10 senti

THEODOR USSISOO

# GEOMEETRILINE JOONESTAMINE

THEODOR USSISOO

# GEOMEETRILINE JOONESTAMINE

KOLMAS TRÜKK

RIIGI TÖÖSTUSKOOLI VÄLJAANNE

RIIGI TRÜKIKOJA TRÜKK — TALLINNAS.

# Saateks.

*Käesoleva „Geomeetrilise joonestamise“ ülesandeks on rahuldada neid nõudeid, mis üles seatud joonestamise alal tehnilistes ja tööstuslikes kooles. Peale loeteldud õppeasutiste võib käsiraamatut eduga tarvitada ka iseõppimiseks.*

*Kuna kaks esimest trükki on leidnud poolehoidu nii õpetajate kui ka õpilaste keskel, julgen loota, et käesolev kolmas trükk saab sama poolehoiu osaliseks.*

*Th. Ussisoo.*

# Geometriline joonestamine.

## I JAGU.

Joonestamine jaotatakse kolme ossa:
1) Geomeetriline joonestamine.
2) Projektsioon joonestamine.
3) Tehniline joonestamine.

**Geomeetriline joonestamine** õpetab tundma geomeetriliste ülesannete lahenduste seadusi ja võtteid ühel tasapinnal. Geomeetriline joonestamine on joonestamise aabits.

**Projektsioon joonestamine** õpetab tundma kujundid kolmel tasapinnal. See osa on joonestamise grammatika.

**Tehniline joonestamine** on joonestamise lõpptulemus, kus tegemist üksikute asjade joonestamisega. Tehniline joonestamine jaguneb järgmistesse osadesse: ehitus-arhitektuur, masinaehitus, laevaehitus, elektrotehnika j.n.e. joonestamine.

## Joonestamise abinõud.

Geomeetriliseks joonestamiseks on tarvis järgmisi abinõusid:

**Mõõtsirkel.**

Mõõtsirklil on kaks alalist teravharu. Teda tarvitatakse joonte mõõtmiseks ja mõõtude ülekandmiseks. Mõõtsirkli harude tipud olgu täiesti ühepikkused ja nõelteravad.

**Ringsirkel.**

Ringsirkli üks haru on nõelterav ja teine varustatud pliiatsiga või joonsulega, mida tarvitatakse ringide joonestamiseks.

**Joonsulg.**

Joonsulge tarvitatakse tušiga joonestamiseks. Joonsulg nõuab korralikku hoidmist. Heal joonsulel olgu hästi teravad otsad. Töö lõpul puhastada ja kuivatada märja lapikesega joonsulg. Joonsule otste vahele jäetud tuš rikub sulge.

**Vedru- ehk nullsirkel.**

Väikeste ringide joonestamiseks tarvitatakse null- ehk vedrusirklit, mille teravotsad ligendatakse tillukese kruvikese abil.

**Sirklite hoidmine.**

Sirkleid vaja igakord enne karpi panemist pehme riidest lapiga puhastada, et ära hoida roostetamist. Sirklite teravotsi hästi hoida, et nad ei murduks ega kõverduks, vaid oleksid alati teravad ja korras.

**Joonestamiselaud.**

Joonestamiselaud, millele kinnitatakse paber nööpnaelakestega, olgu valmistatud kuivast pärna- või lepapuust. Laud olgu täisnurkne ja servad sirgjoonelised. Joonestamiselauda ei tohi hoida liig kuivas ega ka niiskes ruumis. Selle järeldusel võib ta lõhkeda või kaarduda.

**Reišiin ehk nurkjoonelaud.**

Paralleel- ja perpendikulaarjoonte tõmbamiseks tarvitatakse reišiini. Reišiin valmistatakse pirni- või punasest puust. Punasest puust reišiinidele liimitakse mustast või vahtrapuust servakesed. Viimased hoiavad teda kaardumast.

Geomeetriliste ülesannete lahendamiseks tarvitatakse täisnurkseid kolmnurki, millel on teravnurgad 45°, 30° ja 60°. Kolmnurga servad olgu siledad ja sirged.

