. zīmējumu).



238. zīm.

Tad caur punktu b vizējam uz B dabā un iezīmējam vizuras līnijas un līnijas ec krustpunktu m. Pēc tam krustpunktu m vēlreiz pārbauda, vizējot caur punktu a uz A dabā.

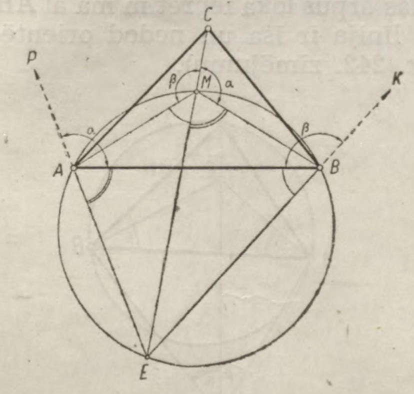
Noteicamā punkta m atrašanās vietas noteikšanas paņēmiens balstās uz šāda apsvēruma.

Pieņemsim, ka 239. zīmējumā dotie punkti ir A, B un C, bet noteicamais punkts ir M. Caur punktiem A, M, B novilksim aploci, bet caur punktu C un M taisni līdz krustošanās vietai ar aploci punktā E un caur punktiem E un B novilksim taisni EK, bet caur punktiem E un A — taisni EP.

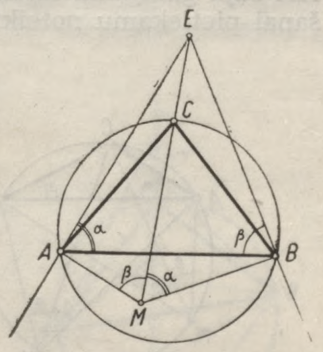
Tad $\sphericalangle ABE = \sphericalangle AME$ un $\sphericalangle ABK = \sphericalangle AMC$ (kā papildu leņķis līdz 180° leņķim ABE), bet $\sphericalangle AMC = \sphericalangle \beta$. Tāpat arī $\sphericalangle ABK = \beta$ un $\sphericalangle BAP = \alpha$. No tā mēs varam spriest, ka punkts E, kas atrodas uz līnijas, kuru noteic punkts M ar doto punktu C, ir nosakāms ar divu līniju KB un PA turpinājumu krustpunktu. Šo divu līniju virziens ir nosakāms, konstruējot leņķus β un α. Kā jau redzējām no apskatītā Besela paņēmiena, 235. un 236. zīmējumā, leņķus α un β uz planšetes konstruēt ir ļoti viegli. Apskatīsim, kādās vietās var atrasties noteicamais punkts attiecībā pret 3 dotajiem punktiem.

283. Noteicamā punkta dažādi stāvokļi

1) Noteicamais punkts atrodas ar doto punktu noteikta trijstūra iekšpusē. Šo gadījumu mēs tikko apskatījām, un, kā tas redzams 239. zīmējumā, orientējamā līnija *CE* konstruējas pietiekamā garumā, lai planšeti varētu labi orientēt un lai ar labu noteiktību varētu iekrustot nosakāmo punktu *M*.



239. zīm.



240. zīm.

2) Noteicamais punkts atrodas uz trijstūra malas, kas noteikts ar dotiem punktiem. Ja mēs iedomātos, ka 239. zīmējumā punkts *M* atrastos uz trijstūra *AB* malas, tad palīgpunkta *E* noteicējas (krustošanās) līnijas *EBK* un *EAP* faktiski nemaz nekrustotos, un tātad punktu *E* mēs nevarētu noteikt. Šajā gadījumā atliek planšeti orientēt pēc līnijas *AB*, un, vizējot caur punktu *c* uz punktu *C* dabā un novelkot vizuras līniju uz planšetes, dabūsim punktu *M*, kas atradīsies līnijas *AB* un vizuras līnijas krustpunktā.

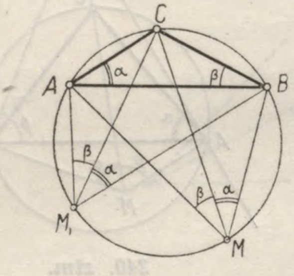
3) Noteicamais punkts atrodas starp trijstūra malu un ap trijstūri apvilkto loku.

Šajā gadījumā, kā tas redzams 240. zīmējumā, orientējamā līnija *EC* ir īsa un tātad orientēšanai maz noderīga, jo pēc īsās līnijas, kā mēs to jau zinām, nav iespējams planšeti precizi orientēt.

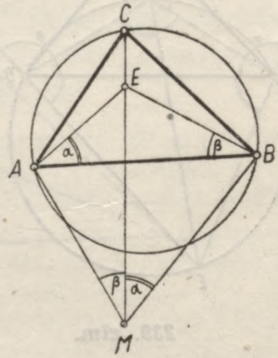
Jo noteicamais punkts *M* atrodas tuvāk lokam, jo arī punkts *E* vairāk tuvojas punktam *C*, un, kad punkts *M* atrodas uz loka, punkts *C* sakrīt ar *E*, bet orientējamās līnijas garums līdzinās nullei. Šis noteicamā punkta stāvoklis ir ceturtais punkta M stāvoklis.

4) Noteicamais punkts atrodas uz aploces, kas apvilkta ap trijstūri. No iepriekšējā iztirzājuma mēs jau zinām, ka šajā gadījumā nav iespējams konstruēt orientējamo līniju EC; no visiem uz loka esošiem punktiem (M, M' utt.) punkts c būs noteikts vienmēr ar vienādiem leņķiem α un β (sk. 241. zīmējumu).

5) Noteicamais punkts atrodas ārpus loka iepretim malai AB. Arī šajā gadījumā orientējamā līnija ir īsa un nedod orientēšanai pietiekamu noteiktību (sk. 242. zīmējumu).



241. zīm.



242. zīm.

6) Noteicamais punkts atrodas ārpus aploces iepretim dotajam punktam C starp BC un AC līniju turpinājumiem (sk. 243. zīmējumu). Šajā gadījumā orientējamā līnija EC ir pietiekami gara, un planšetes orientēšanu var izdarīt ar labu noteiktību.

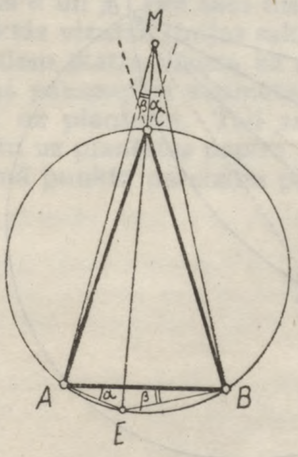
No apskatītiem noteicamā punkta atrašanās stāvokļiem attiecībā pret dotiem punktiem otrs gadījums atkrīt, jo tas būtībā neatbilst Potenota uzdevumam, bet 4. gadījums atkrīt tāpēc, ka šajā gadījumā noteicamā punkta stāvokli nav iespējams noteikt.

3. un 5. apskatītos gadījumos punkta stāvoklis ir gan atrisināms, bet ar vāju noteiktību. Noteicamo punktu visprecizāk var noteikt, ja tas atrodas 1. un 6. gadījumos iztirzātā stāvoklī. Tādēļ, lietojot Potenota uzdevuma atrisināšanai Besela paņēmienu, jācenšas punktus izvēlēties tā, lai noteicamais punkts atrastos vai nu 1. vai 6. iztirzājumā minētā stāvoklī.

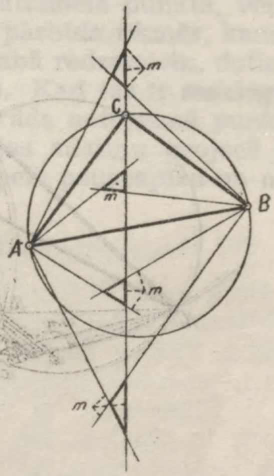
284. Lēmana paņēmiens.

Potenota uzdevuma apskatā mēs atzinām, ka, ja planšete ir labi un noteikti orientēta, tad vizūras līnijas, kas savieno uz planšetes dotos punktus *a*, *b* un *c* ar dabā esošiem attiecīgajiem punktiem *A*, *B* un *C*, krustojoties dod noteikti tikai vienu punktu *m* (sk. 234. zīmējumu).

Ja planšete būtu kļūdaini orientēta, tad visas trīs līnijas nekrustotos vienā punktā, bet sastādītu kļūdu trijstūrus (sk. 244. zīmējumu), un jo vājāk planšete būtu orientēta, jo lielāks rastos kļūdu trijstūris.



243. zīm.



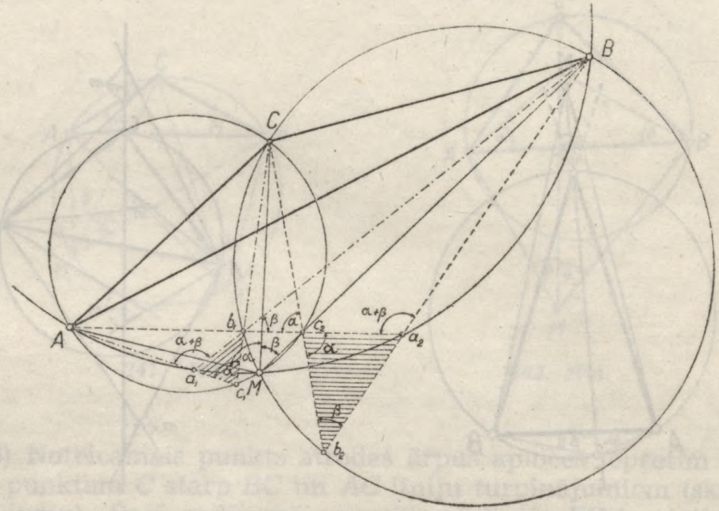
244. zīm.