**Lekaalid.**

Lekaalide servad on segakujulised kõverjooned. Lekaali abil joonestatakse igasuguseid kõverjooni, mida võimatu joonestada ringi kaarjoonte abil.

**Joonestamise suled.**

Suled olgu teravad ja hästi paenduvad. Peale töö lõppu sulg lapiga tušist puhastada.

**Nööpnaelakesed.**

Paberi kinnitamiseks joonestamiselauale tarvitatakse laiapealisi naelakesi, mida nim. nööp- ehk läätsnaelteks.

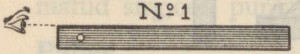
**Joonestamise nurkjoonlaua ja kolmnurkade proovimine.**

Geomeetrilisi joonestusi valmistada hästi täpsasti. Täpsus oleneb mitte ainult hoolsast tööst, vaid ka riistade korralikkusest. Sellepärast tuleb enne joonestamist otsustada joonlaua servade ja kolmnurga servade täpsust.

**Joonlaua ja kolmnurga proovimine.**

Tõstame joonlaua silma kõrgusele ja sihime vastu valget (joon. 1.) Kui ühtegi konarlust, nõgu ega kühmu pole märgata, on joonlaud sirge ja töötamiseks kõlbulik. Joon. 2 on joonestamiseks mitte kõlbulik õõnes servadega joonlaud.

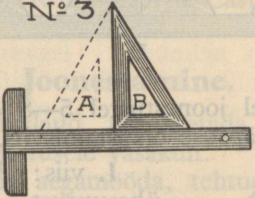
Nº 1



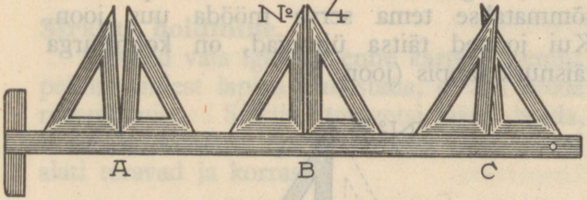
Nº 2

Kolmnurga täpsust proovitakse järgmiselt: asetatakse reišiin ja kolmnurk paberile, litsutakse üks täisnurga külgedest vastu reišiini serva, kuna teise täisnurga külge mööda tõmmatakse pliiatsiga sirgjoon. Siis kolmnurka, nagu raamatu lehte ümber pöörates, tõmmatakse tema serva mööda uus joon. Kui jooned täitsa ühtuvad, on kolmnurga täisnurk täppis (joon. 3).

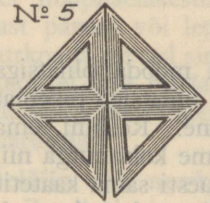
Nº 3



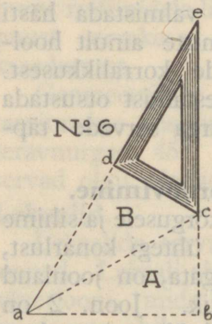

Tõmbame reišiini serva mööda pliiatsiga sirgjoone (joon. 4) ja terava pliiatsiga pikemat kaatetit mööda teise sirgjoone. Reišiini tema endisele kohale jättes pöörame kolmnurga nii, kui *B* näitab ja tõmbame uuesti sama kaatetit mööda sirgjoone. Kui jooned kohtuvad, on kolmnurga kõige suurem nurk — täisnurk (joon. 3-*B*). Vastasel korral ei ole kolmnurk täisnurkne (joon. 4-*A* ja *C*).



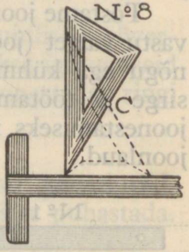

Järgmistel joonestustel 5—8 on näidatud kolmnurga täpsuse otsustamisviis.




**1.** viis: Asetame neli ühesuurust kolmnurka täitsa tasasele pinnale. Kui 8 kaatetit vastastikku perpendikulaarset külge mööda kõigis punktes täitsa liituvad, on kolmnurgad täisnurksed. Alumises nurkade paaris kaatetid ei liitu ja nad on vähem kui 90°. Käesoleval juhul on võetud 45° nurgad, samal kombel võib ka otsustada 30° ja 60° nurgalisikolmnurke.