Potenota uzdevuma atrisināšana ar Lēmana paņēmienu dibināta uz iepriekš minētiem kļūdu trijstūriem, kas cēlušies no nepareizas orientēšanas.

Pēc aptuvenas orientēšanas (piemēram, ar busoli) radīsies kļūdu trijstūris. Ar konstruēto kļūdu trijstūri nosaka pēc acumēra (aptuveni) noteicamā punkta vietu. No tādā veidā noteikta punkta orientēšanu atkārto no jauna, un arī šī darbība var dot jaunu, bet mazāku kļūdu trijstūri. Tagad noteicamā punkta vietu var iezīmēt jau daudz precizāk. Darbību atkal turpina, kamēr punkts *m* uz planšetes pareizi noteikts. Iestrādājies mērnieks punkta *m* vietu var noteikt pareizi jau pēc pirmā kļūdu trijstūra. 244. zīmējumā parādīta noteicamā punkta m atrašanās vieta attiecībā pret kļūdu trijstūriem atkarībā no tā, kādā stāvoklī atrodas noteicamais punkts m pret trijstūri ABC, kas noteikts ar dotiem punktiem un aploci ap šo trijstūri.

285. Bonenbergera paņēmiens

Arī šis Potenota uzdevuma atrisināšanas paņēmiens balstās uz kļūdu trijstūriem.



245. zīm.

Ja mēs apskatām 245. zīmējumu, tad redzam, ka, ja planšete būtu pareizi orientēta, tad punkts M atrastos uz trim aplocēm, tas ir, uz ACM, uz MCB un uz AMB aplocēm. Ja mensula būtu nepareizi orientēta — tā papriekš pabīdīta uz labo pusi un pēc tam uz kreiso pusi, tad radīsies divi kļūdu trijstūri, starp kuriem atradīsies noteicamais punkts M.

No 245. zīmējuma redzam, ka caur kļūdu trijstūru virsotnēm iet attiecīgās iepriekš minētās aploces, kuru krustpunktā atrodas punkts M. Piemēram, caur b_1 un b_2 iet viena aploce, caur a_1 un a_2 otra aploce un caur c_1 un c_2 trešā aploce. Pie nelieliem leņķiem minētās trīs trijstūru virsotņu savienotājas aploces var uzskatīt par taisnēm un pieņemt, ka noteicamais punkts M atrodas šo līniju c_1c_2, b_1b_2 un a_1a_2 krustpunktā. Šādi noteikta punkta M vieta jāpārbauda vēlreiz un, ja ieviesusies kļūda, tad atrašanās vieta jāizlabo.

286. Bolotova paņēmiens

Uz noteicamā punkta nostādītās mensulas planšetes uzklāj kalka papīru jeb pauspapīru un uz tā ar zīmuli atzīmē punktu. Caur šo un ar planšetē dotiem punktiem vizē uz visiem trim dabā dotiem punktiem un vizuras līnijas uzzīmē uz uzklātā papīra. Šīs vizuras līnijas, krustojoties atzīmētā punktā, veido leņķus α un β. Pēc tam uzklāto papīru pārbīda tikmēr, kamēr uzvilktās vizuras līnijas sakrīt ar trim dabā redzamiem, dotiem punktiem (katra vizura uz savu punktu). Kad tas ir sasniegts, tad uz pauspapīra atzīmētais punkts norāda noteicamā punkta vietu uz planšetes. Tad ar cirkuļa kājas adatiņu projecē šo punktu uz planšetes papīra. Pēc tam noņem pauspapīru un noteicamā punkta pareizību pārbauda.

XIX. NIVELĒŠANA AR SLĪPU VIZURU

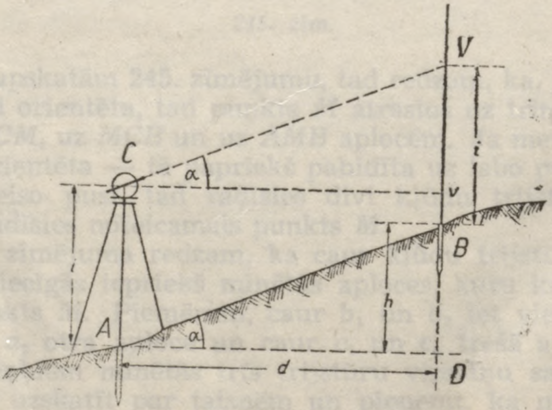
(TRIGONOMETRISKĀ NIVELĒŠANA)

Līmeniska virsa, absolūtie un relatīvie augstumi (altitudes), augstumu pārnešana un augstumu starpības jau apskatītas tehniskās nivelēšanas tematā.

287. Augstumu starpības noteikšana ar slīpām vizurām

Divu punktu A un B augstumu starpību var noteikt arī bez niveliera, lietojot instrumentus, ar kuriem var izmērīt slīpuma leņķus. Tādiem instrumentiem pieskaitāmi eklimetri jeb klizimetri, teodolits, kípregelis u. c.

1) Pieņemsim, ka ar vienu vai otru no šiem instrumentiem mums ir jānoteic 246. zīmējumā parādīto punktu A un B augstumu starpība h.

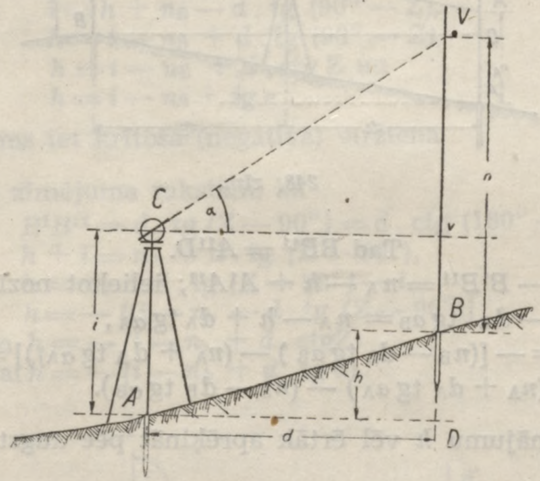


246. zīm.

Vienā punktā, piemēram, A nostāda instrumentu un otrā — B punktā latu. Uz latas iepriekš atzīmē instrumentu augstumu virs punkta A, t. i., $BV = AC = i$. Vizējot ar instrumentu uz atzīmēto latas augstumu, t. i., punktu V, vizuras līnijas CV un horizontalās līnijas Cv veidotais leņķis būs vienlīdzīgs $\sphericalangle BAD$. Ja horizontalo attālumu starp punktiem A un B apzīmēsim ar d, tad

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

2) Apskatīsim šajā pašā piemērā, kā noteikt augstumu starpību h, ja vizuras līnija nav vizēta uz latas instrumenta augstumā, bet kaut kādā punktā V (sk. 247. zīmējumu).



247. zīm.

Šajā gadījumā no latas ir jānolasa arī vizuras augstums n.

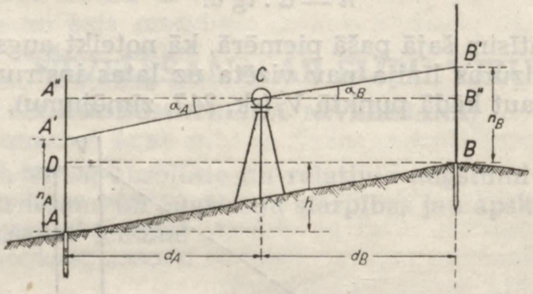
$$h = i - Bv = i - (BV - Vv) = i - (n - d \cdot \operatorname{tg} \alpha);$$
$$h = i + d \cdot \operatorname{tg} \alpha - n.$$

3) Kā noteikt to pašu punktu A un B augstumu starpību, ja instruments nostādīts starp abiem punktiem (sk. 248. zīmējumu).

Punktos A un B jānostāda latas. Vizē uz latām pēc brīvas izvēles izvēlētos punktos A^1 un B^1, nolasa vizuras punktu augstumu n_A un n_B un noteic slīpuma leņķus α_A un α_B. Izmērī vai arī trigonometriski aprēķina līmeniskos attālumus no instrumenta līdz punktiem A un B, t. i., d_A un d_B. Horizontalās līnijas, kas noteic instrumenta augstuma krustošanās vietas ar latām, apzīmēsim ar A^{11} un B^{11}.

$$\text{Tad } A^1A^{11} = d_A \cdot \operatorname{tg} \alpha_A;$$
$$B^1B^{11} = d_B \cdot \operatorname{tg} \alpha_B .$$

Iedomāsimies horizontalu līniju, kas no B punkta ir turpināta līdz A latas krustošanās vietai D.

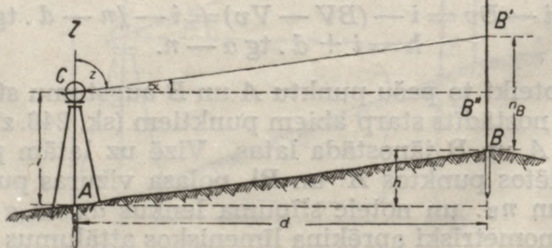


248. zīm.

$$\text{Tad } BB^{11} = A^{11}D.$$
$$n_B - B^1B^{11} = n_A - h + A^1A^{11}; \text{ ieliekot nozīmes:}$$
$$n_B - d_B \cdot \operatorname{tg} \alpha_B = n_A - h + d_A \operatorname{tg} \alpha_A ,$$
$$h = -[(n_B - d_B \operatorname{tg} \alpha_B) - (n_A + d_A \operatorname{tg} \alpha_A)] =$$
$$= (n_A + d_A \operatorname{tg} \alpha_A) - (n_B - d_B \operatorname{tg} \alpha_B).$$

Paaugstinājumu h vēl ērtāk aprēķināt pēc augstumu starpībām:

$$h = AA^{11} - BB^{11};$$
$$h = (n_A + d_A \operatorname{tg} \alpha_A) - (n_B - d_B \operatorname{tg} \alpha_B).$$



249. zīm.

Kā noteikt divu punktu augstumu starpību h, ja izmērīti zenitalie attālumi. Ja līnijas stāvokli noteic attiecībā pret vertikali, tad šo leņķi sauc par zenitalo attālumu jeb zenitdistanci; $Z = 90° - \alpha$ vai $\alpha = 90° - Z$ (sk. 249. zīmējumu).

a) Slīpums iet kāpjošā (pozitivā) virzienā.

249. zīmējumā i ir instrumenta augstums; n_B — nolasījums uz latas, kura nostādīta punktā B; $\sphericalangle Z = ZCB'$ — zenitalais leņķis; $\sphericalangle \alpha$ — vizuras slīpuma leņķis un d — līmeniskais attālums starp punktiem A un B.

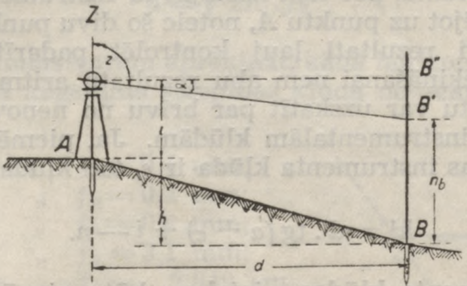
Pēc 249. zīmējuma varam rakstīt:

$$B^1B^{11} = d \cdot \mathrm{tg}\ (90° - Z),$$
$$i = h + n_B - d \cdot \mathrm{tg}\ (90° - Z),$$
$$h = i - n_B + d \cdot \mathrm{tg}\ (90° - Z),$$
$$h = i - n_B + d \cdot \mathrm{ctg}\ Z \text{ un}$$
$$h = i - n_B + \mathrm{tg}\ \alpha.$$

b) Slīpums iet krītošā (negativā) virzienā.

Pēc 250. zīmējuma rakstām, ka

$$B^1B^{11} = d \cdot \mathrm{tg}\ (Z - 90°) = d \cdot \mathrm{ctg}\ (180° - Z),$$
$$h + i = n_b + d \cdot \mathrm{tg}\ (Z - 90°),$$
$$h = n_b + d \cdot \mathrm{tg}\ (Z - 90°) - i,$$
$$h = -[(i - n_b - d \cdot \mathrm{tg}\ (Z - 90°)]$$
$$\text{un } h = -(i - n_b + d \cdot \mathrm{ctg} Z)$$
$$\text{vai } h = -(i - n_b + d \cdot \mathrm{tg}\ \alpha).$$



250. zīm.

No apskatītiem piemēriem redzam, ka lielums h ir pozitivs, ja zenitalais leņķis Z ir mazāks par 90° un negativs, kad $\sphericalangle Z > 90°$.

288. Trigonometriskās jeb ģeodeziskās nivelēšanas metodes

Pēc šīs nivelēšanas apskatītiem piemēriem un atrisinātām formulām mēs varam spriest, ka nivelēt var pēc tām pašām metodēm kā tiešā jeb ģeometriskā nivelēšanā. Jāpiezīmē, ka trigonometrisko nivelēšanu tikpat kā nekad neizdara vienīgi pēc gājiena metodes. Parasti trigonometriskā nivelēšana ir saistīta ar platību vertikalo uzmērīšanu, tātad tanī apvienoti gājiena un polarā metode (sk. 251. zīmējumu).

251. zīm.

Šajā darbā jācenšas iegūt saistošo punktu noteikšanas kontroli, piemēram, nostājoties ar instrumentu punktā *A*, noteic punkta *B* augstumu, pēc tam nostājas ar instrumentu punktā *B* un, vēlreiz vizējot uz punktu *A*, noteic šo divu punktu augstumu starpību. Divi rezultati ļauj kontrolēt padarīto darbu un augstumu aprēķināšanai ņem abu rezultatu aritmetisko vidējo. Vidējo rezultatu var uzskatīt par brīvu no nenovēršamām vai nepamanītām instrumentalām kļūdām. Ja, piemēram, slīpuma leņķa mērīšanas instrumenta kļūda ir ε, tad kļūdainā augstumu starpība

$$h^1 = d \,.\, \mathrm{tg}\,(a + \varepsilon) + i - n.$$

Lai instrumenta kļūdas ε ietekme būtu vienāda divos pretējos novērojumos, tad ir nepieciešams, lai $\sphericalangle a$ lielums abos novērojumos būtu vienādā lielumā, kas praktiski diezgan grūti panākams. Taču kļūdas kompensacija ir pietiekami laba, ja leņķis a abos novērojumos ir aptuveni vienāds.

289. Kad jāievēro zemes izliekums nivelēšanā

Mēs zinām, ka uz nelieliem attālumiem divu punktu augstumu starpības var aprēķināt pēc formulas $h = d \, . \, \mathrm{tg}\, \alpha$, kurā h ir augstumu starpība, d — horizontalais attālums starp diviem punktiem un α slīpuma leņķis. Lielos attālumos augstumu starpību aprēķināšanā jāņem vērā vēl arī zemes izliekums.

Pieņemsim, ka 252. zīmējumā līnija $\overline{A_1B_1}$ attēlo redzamo horizontu, bet $\overset{\smile}{AB}$ īsto horizontu jeb jūras līmeni. Ja mēs pieņemtu zemes virsu par plakni, tad uz attāluma $SB = d$ punktu A un B augstumu noteikšanā mēs kļūdītos par lielumu:

$$\overline{BB_1} = f_h = \overline{OB_1} - \overline{OB} = \frac{R}{\cos \alpha} - R =$$
$$= R \sec \alpha - R = R \; (\sec \alpha - 1).$$

Zemes radijs pieņemts $R = 6\,370\,000$ m. Centralais leņķis $AOB = 2\,\alpha$.

Tā kā $\sec \alpha = 1 + 1/2\, \alpha^2 + 5/24\, \alpha^4 + \ldots$ tad

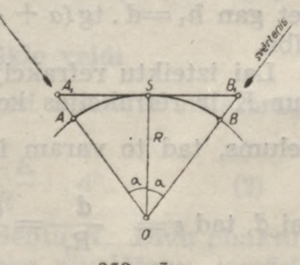
$$BB_1 = f_h = R\,(1/2 \alpha^2 + 5/24 \alpha^4 + \ldots).$$

Tā kā $5/24 \alpha^4 = 0{,}000\,000\,0126$, tad varam pieņemt, ka

$$f_h = \frac{d^2}{2R};$$
$$d = \sqrt{2R \, . \, f_h}\,.$$

Pēc šīs formulas varam aprēķināt, kādā horizontalā attālumā radīsies zināmā augstumā starpības kļūda no zemes izliekuma. Ja d būs:

līdz	35 m,	tad	$f_h <$	0,1 mm;
„	50 m	„	$f_h =$	0,2 mm;
„	100 m	„	$f_h =$	0,8 mm;
„	200 m	„	$f_h =$	3,1 mm;
	1 km	„	$f_h =$	7,849 cm;
	10 km	„	$f_h =$	7,849 m;
	20 km	„	$f_h =$	31,397 m;
	100 km	„	$f_h =$	784,772 m;
	3569,3 m	„	$f_h =$	1,000 m.



252. zīm.

290. Labojumi par zemes izliekumu

Mēs zinām, ka uz nelieliem attālumiem divu punktu augstumu starpības aprēķina pēc formulas

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha,$$

kur h — augstumu starpība, d — horizontalais attālums starp punktiem un α — slīpuma leņķis. Lielos attālumos, nosakot divu punktu augstumu starpību h, tanī ietilpst arī zemes izliekuma kļūda

$$\text{un } h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha + f_h;$$

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha + \frac{d^2}{2R}.$$

291. Labojumi par zemes izliekumu un refrakciju

Iztirzājot zemes izliekuma kļūdu, mēs pieņēmām, ka vizuras līnija ir taisna, horizontala līnija. Bet mēs zinām, ka gaisa slāņu dažāda blīvuma ietekmē gaismas stars izliecas. Ar attālināšanos no zemes virsas vizuras līnijas liecas uz leju. Tātad iepriekš atrisinātā formula $h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha + \frac{d^2}{2R}$ nav gluži pareiza, un mums jāieliek tanī vēl izlabojums, kas ceļas no zemes refrakcijas. Apskatīsim 253. zīmējumu, kurā ar L attēlota liektā vizuras līnija un ar AA_1 taisnā vizuras līnija, ar C zemes lodes centrs un ar h faktiskā augstumu starpība starp punktu A un B. Loks AD ir jūras līmenis. Līnija AB_1 — redzamais horizonts, B_1D — zemes virsas izliekuma kļūda. Tātad gaismas stars no punkta A neies vis pa taisni AA_1, bet gan lieksies pa loku ALB, kuru veidos radijs R_1, un punkts B nebūs redzams vis zem leņķa BAB_1, kas ir vienlīdzīgs α, bet gan $\sphericalangle A_1AB_1 = \alpha + \varepsilon/2$. Tad augstumu starpība netiks aprēķināta pēc formulas $h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha$, bet gan $h_1 = d \,.\, \mathrm{tg}\, (\alpha + \varepsilon/2)$, kur h_1 ir kļūdaina augstumu starpība.