**2.** viis: Joonlaua serva kaudu tõmmatakse sirgjoon ja asetatakse temale kolmnurk täppreaga näidatud *A* seisus ja tõmmatakse terava pliiatsiga ta piirjoon. Siis pööratakse kolmnurk *B*-ga




tähendatud seisu ja tõmmatakse uus joon. Kui kolmanda pööramise järel kaatet *d-e* kohtub joonega *a-e* (joon. 6), siis on kolmnurk õige ja tarvitamiseks kõlbulik.

**3.** viis: Asetame kolmnurga paberile ja piiritame teda terava pliiatsiga. Võtame kolmnurga paberilt ja mõõdame ta kaateti *l-m* pikkust sirkliga. Täisnurksel kolmnurgal, mille teravnurgad vastavad 45°-le, peab kaatetite *l-m*, *m-n* ja $m^1$-$n^1$ pikkus olema ühesuurune (joon. 7).

**4.** viis: Kolmnurga kontuuri joonestades antakse talle seis, mida kujutab joon. 8, ja tõmmatakse pikemat kaatetit mööda sirgjoon: kui kolmnurk on korrapärane, poolitab tõmmatud sirgjoon punktis *C* hüpotenuusi.

## Paber.

Hea joonestamise paber olgu tihe, vastupidav ja paenduv, et ta oleks kõlbulik tušiga joonestamiseks. Paber, mis eelnimetatud nõuetele ei vasta, ei kõlba tušiga joonestamiseks.

## Pliiatsid.

Joonestamisel tarvitada häid pliiatseid. Head pliiatsit võib hästi teritada, ta süda ei tohi murduda ega puu lõikamisel tükelduda. Väga head on Koh-i-noor ja Castell pliiatsid.

## Joonestamine.

Joonestamislaud nii asetada, et valgus paistaks joonestusele vasakult.

Joonestada aegamööda, tehtud tööd alatasa läbi vaadates, et ei tekiks vigu. Ühtlasi peetagu meeles, et esimesest tunnist alates tuleb hoiduda ümberjoonestamisest, iga alatud töö püütagu tingimata lõpetada. Raske on harjuda sellega kannatamatul, kes iga väiksema äparduse puhul uue paberi võtab, see harjumus ei tohi muutuda kombeks.

## Esimesed tegelised joonestamise võtted.

Leht 1.

**Sirgjoonte tõmbamine kolmnurga ja nurkjoonlauaga (reišiiniga).**

Võtame paberilehe, kinnitame ta nööpnaelakestega joonestamise lauale ja joonestame 4 täisnurkset nelinurka. Jagame mõõtsirkli abil nende küljed, näit. 16 või 24 ühesuuruseks osaks, ning tõmbame nurkjoonlaua abil paralleelsed sirgjooned. (Joon. 1—4.)

Nurkjoonlauda liigutatagu ainult vasaku käega, litsudes teda tugevasti vastu vasakut laua äärt.

Leht 2.

Leht 2 on eelmise joonestuse kordamine. Rööbasnelinurga küljed jagada 16 ossa ja tõmmata kolmnurga 45° kaldkülge mööda esiti peened, siis jämedad jooned. Neid jooni tõmmates litsuda kolmnurk tugevasti vastu joonlaua ülemist serva ja nihutada teda järgmisele jaotusele vasaku käe keskmise ja nimetissõrmega. (Joon. 5—8.)

Leht 3.

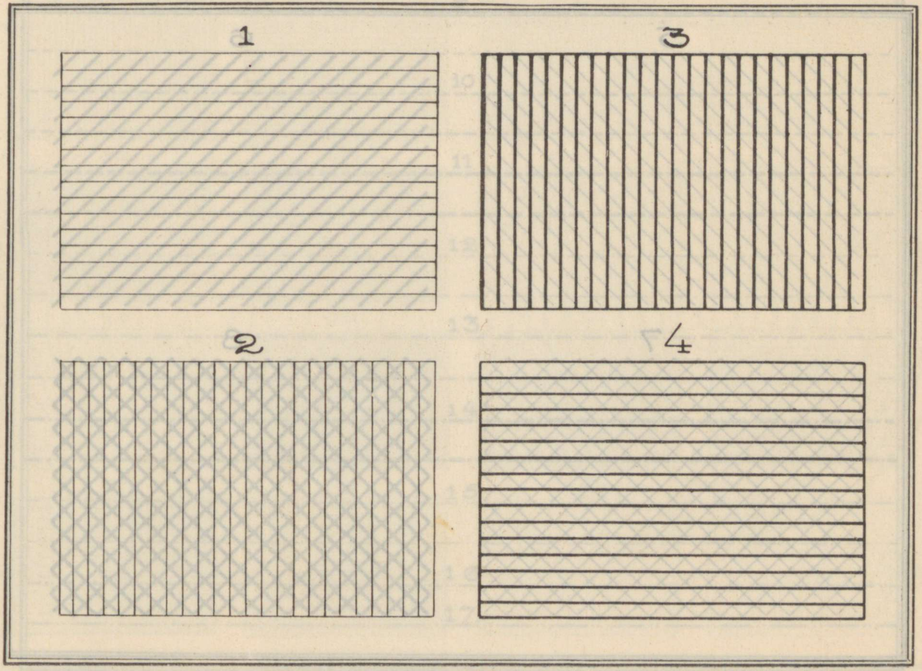
**Täppjooned.**

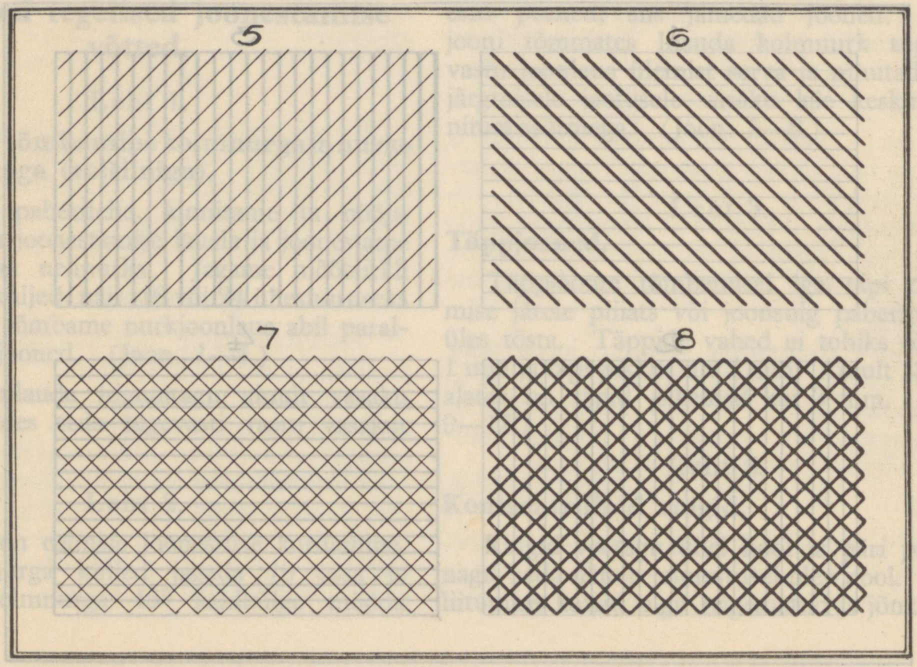
Täppjoonte tõmbamisel iga täpi tõmbamise järele pliiats või joonsulg paberilt vähe üles tõsta. Täppide vahed ei tohiks olla üle 1 mm ja täpi pikkus üle 3 mm. Ainult 13 reast alates on täpid pikemad kui 3 mm. (Joon. 9—17.)