Lai izteiktu refrakcijas lielumu, pieņemsim, ka $R = R_1 \,.\, K$, kur K ir refrakcijas koeficients. Tā kā leņķis ε ir ļoti mazs lielums, tad to varam izteikt ar $\frac{AB}{R_1}$; ja AB pielīdzināsim AD vai d, tad $\varepsilon = \frac{d}{R_1} = \frac{d \,.\, K}{R}$;

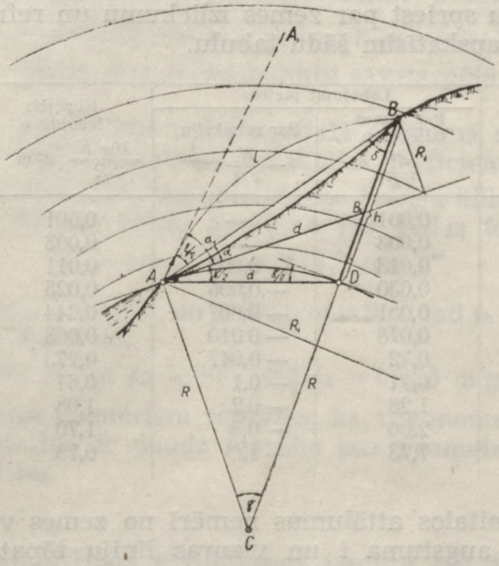
$$\frac{\varepsilon}{2} = \frac{d \,.\, K}{2R}.$$

Tagad varam rakstīt, ka

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\,(\alpha_1 - \varepsilon/2) + \frac{d^2}{2R} = d \,.\, \mathrm{tg}\left(\alpha_1 - \frac{d}{2R} \,.\, K\right) + \frac{d^2}{2R} \text{ jeb}$$

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha_1 - \frac{d^2}{2R} \cdot K + \frac{d^2}{2R} = d \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha_1 + \frac{1 - K}{2R} \cdot d^2 \ldots \qquad (1)$$

Šinī formulā izteiksme — $\frac{d^2}{2R} \cdot K$ ir izlabojums par refrakciju, bet visa formula dod izlabojumu par zemes izliekumu un refrakciju.



253. zīm.

292. Pilnās formulas atsevišķie veidi

Ja slīpuma leņķu mērījumos ir izmērīti zenitalie atstatumi, turklāt $Z = 90^\circ - \alpha$, tad

$$h = d \,.\, \mathrm{ctg}\,Z + \frac{1 - K}{2R} \,.\, d^2 \ldots \qquad (2)$$

Pēc šīs formulas var aprēķināt koeficientu K. Divu punktu augstumu starpību nosaka ar ģeometrisko nivelēšanu, izmērī attālumu d un, zinot zemes radiju R, izskaitļo K.

Dotajā gadījumā ir atrasts, ka $K = 0{,}14$. Tad formula pieņems šādu izteiksmi:

$$h = d \,.\, \mathrm{ctg}\, Z + \frac{0{,}43}{R} d^2 \ldots \qquad (3)$$

Tātad, lai šo formulu lietotu, ir jāzina koeficienta K lielums.

Ja līnijas slīpuma leņķi mērī abos galos, tad kļūda iznīcinās un

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha \frac{Z_1 - Z}{2} \ldots \qquad (4)$$

Lai varētu spriest par zemes izliekumu un refrakciju labojumiem, tad apskatīsim šādu tabulu.

Attālumi	Labojumi metros		Kopējais labojums	Refrakcijas leņķis
	Par zemes izliekumu $\frac{d^2}{2R}$	Par refrakciju $-\frac{K}{2R} . d^2$	$\frac{1-K}{2R} . d^2$ m	$\frac{\varepsilon}{2}$
100 m	0,001	—	0,001	—
200 „	0,003	—	0,003	—
400 „	0,013	—0,002	0,011	—
600 „	0,030	—0,005	0,025	1"
800 „	0,051	—0,007	0,044	2"
1 km	0,078	—0 010	0,068	2"
2 „	0,32	—0,047	0,273	4"
3 „	0,71	—0,1	0,61	6"
4 „	1,28	—0,2	1,08	8"
5 „	2,00	—0,3	1,70	11"
10 „	7,73	—1,0	6,73	21"

Tā kā zenitalos attālumus nemērī no zemes virsas, bet no instrumenta augstuma i un vizuras līniju tāpat nenoteic uz zemes virsas, bet uz signala augstuma V, tad (3) formula pieņems šādu izteiksmi:

$$h = d \,.\, \mathrm{ctg}\, Z + \frac{1 - K}{2R} . d^2 - v + i \text{ jeb}$$

$$h = d \,.\, \mathrm{ctg}\, Z + \frac{0{,}43}{R} . d^2 + i - v.$$

Attālumiem līdz 400 m un pie slīpuma leņķa α formula pieņems šādu izteiksmi:

$$h = d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha + i - v.$$

Bet (4) formula pārveidosies šādi:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \alpha \frac{Z_1 - Z}{2} + \frac{v - v_1}{2} + \frac{i - i_1}{2}.$$

Ja Z tuvojas 90°, tad

$$\pm h = d\,(90^\circ - Z)\sin . 1'' + \frac{1 - K}{2R} \cdot d^2 + i - v.$$

293. Trigonometriskās nivelēšanas noteiktība

Trigonometriskā nivelēšanā ietilpst 3 galvenās kļūdu grupas:

1) f_{hd} — kļūda, kas rodas punktu savstarpējā attāluma noteikšanā,

2) f_{hz} — kļūda, kas rodas zenitalā attāluma noteikšanā un

3) f_{hk} — kļūda, kas rodas refrakcijas koeficienta noteikšanā.

Tad augstumu starpību noteikšanas kopējā kļūda $f_h = f_{hd} + f_{hz} + f_{hk}$. Kopējo kļūdu aprēķina pēc šādas formulas:

$$f_h = \operatorname{ctg} Z \cdot f_d + d \cdot f_z'' \cdot \sin 1''.$$

Ja $d = 1$ km, $f_z = 30''$ un ja Z tuvojas 90°, tad $f_h = 0{,}144$ m + + 0,168 m = 0,312 m.

Ja $d = 100$ m un $f_z = 60''$, tad $f_h = 0{,}029$ m $\cong$ 0,03 m.

No dotajiem piemēriem redzams, ka trigonometriskās nivelēšanas noteiktība ir daudz mazāka par ģeometriskās nivelēšanas noteiktību.

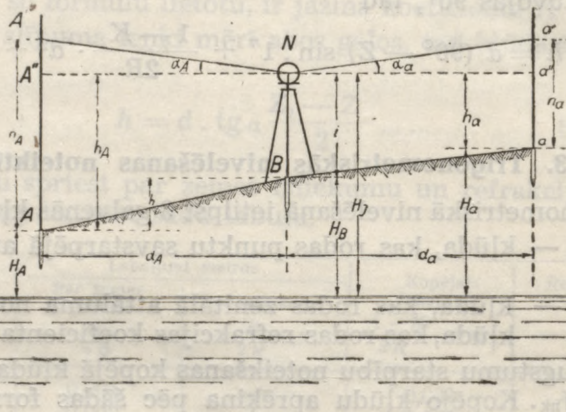
294. Trigonometriskās nivelēšanas punktu augstumu atzīmju aprēķināšanas veids

Uzmērīšanas sākumā vajag būt dotai viena punkta augstuma atzīmei. Ja tādas nav, tad pieņemam brīvi jebkura punkta atzīmi ar apsvērumu, lai visu noteicamo punktu atzīmes būtu pozitivas. Vienā vai otrā gadījumā šis punkts ar noteikto atzīmi ir darbības sākuma vai izejas punkts. Pieņemsim, ka 254. zīmējumā šis punkts ir A ar augstuma atzīmi H_A.

Vispirms noteic pēc turp un atpakaļpaņēmiena augstumu starpības starp punktiem A un B. Tad jānosaka instrumenta stāvvietas punkta B instrumenta N horizonts H_J, tas ir, instrumenta N horizontali nostādītās vizuras līnijas $A^{11}a^{11}$ atzīme.

Ja punktu A un B augstumu starpība ir noteikta, tad punkta B augstuma atzīme ir aprēķināma: $H_B = H_A + h$, bet punktā B nostādītā instrumenta horizontu viegli noteikt pēc formulas

$$H_J = H_B + i.$$



254. *zīm.*

Ja punkta B augstuma atzīme nav noteikta, tad, vizējot uz punkta A latu, instrumenta horizontu var noteikt šādi: 254. zīmējumā mēs redzam, ka instrumenta horizonts

$$H_J = H_A + h_A;$$
$$h_A = AA^1 - A^1A^{11} = n_A - d_A \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha_A;$$
$$H_J = H_A + n_A - d_A \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha_A.$$

Pēc vienādā vai otrādā veidā noteiktā instrumenta horizonta var aprēķināt citu punktu augstumu atzīmes. Piemēram, punktā a augstuma atzīme

$$H_a = H_J - h_a\ ;$$
$$H_a = H_J - (n_a - d_a\ \mathrm{tg}\, \alpha_a).$$

Tātad vajadzīgo punktu augstumu noteikšanai dotajā stacijā vispirms jānoteic instrumenta horizonts H_J un pēc tam ikkatra punkta augstuma starpība

$$h = n - d \,.\, \mathrm{tg}\, \alpha,$$

kas jāatņem no instrumenta horizonta.

XX. RELJEFA ATTĒLOŠANA UZ PLĀNA

295. Reljefa formas

Zemes virsas nelīdzenumu nosaukumos izšķir augstumus un dziļumus. *Augstumi* ir no jūras līmeņa uz augšu, turpretim no jūras, upju, ezeru un citu ūdens krātuvju līmeņiem uz leju ir *dziļumi.*

Ja zemes virsā virs vispārējās apkārtnes paceļas ievērojami zemes paaugstinājumi, tad tos sauc par *kalniem.* Kalniem mēdz būt šādas detaļas:

virsotne — kalna visaugstākā daļa — virsa;

nogāze — kalna sānu virsa no virsotnes līdz vispārējai zemes virsai;

pamatne jeb pakāje — zemes virsas lūzuma vieta, kurā sākas kalna nogāze.

Sevišķi stāvu nogāzi sauc par *krauju.* Ja nogāzē vai kraujā izveidojas horizontals vai nedaudz ieslīps laukums, tad to sauc par *terasi* jeb *kāpni.* Izstieptu kalnu sauc par *kalna grēdu.* Kalnu grēdas virsotnes sauc par *ūdens šķirtnēm,* — tās ir vietas, no kurām ūdens tek pa zemes virsu uz abām pretējām pusēm. Ar kalnu grēdu apjoztu vietu sauc par *ieleju.* Šauras ielejas sauc par *gravām.* Gravas var izveidoties ūdens eroziju ietekmē arī līdzenumos. Šauras ielejas klinšu vietās sauc par *aizām.* Zemes virsas laukumu starp ūdens šķirtnēm, no kura visi ūdeņi satek vienā zināmā vietā, sauc par dotās vietas *ūdens noteces baseinu.* Lielāku upju noteces baseini sastāv no atsevišķo, mazāko upju noteces baseinu kopsumas, piemēram, lielākai upei ir daudz mazu pieteku, kurām katrai ir savs noteces baseins, un ar katru jaunu pieteku lielās upes noteces baseins pieaug par pietekas baseina lielumu. Par *kalnu pārejām* sauc kalnu grēdas pārtraukumu, kas atgādina lielā mērogā seglus, tādēļ tos dažkārt sauc vēl arī par *segliem.*

296. Reljefa attēlošana ar horizontalēm jeb izohipsēm

Horizontales pazīstamas jau kopš 1729. gada, kad tās pirmo reizi lietotas Māsas upes gultnes attēlošanai. Zemes virsas reljefa attēlošanai horizontales pirmo reizi lietotas 1765. gadā Ženevā.

Horizontales ir zemes virsas vienādu augstumu punktu līnijas. Tās dod vispilnīgāko iespēju spriest par zemes virsas reljefa izveidojumiem.

Horizontaļu būtības vieglākai izprašanai iedomāsimies, ka 255. zīmējumā parādītā četrstūru piramida ir kalns, kas savā pamatnē $A_0B_0C_0D_0$ ir nošķelts ar horizontalu plakni. Ar tādām pašām horizontalām plaknēm piramida ir nošķelta vēl 3 reizes ik pēc 1 m vertikalā atstatumā.

Ja šķeļošās plaknes ir horizontalas, tad piramidu malu un horizontalo plakņu šķēluma līnijas arī būs horizontalas, tas ir, ikkatrs punkts, kas atradīsies uz vienas un tās pašas šķēluma līnijas, būs vienādā augstumā. Tātad punkti A_0, D_0, C_0 un B_0 atrodas vienādā augstumā; A_1, D_1, C_1 un B_1 atrodas savukārt vienādā augstumā, bet visi tie ir par metru augstāki nekā pirmie; nākošie punkti A_2, B_2, C_2, D_2 savukārt augstāki par iepriekšējiem utt.

Ja nu mēs šīs vienādā augstuma līnijas projecējam uz horizontalās plaknes Q, tad redzam, ka piramidas augstums un arī veids attēlojas ar horizontalēm, proti: 1) izskaitot horizontales, ir redzams, ka piramida bijusi augstāka par 3 metriem; 2) pēc horizontalēm vēl redzam, ka piramidai bijusi regulara četrstūra forma un 3) mēs redzam arī piramidas izmērus tās pamatnē, 1 m, 2 m un 3 m augstumā.

Protams, ka dabā reti kad būs sastopami kalni ģeometrisko figuru veidā, bet gan arvien visdažādākās formās, un tādēļ arī horizontales uz plāna projecēsies dažādi liektās līnijās. Ar to horizontaļu nozīme nebūt nemazinās, bet gan gluži otrādi — tā palielinās, jo horizontales ļoti bieži parāda ar acīm nemanāmas kalnu formas, ieplakas, noteces baseinus utt.

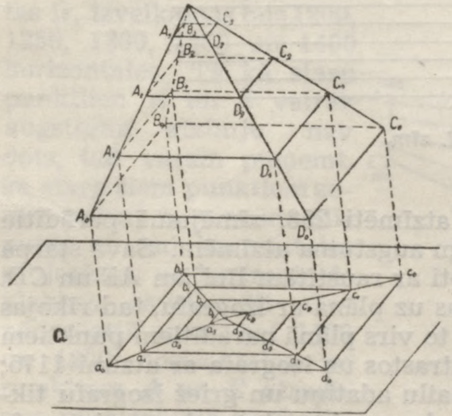
297. Horizontaļu atrašanās vietas aprēķināšana

Horizontaļu atrašanās vietas uz plāna parasti mēdz noteikt, tas ir, aprēķināt ik vesela metra augstumā, ik pa 0,5 m, ik pa 25 cm un ik pa 10 m, skatoties pēc: 1) zemes reljefa, 2) plāna mēroga un 3) uzdotās noteiktības prasībām.

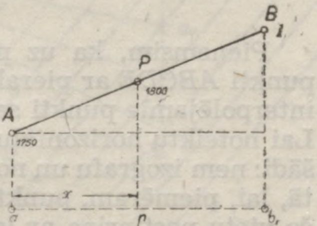
Pieņemsim, ka 256. zīmējumā punktu A un B vietas ir noteiktas uz plāna ar punktiem ab un to augstumu atzīmes ir $A = 17{,}50$ un $B = 18{,}50$; pieņemsim, ka A un B ir zemes virsas punkti. Jānosaka 18. horizontales atrašanās vieta uz plāna starp punktiem a un b. Iedomāsimies, ka punkts P ir 18,00 augstumā, t. i., ka caur punktu P iet 18. horizontale. No diviem līdzīgiem taisnstūriem mēs varam rakstīt, ka

$$\frac{x}{ab} = \frac{(18{,}00 - 17{,}50)}{(18{,}50 - 17{,}50)};$$

$$x = ab \cdot \frac{(18{,}00 - 17{,}50)}{(18{,}50 - 17{,}50)} = \frac{ab\,(18{,}00 - 17{,}50)}{(18{,}50 - 17{,}50)}.$$



255. *zīm.*



256. *zīm.*

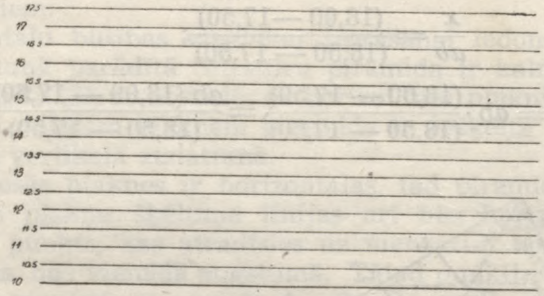
Vārdos to varētu izteikt šādi: horizontales attālums no zemākā punkta ir vienlīdzīgs attālumam starp dotiem punktiem uz plāna, kas dalīts ar punktu augstumu starpību un reizināts ar horizontales un zemākā punkta augstumu starpību.

Šis horizontaļu vietu noteikšanas paņēmiens ir nepraktisks, jo prasa daudz laika un to gandrīz nekad nelieto horizontaļu atrašanās vietu noteikšanai.

298. Horizontaļu izvilkšana grafiski

Horizontaļu noteikšanai visbiežāk lieto izografu. Izografu var izgatavot šādi: uz caurspīdīga papīra novelk vienādā atstatumā 10—15 savstarpēji paralelas līnijas (sk. 257. zīmējumu).

Līniju garumus var brīvi pieņemt 5—10 cm. Paralelo līniju galos pieraksta skaitļus, kas atbilst izvelkamo horizontaļu pakāpenībai, piemēram, ja horizontales izvelk ik pa 0,5 m, tad jāraksta, kā 257. zīmējumā parādīts, 10,0; 10,5; 10,0; 11,5 utt.



257. zīm.

Pieņemsim, ka uz plāna atzīmēti 258. zīmējumā parādītie punkti *ABCDE* ar pierakstītām augstuma atzīmēm. Savā starpā interpolējamie punkti savienoti ar raustītām līnijām *AE* un *CD*. Lai noteiktu horizontaļu vietas uz plāna ar izografu, tad rīkojas šādi: ņem izografu un novieto to virs plānā parādītiem punktiem tā, lai, piemēram, punkts *D* atrastos uz izografa ar atzīmi 1175; šo vietu nostiprina ar ļoti smailu adatiņu un griež izografu tikmēr, kamēr tas novietojas tā, ka punkts *C* atrodas uz izografa 1405 atzīmes. Tad, neļaujot izografam izkustēties, ar to pašu smailo adatiņu iedur plāna papīrā horizontaļu atrašanās vietās, kas atrodas izografa līniju un interpolējamo punktu savienojuma krustošanās vietās: 14,0; 13,5; 13,0; 12,5; 12,0.

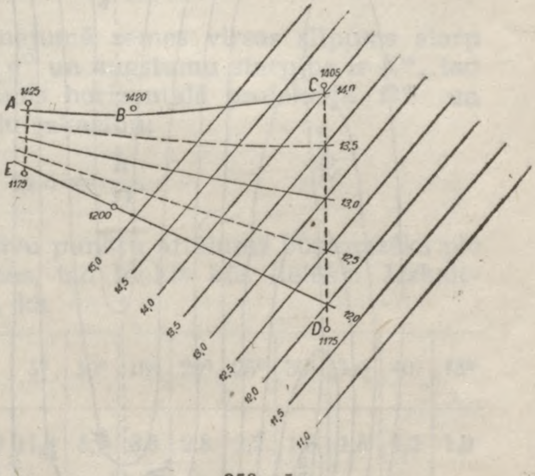
Gluži līdzīgi nosaka arī horizontaļu atrašanās vietas starp visiem citiem interpolējamiem punktiem, piemēram, *A* un *E*.

Kad horizontaļu atrašanās vietas ir noteiktas, var sākt to izvilkšanu. 258. zīmējumā mēs redzam, ka starp punktiem *A* un *C* atrodas *B* punkts ar atzīmi 1420, kas nosaka 14,00 horizontales vietu pie punkta *B* un norāda, ka tā pie punkta *B* izliecas un liektā līnija iziet caur *CD* interpolēto atzīmi 14,00.