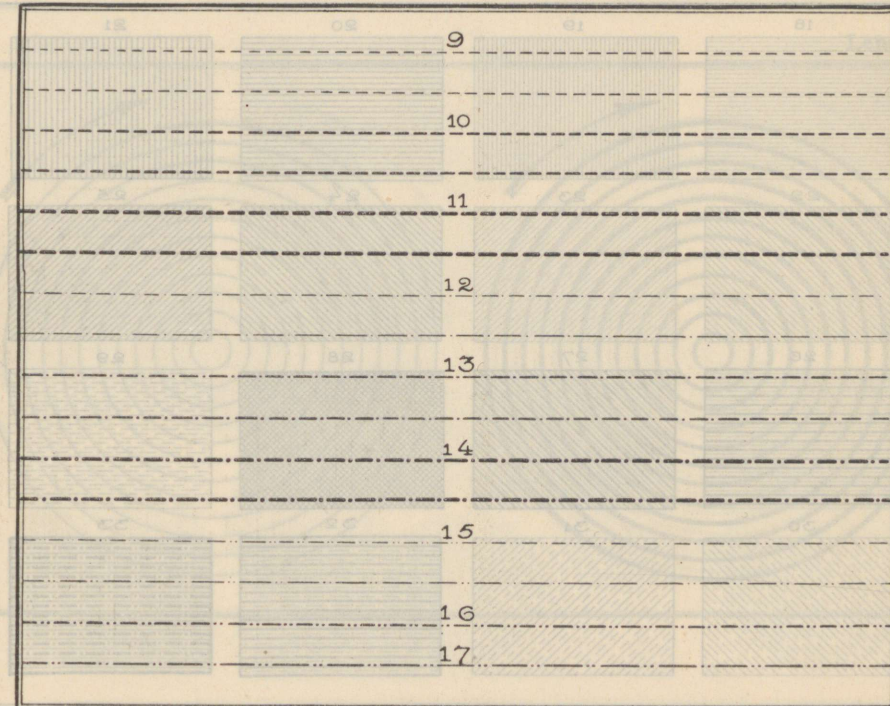
Leht 5.