12,00 horizontale turpretī izvelkama, savienojot interpolētos punktus (pie *E* un *D*) ar atzīmi 1200. Pārējās horizontales, vadoties pēc iepriekš izvilktām 14,00 un 12,00 horizontalēm, ir mazāk vai vairāk liektas līnijas.

299. Horizontaļu izvilkšana pēc acumēra

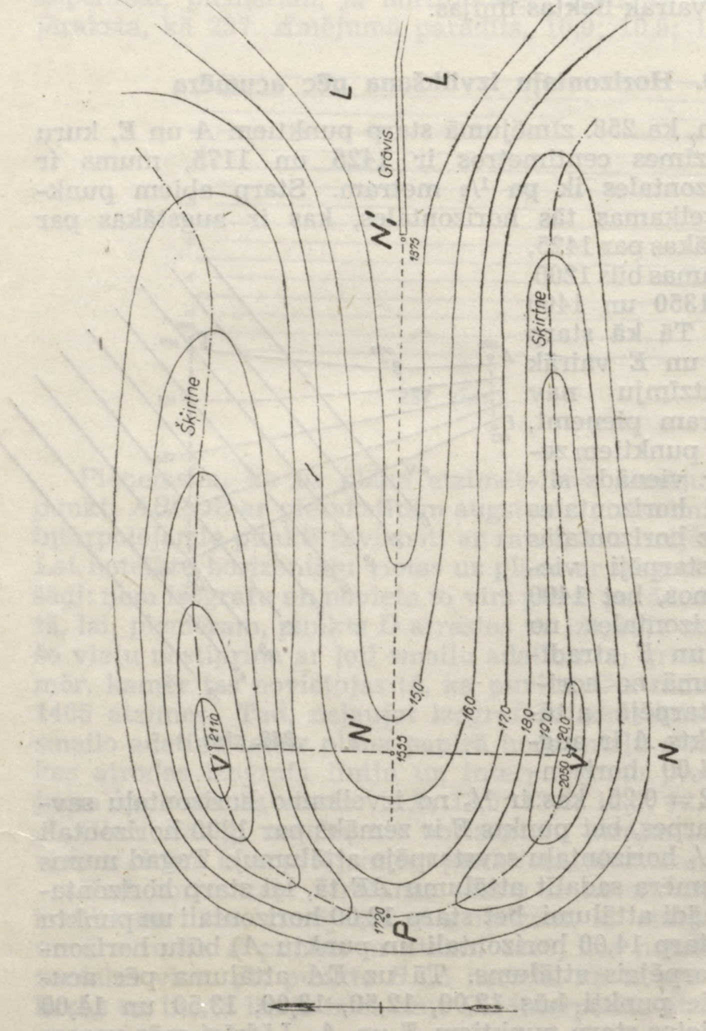
Pieņemsim, ka 258. zīmējumā starp punktiem *A* un *E*, kuru augstumu atzīmes centimetros ir 1425 un 1175, mums ir jāizvelk horizontales ik pa $\frac{1}{2}$ metram. Starp abiem punktiem būs izvelkamas tās horizontales, kas ir augstākas par 1175, bet zemākas par 1425, tas ir, izvelkamas būs 1200, 1250, 1300, 1350 un 1400 horizontales. Tā kā starp punktiem *A* un *E* vairāk augstumu atzīmju nav dots, tad varam pieņemt, ka starp šiem punktiem zemes virsai ir vienāds slīpums un tad horizontales projecēsies uz horizontalās plaknes savstarpēji vienādos attālumos, bet 1400 un 1200 horizontales no punktiem *A* un *E* atradīsies pusattālumā no horizontaļu savstarpējā attāluma (jo punkts *A* ir augstāks par 14,00 horizontali par $0,5 : 2 = 0,25$, kas ir $\frac{1}{2}$ no izvelkamo horizontaļu savstarpējās atstarpes, bet punkts *E* ir zemāks par 1200 horizontali par $0,5 : 2 = \frac{1}{2}$ horizontaļu savstarpējo attālumu). Tagad mums atliek pēc acumēra sadalīt attālumu *AE* tā, lai starp horizontalēm būtu vienādi attālumi, bet starp 12,00 horizontali un punktu *E* (tāpat arī starp 14,00 horizontali un punktu *A)* būtu horizontaļu $\frac{1}{2}$ savstarpējais attālums. Tā uz *EA* attāluma pēc acumēra iezīmētie punkti būs 12,00, 12,50, 13,00, 13,50 un 14,00 horizontaļu vietas starp punktiem *E* un *A*. Līdzīgi mēs varam noteikt horizontaļu vietas arī starp punktiem *C* un *D*. Savienojot attiecīgo horizontaļu atrašanās vietas savā starpā, mēs būsim izvilkuši arī attiecīgās horizontales.



258. zīm.

300. Reljefa attēls ar horizontalēm

Reljefa attēls ar horizontalēm parādīts 259. zīmējumā.

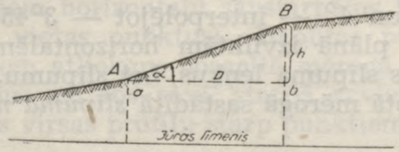


259. zīm.

VPV' = kalnu virsotnes,
—.—.— = ūdens šķirtne vai kalnu mugura,
— — — = ieleja vai ūdens teces līnija,
P = kalnu grēdas pārejas vieta — segli,
L un L' = līdzenums,
N' — N'₁ = kalnu pakājes,
VN' un V¹N¹ = kalnu nogāzes,
1720; 1555; 1375; 2110 un 2050 = zemes virsas atzīmes.

301. Slīpums un slīpuma mērogs

Kā jau iepriekš redzējām, pēc izvilktām horizontalēm iespējams spriest par plānā uzrādītās vietas reljefu, kas nepieciešams ne tikvien kā dažādām inženierbūvēm, bet arī augsti attīstītas lauksaimniecības vajadzībām.



260. zīm.

Pieņemsim, ka 260. zīmējumā zemes virsas slīpums starp punktiem A un B veido $\sphericalangle \alpha^\circ$ un augstumu starpība ir h^m, tad punktu savstarpējais attālums horizontalā projekcijā D^m un augstumu starpība dod šādu sakarību:

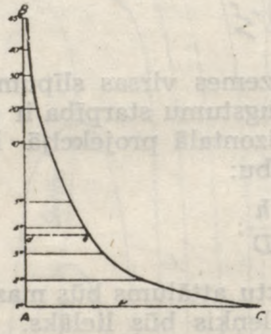
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{D}.$$

No tā redzams, ka, ja divu punktu attālums būs mazāks pie vienādas augstumu starpības, tad leņķis būs lielāks. Izskaitļojot šo sakarību, dabūsim, ka

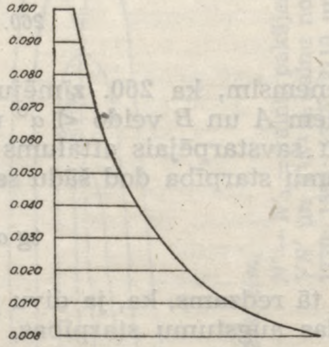
$\sphericalangle \alpha$ grados	1^0	2^0	3^0	4^0	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0	40^0	45^0
D	57,3	28,6	19,1	14,3	11,4	5,7	3,8	2,8	2,2	1,8	1,5	1,2	1,0

Zemes virsas slīpuma leņķu noteikšanu pie vienādām augstumu starpībām (resp. horizontaļu vertikaliem atstatumiem) un dažādiem līmeniskiem attālumiem var noteikt arī grafiski pēc slīpuma leņķu mēroga 261. zīmējumā.

Uz līnijas AB 261. zīmējumā atzīmē gradu iedaļas un perpendikulari AB līnijai atliek dotā mērogā iepriekš uzrādītajā tabulā esošos attālumus D pie katra attiecīgā slīpuma leņķa. Dabūtos punktus savieno ar liektu līniju BC. Pēc konstruētā slīpuma leņķa mēroga un uzrādītās tabulas redzams, ka pie vienādām augstumu starpībām h jo mazāki ir divu punktu resp. horizontaļu līmeniskie attālumi, jo lielāks ir zemes virsas slīpuma leņķis. Piemēram, ja pēc dotā mēroga divu punktu līmeniskais attālums ir *de* un tas novietojas kā parādīts 261. zīmējumā, tad var teikt, ka šo divu punktu savienojošās zemes virsas slīpums ir $3^{\circ}45'$ (jo attālums novietojas uz slīpuma mēroga starp 3° un 4° — interpolējot — $3^{\circ}45'$). Ja pēc dotā mēroga sastādītā plānā izvilktām horizontalēm vēlas noteikt nevis zemes virsas slīpuma leņķus, bet slīpumu, tad to grafiski var izdarīt pēc dotā mērogā sastādītā *slīpuma mēroga* (sk. 262. zīmējumu).



261. *zīm.*



262. *zīm.*

Zemes virsas slīpumi izskaitļoti un uzrādīti turpmākajā tabulā.

Ja horizontaļu vertikalie attālumi ir 1,0^{m}	2,0^{m}	5,0^{m}	Zemes virsas slīpums ir	Zemes virsas slīpuma leņķis α^{0}	ctg α
tad pie horizontaļu līmeniskā attāluma					
114,60	229,20	573,00	0,0087	0°30'	114,60
57,29	114,58	286,45	0,0175	1°00'	57,29
28,64	57,27	114,52	0,0349	2°00'	28,64
19,09	38,16	95,40	0,0524	3°00'	19,09
11,43	22,86	57,15	0,0875	5°00'	11,43
5,67	11,34	28,36	0,1763	10°00'	5,67

Pēc izskaitļotiem slīpumiem var dotā plāna mērogā izgatavot zemes virsas slīpuma mērogu, pēc kura var grafiski noteikt zemes virsas slīpumu starp horizontalēm.

Zemes virsas slīpuma mērogs ir konstruējams un arī lietojams līdzīgi slīpuma leņķu mērogam.

302. Profila sastādīšana pēc izvilktām horizontalēm

Pēc horizontalēm profilu var sastādīt šādi: pieņemsim, ka mums jāsastāda pēc 259. zīmējuma starp punktiem V^1N^1V profils. Lai to izdarītu, novelkam līniju V^1N^1V garumā un uz šīs līnijas atzīmējam horizontaļu savstarpējos līmeniskos attālumus (atrašanās vietas punktus). Dabūtos punktos uzceļam stateņus un uz tiem atliekam nosacītā mērogā attiecīgās horizontales augstumus un tos savā starpā savienojam. Dabūtā līnija attēlo zemes virsas profilu starp punktiem V^1N^1V.

303. Ūdens baseina noteikšana

Mēs jau redzējām, ka zemes virsas slīpuma leņķis α būs vislielāks tad, ja attālums starp horizontalēm būs vismazākais. Tātad vislielākai krituma līnijai ir jābūt stateniskai pret divām blakus esošām horizontalēm. Smaguma spēka ietekmē ūdens kustēsies pa zemes virsu lielākā krituma (resp. slīpuma) virzienā. Piemēram, 259. zīmējumā punktā P ūdens var virzīties gan austrumu, gan rietumu virzienā, bet punktos V un V^1 arī ziemeļu un dienvidu virzienā. Noteicot nepārtrauktā secībā vairākus šādus punktus un savienojot tos savā starpā, mēs dabūjam ūdens šķirtni, kura norāda to zemes virsas platību — baseinu, no kura ūdens tek uz vienu zemāku vietu.

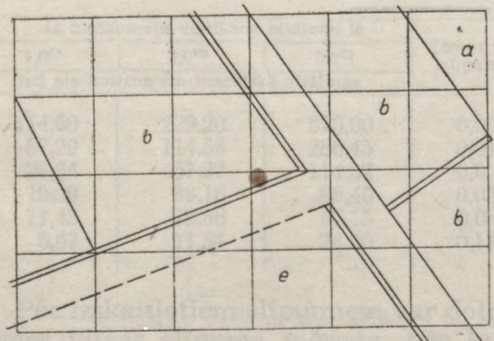
XXI. PLĀNU SAMAZINĀŠANA UN PALIELINĀŠANA

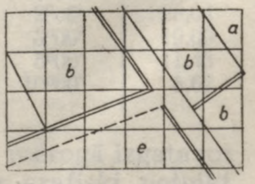
Dažādu techņisku darbu vajadzībām bieži vien ir nepieciešams zināmā mērogā sastādītos ģeodeziskos plānus vai nu palielināt vai samazināt.

Plānus palielina vai samazina grafiskā, mechaniskā un optiskā ceļā. Apskatīsim divus pirmos parastākos paņēmienus plānu palielināšanai vai samazināšanai.

304. Samazināšana un palielināšana pēc kvadratu metodes

Nelielu platību plānus samazina vai arī palielina ar kvadratu palīdzību. Šim nolūkam ļoti labi noder koordinatu tīkls. Koordinatu kvadratu tīkls jāsadala mazākos kvadratos, ja izrādās, ka koordinatu tīkls ir par lielu plānā uzzīmēto detaļu palielināšanai vai samazināšanai. Ja koordinatu tīkla nav, tad uz dotā plāna rūpīgi jākonstruē kvadratu tīkls dotā plāna mērogā.





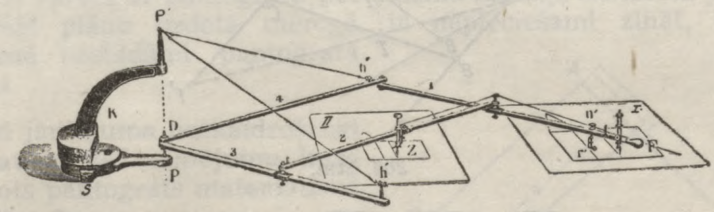
263. un 264. zīm.

No parādītiem zīmējumiem 263. un 264. bez paskaidrojumiem redzami vajadzīgie plāna sastādīšanas darba paņēmieni.

Ar šo plāna pārzīmēšanas metodi var sasniegt labu precizitati, un, ja darbā lieto proporcionalo cirkuli, tad ir iespējama arī laba darba ražība.

305. Pantografs

Pantografs ir aparats, ar kuru iespējams plānu samazināt vai arī palielināt citā mērogā mechaniskā ceļā. To izgudrojis 1603. gadā Kristofers Šeiners. Tas sastāv no četriem savā starpā sastiprinātiem metala stieņiem, uz kuriem ir milimetru iedalījumi ar nonijiem stieņu garumu nostādīšanai. Šo stieņu trīs smaguma punkti $h'Dh''$ piestiprināti diviem pola punktiem P un P^1, kas atrodas uz vienas vertikales un savā starpā nekustīgi piekonstruēti pārvietojamam balstam K.



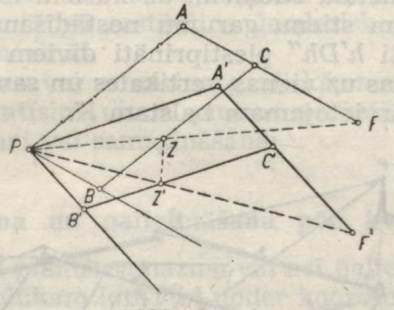
265. zīm.

Kā 265. zīmējumā redzams, stieņi ir h' un h'' punktos piestiprināti pie P^1 ar stieplītēm, kuru garumi pie stieņa ar attiecīgām skrūvītēm ir nedaudz maināmi. Apbīdāmās adatiņas F tuvumā stieņa atbalstam ierīkots ritenītis r', kas neļauj stieņa galam zem sava smaguma spēka liekties un piepūlēt apbīdāmo adatiņu F. Otra apbīdāmā-zīmētāja adatiņa Z savienota ar pirmo — F, adatiņu ar aukliņu, ar kuras palīdzību zīmētāju adatiņu var pacelt tad, ja tā jāpārvieto bez zīmēšanas no viena plāna punkta otrā. Virzoties pa I plānu ar adatiņu F, uz II plāna zīmētāja adatiņa Z uzzīmē pirmās adatiņas apbraukto figuru proporcionali samazinātā veidā, un arī otrādi — virzoties ar Z adatiņu pa II plānu, adatiņa Z zīmē proporcionali palielinātu apbrauktu figuru uz I plāna.

306. Pantografa teorija

Pantografa stienīšu paralelograms $PACB$ 266. zīmējumā savās virsotnēs var ar locīklu palīdzību griezties, pie kam virsotne P savu vietu uz plāksnes nemaina. Pieņemsim, ka punkts Z ir taišņu PF un BC krustpunkts un ka stienīšu veidotais paralelograms ir pavirzīts un pieņēmis jaunu stāvokli $PA^1C^1B^1$, kas noticis, pārvietojot stieņa galu F no punkta F uz F^1.

Paralelograma malu garumi, tāpat arī nogriežņu CF un CZ garumi bija nostiprināti un neizmainījās, un mēs varam rakstīt, ka



266. zīm.

I stāvoklī: $\dfrac{PB}{CF} = \dfrac{BZ}{ZC} = \dfrac{PZ}{ZF}$, jo $\triangle PBZ \backsim \triangle FCZ$ un

II stāvoklī: $\dfrac{PB^1}{C^1F^1} = \dfrac{B^1Z^1}{Z^1C^1}$,

tātad $\triangle PB^1Z^1 \backsim \triangle F^1C^1Z^1$ un tad $\sphericalangle PZ^1B^1 = \sphericalangle F^1Z^1C^1$, tas ir, punkti PZ^1F^1 atrodas uz vienas taisnes.

No to pašu trijstūru līdzības varam rakstīt, ka

$$\frac{PZ^1}{Z^1F^1} = \frac{B^1Z^1}{Z^1C^1} \text{ un } \frac{B^1Z^1}{Z^1C^1} = \frac{BZ}{ZC} = \frac{PZ}{ZF}$$

$$\text{un } \frac{PZ^1}{Z^1F^1} = \frac{PZ}{ZF}.$$

Tagad ir skaidrs, ka $\triangle PZZ^1$ un $\triangle PFF^1$ ir līdzīgi.

Pēc zīmējuma varam spriest, ka

$$\frac{PZ}{ZF} = \frac{AC}{CF} \text{ un } \frac{PZ^1}{Z^1F^1} = \frac{A^1C^1}{C^1F^1}.$$

Sastādot atvasinātas proporcijas

$$\frac{PZ + ZF}{PZ} = \frac{AC + CF}{AC} \text{ un } \frac{PZ^1 + Z^1F^1}{PZ^1} =$$

$$= \frac{A^1C^1 + C^1F^1}{A^1C^1} \text{ un } \frac{PF}{PZ} = \frac{AF}{AC} \text{ un } \frac{PF^1}{PZ^1} = \frac{A^1F^1}{A^1C^1}.$$

Tā kā $AF = A^1F^1$ un $AC = A^1C^1$, tad

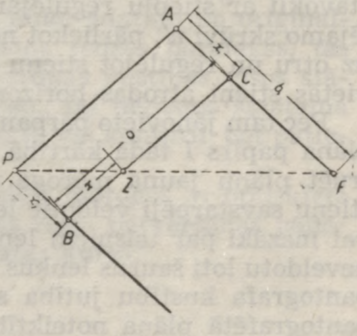
$$\frac{PF}{PZ} = \frac{PF^1}{PZ^1} = \frac{AF}{AC}.$$

Šī formula liecina, ka, ja stieņa gals F veido kādu figuru, tad stieņa punkts Z veidos līdzīgu figuru, turklāt šo figuru līdzības koeficients ir vienlīdzīgs attiecībai $\frac{AF}{AC}$.