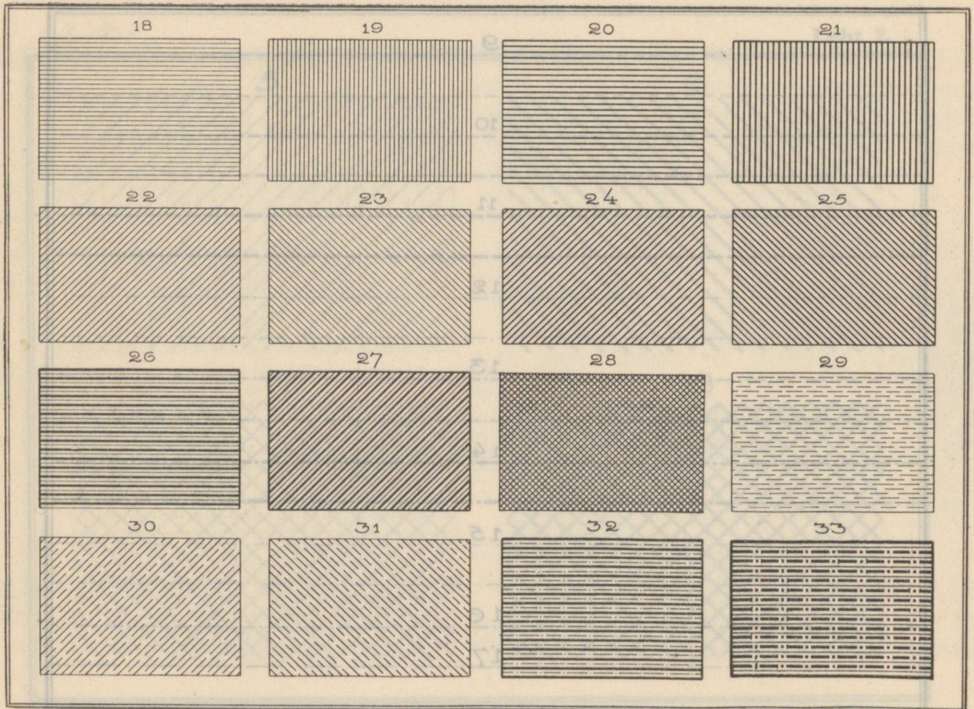
**Kontsentrilised ringid.**

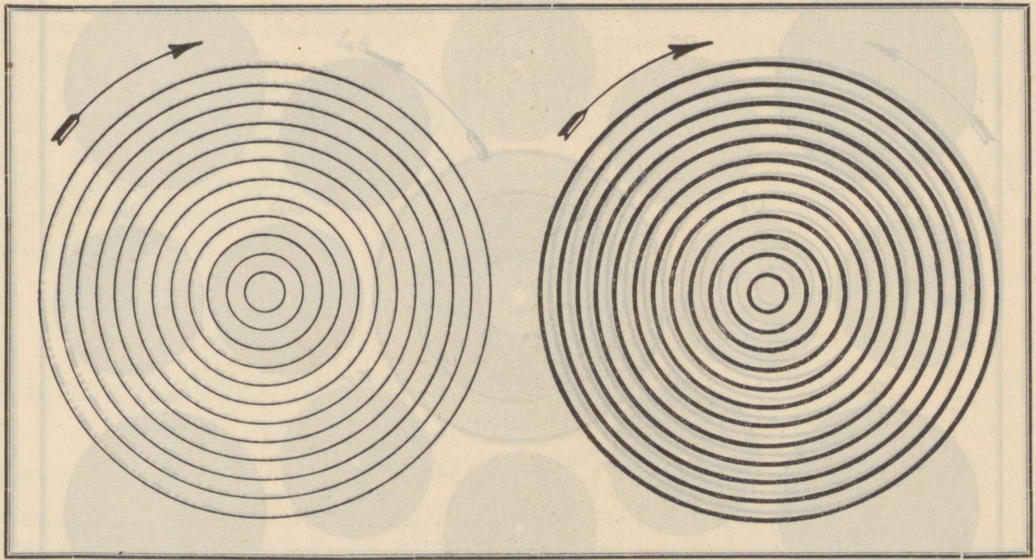
Ringid veetagu ühel hool ja päri päikest, nagu seda näitab joonestusel olev nool. Ringi liitumise kohad olgu nägematud ja jõnkudeta.

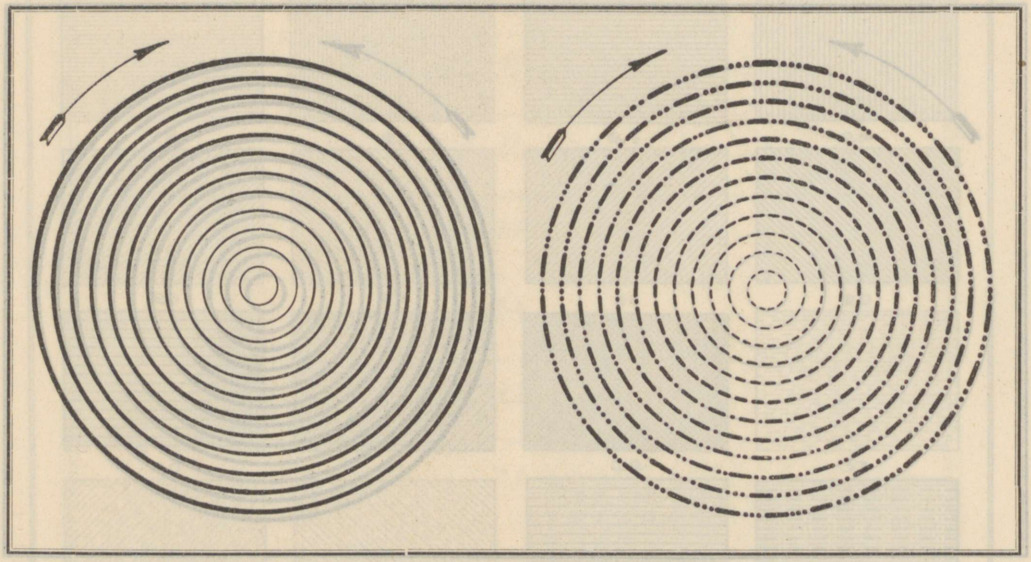

1
3
2
4

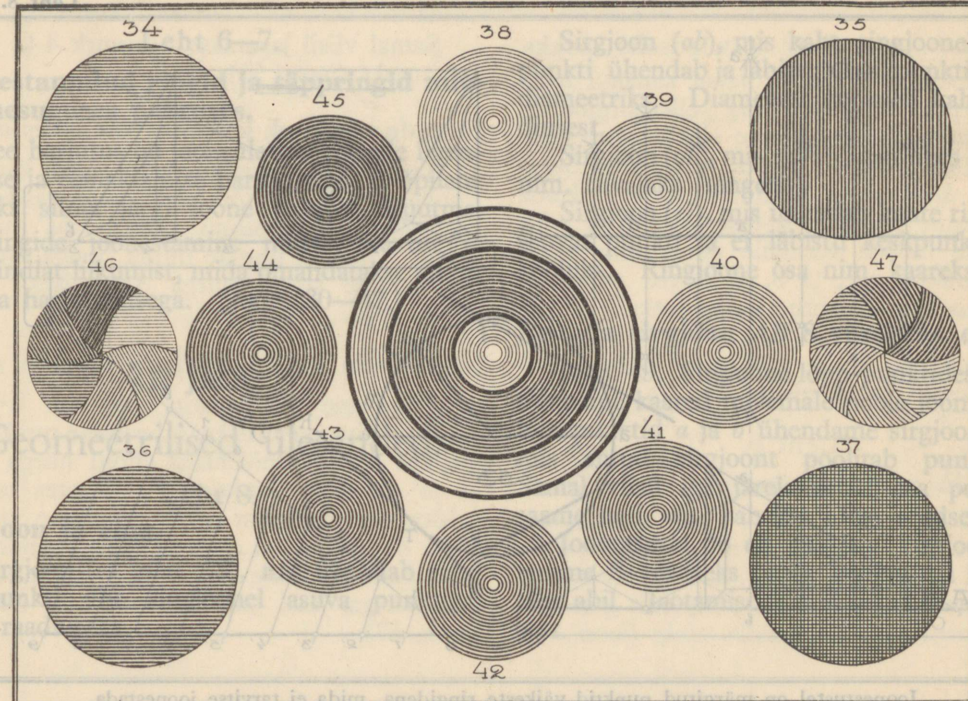

5
6
7
8

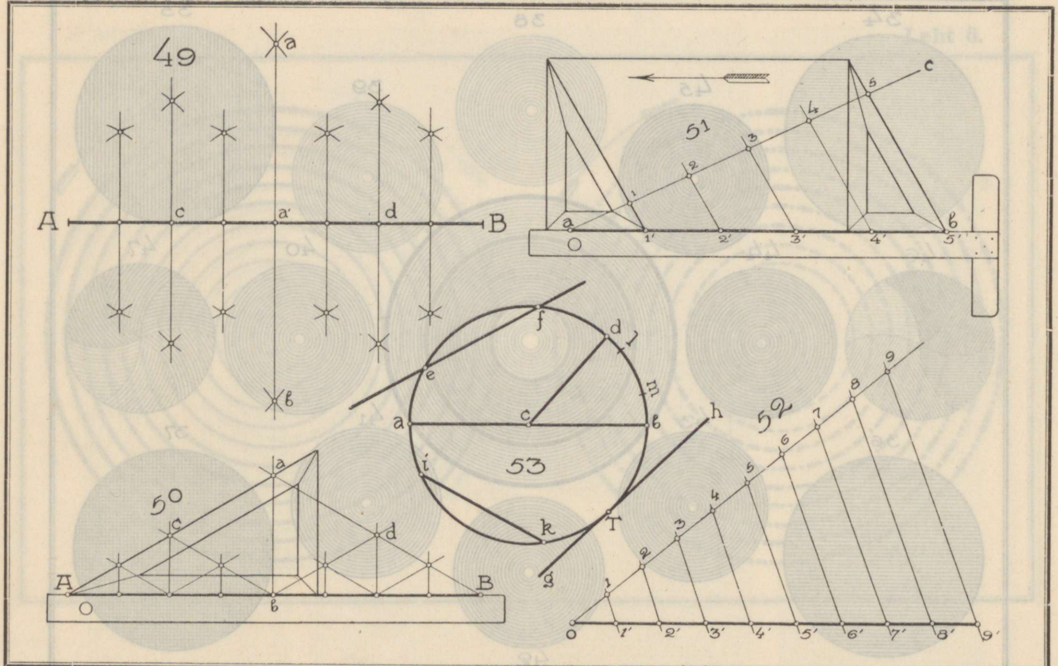

9
10
11
12
13
14
15
16
17


18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33






34
38
35
45
39
46
44
40
47
43
41
36
37
42






Joonestustel on märgitud punktid väikeste ringidena, mida ei tarvitse joonestada.

## Leht 6—7.

**Katkestamatud ringid ja täppringid mitmesuguses paksuses.**

See harjutus on joonsule teravotsade ligendamise ja eemaldamise harjutuseks, et õpilane harjuks silma järgi joone paksust muutma.

Ringide joonestamine nõuab osavust ja käe kindlat liikumist, mida omandatakse ainult püsiva harjutamisega. (Joon. 30—47.)

## II JAGU.

# Geomeetrilised ülesanded.

## Leht 8.

**Sirgjoon ja ring.**

Sirgjoon (*cd* joon. 53), mis ühendab ringi keskpunkti ühe ringjoonel asuva punktiga, nim. raadiuseks.

Sirgjoon (*ab*), mis kaht ringjoonel asuvat punkti ühendab ja läbistub keskpunktist, nim. diameetriks. Diameeter koosneb kahest raadiusest.

Sirgjoon (*gh*), mis riivab ringi ühes punktis, nim. riivajaks (tangens).

Sirgjoon (*ef*), mis ühendab kahte ringjoonel asuvat punkti ja ei läbistu keskpunkti, nim. kõõluks. Ringjoone osa nim. kaareks.