307. Pantografa stieņu garumu aprēķināšana

Lai varētu ar pantografu pēc zināmā mērogā sastādītā plāna uzzīmēt plānu uzdotā mērogā, ir nepieciešami zināt, kādā garumā nostādāmi pantografa stieņi.

Šā jautājuma noskaidrošanai apskatīsim 267. zīmējumu, kurā attēlots pantografs matemātiskā skatījumā:



267. zīm.

ja $b = b^1$ un $x = x_1$,

tad $\frac{PZ}{PF} = \frac{x_1}{b^1} = \frac{x}{b}$.

Attiecība $\frac{x}{b}$ ir figuru līdzības koeficients.

Pēc uzrakstītās attiecības mēs varam aprēķināt vajadzīgā stieņa garumu.

Piemēram, pantografa stieņa garums $b = 840$ mm; plāns sastādīts mērogā 1 : 250; tas jāpārpantografē mērogā 1 : 1000. Tad $PZ = 250$ un $PF = 1000$

$$\text{un} \quad \frac{250}{1000} = \frac{x}{840};$$

$$x = \frac{250 \,.\, 840}{1000} = 210 \text{ mm.}$$

Tātad stieņu garumi x un x_1 jānostādą ar noniju palīdzību 210 mm garumā.

308. Pantografa lietošana

Pantografēšana jāizdara uz horizontala rasējamā galda. Pēc stieņu aprēķinātā garuma nostādīšanas un nostiprināšanas pantografs jānostāda horizontalā stāvoklī. Pola balstu nostāda horizontalā stāvoklī pēc līmeņrāža (kas dažiem pantografiem piestiprināts pola pamatam) ar šim nolūkam paredzētām regulējamām skrūvēm S. Pantografa stieņus nostāda horizontalā stāvoklī ar stiepļu regulējamām skrūvēm un atbalsta r' regulējamo skrūvi n', pārliekot neatkarīgo līmeņrādi no viena stieņa uz otru un regulējot stieņu augstumu, kamēr vienā laikā visās vietās stieņi atrodas horizontalā stāvoklī (sk. 265. zīmējumu).

Pēc tam jānovieto pārpantografējamais plāns II un sastādāmā plāna papīrs I tādā kārtībā, lai: 1) uz papīra I varētu uzkonstruēt plānu jaunā mērogā un 2) lai pantografējot pantografa stieņu savstarpēji veidotie leņķi būtu iespējami nedaudz lielāki vai mazāki par taisniem leņķiem resp., lai pantografējot stieņi neveidotu ļoti šaurus leņķus. Ja pēdējā prasība nav ievērota, tad pantografa kustību jutība samazinās un līdz ar to samazinās pantografētā plāna noteiktība.

Kad plānu papīru I un II stāvokļi saskaņoti ar uzstādītām prasībām, tos piestiprina rasējamam galdam un pārbauda pantografa darbības pareizību: pēc dotā plāna ar adatiņu Z ņem zināmus attālumus pēc oriģinalplāna II un atzīmē tos uz jaunā — plāna papīra I, ar pantografa adatiņu F. Ja pantografa darbība ir pareiza, tad vieniem un tiem pašiem attālumiem, kas ņemti no diviem plāniem, pēc plānu mērogiem jābūt savā starpā vienādiem. Varbūtējo attālumu starpība izteiks pantografa darbības kļūdu. Jāatzīmē, ka kļūda būs sevišķi jūtama tad, ja plāns tiks palielināts.

309. Pantografa pieļaujamā kļūda

Pantografa darbības pieļaujamās kļūdas maksimalā robeža aprēķināma pēc formulas:

$$f = 2\,(^1/_{20}\text{ mm} \times M) + (^1/_{20}\text{ mm} \times m).$$

M — mērogs, kādā plāns sastādīts, *m* — mērogs, kādā plāns jāpārpantografē, bet *f* — pieļaujamā kļūda mm.

Ņemsim piemēru: plāns sastādīts mērogā 1 : 5000. Tas jāpārpantografē mērogā 1 : 1000.

Pieļaujamā kļūda $f = 2\,(^1/_{20}\,\text{mm}\times 5000) + (^1/_{20}\,\text{mm}\times 1000) = 55$ cm. Tātad pēc abiem plāniem ņemtais viens un tas pats attālums drīkst atšķirties ne vairāk kā par 55 cm.

Kad pantografa darbība pārbaudīta, var sākt plānu pārpantografēt. Kā robežzīmju punktus, tā arī zemes gabala konturu — taišņu lūzumu punktus, ieteicams atzīmēt ar adatiņu, ļaujot tai iedurties papīrā, bet līkloču liektām konturām ļaut zīmēties ar adatiņas vietā iestiprinātu zīmuli.

Pantografējot uzmanīgi jāvēro, lai pantografa kustības būtu brīvas un vieglas un lai tās nekādā veidā nebūtu apgrūtinātas vai šķēršļotas. Tāpat jāuzmanās, lai, bīdot adatiņu pa oriģinalplānu konturām vai punktiem, nerastos redzes paralakss, tas ir, acs jānovieto tā, lai apbīdāmās adatiņas kustības visos stāvokļos būtu precizi kontrolējamas resp., lai nerastos šķietama redzes pārliecība, ka adatiņa sedz punktu vai konturu, bet patiesībā tā atrodas tiem blakus.

Visprecizāk plānus var pārvērst citos mērogos ar optiskiem instrumentiem. Šis plānu sastādīšanas resp. pārvēršanas paņēmiena iztirzājums neietilpst šīs grāmatas kursā.

Grieķu alfabets

Α, α = alfa	Ι, ι = jota	Ρ, ρ = ro
Β, β = beta	Κ, ϰ = kappa	Σ, σ, ς = sigma
Γ, γ = gamma	Λ, λ = lambda	Τ, τ = tau
Δ, δ = delta	Μ, μ = mī	Υ, υ = ipsilon
Ε, ε = epsilon	Ν, ν = nī	Φ, φ = fī
Ζ, ζ = dzeta	Ξ, ξ = ksī	Χ, χ = chi
Η, η = eta	Ο, ο = omikron	Ψ, ψ = psī
Θ, ϑ = teta	Π, π = pī	Ω, ω = omega

LIETOTĀ LITERATURA

Проф. Др. П. М. *Орлов* — „Курс геодезии", 1940 г. О Г. *Дитц*, А. Ф. *Лютц*, Н. В *Федотов* — „Курс геодезии", 1940 г. *Алексапольский* Н. М., *Головин* Н. А., *Красовский* Б. Н., *Чеботарев* А. С., *Ширяев* А. Н. — „Курс геодезии", выпуск первый, 1934 г. А. С. *Филоненко* — „Руководство по мензульным топографическим с'емкам крупных масштабов", 1931 г. Н. А. *Назаров* — „Геодезия", 1939 г. Проф. С. М. *Соловьев* — „Основной курс низшей геодезии", 1923 г.

SATURS

Kļūdu labojums

Lpp.	Rinda	Iespiests	Jābūt	Kas vainojams
32.	7. no augšas	avmenī	akmenī	Spiestuve
74.	7. „ „	šautriņas	šautriņa	„
77.	3. no apakšas	II kvandrantā	II kvadrantā	Korektors
85.	11. no augšas	busoles limbu	busoles limba	Autors
89.	2. „ „	93. Dioptru ekeri	92. Ekers	Spiestuve
109	1. „ „	uzņemot sarežģītas	uzņemt sarežģītas	„
111.	6. no apakšas	paliek trijstūri	pieliek trijstūri	„
112.	3. no augšas	pareizi	precizi	„
112	4. „ „	gan ar pusloku,	gan ar pusaploci,	Redakcija
158.	15. „ „	$^1/_2$ E	$^1/_2$ ε	Spiestuve
176.	1. no apakšas	$_n+1=a_n+180^0-\sphericalangle L$;	$a_n+1=a_n+180^0-\sphericalangle L$;	„
222.	6. no augšas	platība mērogā ir	platība ir mērogā	„
270.	3. „ „	atzīmes ar H^{sp}	atzīmes ar H_{sp}	„
289.	10. „ „	griešan asij.	griešanas asij.	„

J. Vilnis — Zemākā ģeodezija

Redaktors P. P ē t e r s o n s.
Techn. redaktors V. S i l i ņ š.
Vāku zīmējis V. K a l n r o z e.
Izdevn. korektore S. Z v a n ī t ā j a.
Tipogr. korektore E. P r i e d ī t e.

JT 01123.
Nodota salikšanai 1947. gada 16. julijā.
Parakstīta iespiešanai 1948. gada 6. februarī.
Papīra formats 61×86 cm. Metiens 3000 eks.
Iespiedlokšņu skaits 21,5. Izdevniecības lokšņu skaits 22,12.
Burtu skaits iespiedloksnē 41616.
Izdevn. pasūt. nr. 823. Tipogr. pasūt. nr. 4739.
Iespiesta Latvijas Poligrafijas tresta 3. tipografijā,
Rīgā, Brīvības ielā 129/133.

Maksā 12 rbļ.

Redaktors P. Pētersons.
Tehn. redaktors V. Siliņš.
[illegible] [illegible]
[illegible] [illegible]
[illegible] [illegible]

[illegible]
Nodota salikšanai [illegible] gada [illegible] jūlijā.
Parakstīta iespiešanai [illegible] gada 6. februārī.
Papīra formāts [illegible] cm. Metiens 3000 eks.
[illegible]
[illegible]
[illegible] pasūt. nr. [illegible]
[illegible] Poligrāfiskās [illegible]
Rīgā, [illegible]

Maksā 12 rbl.

MAKSĀ 12 RBĻ.