**Jaotada sirgjoon *AB* 8 võrdseks osaks.**

Joon. 49. Sirgjoone lõpp-punktidest *A* ja *B* tõmbame kaared mõlemale poole joont, nende lõikepunktid *a* ja *b* ühendame sirgjoonega *ab*, mis antud sirgjoont poolitab punktis $a^1$. Samal viisil iga järelejäänud osa poolitades saame neli, siis, kaheksa j.n.e. võrdset osa.

Joonestusel 50 on näidatud sirgjoone jaotamine 8 võrdseks osaks kolmnurga ja joonlaua abil. Jaotamise võtted on näha joonestusest.

**Sirgjoone jagamine 5 võrdseks osaks.**

Tõmbame punktist *a* vabal kallakul määramatu pika sirgjoone *ac*; sellel sirgjoonel, alates punktist *a* tükeldame sirkli vabal sammul 5 võrdset osa. Ühendame punkt *b* 5-ga; asetame kolmnurga kaateti vastu joonlauda ja nihutame teda joonestuses näidatud sihis joonlauda mööda vasakule poole ning tõmbame punktides 1, 2, 3, 4, 5 rea paralleeljooni, mis jagavad antud joone 5-eks võrdseks osaks (joon. 51).

Joonestusel 52 on näidatud joone jaotamine 9 osaks samal viisil.

Leht 9.

**Poolitada antud teravnurk.**

Tõmbame antud nurga tipust *a* vaba raadiusega kaare, mis lõikab nurga haari punktes *b* ja *c*. Poolitanud kaare, ühendame punktid *d* ja *a* sirgjoone abil, mis poolitab antud nurga kaheks võrdseks osaks (joon. 54).

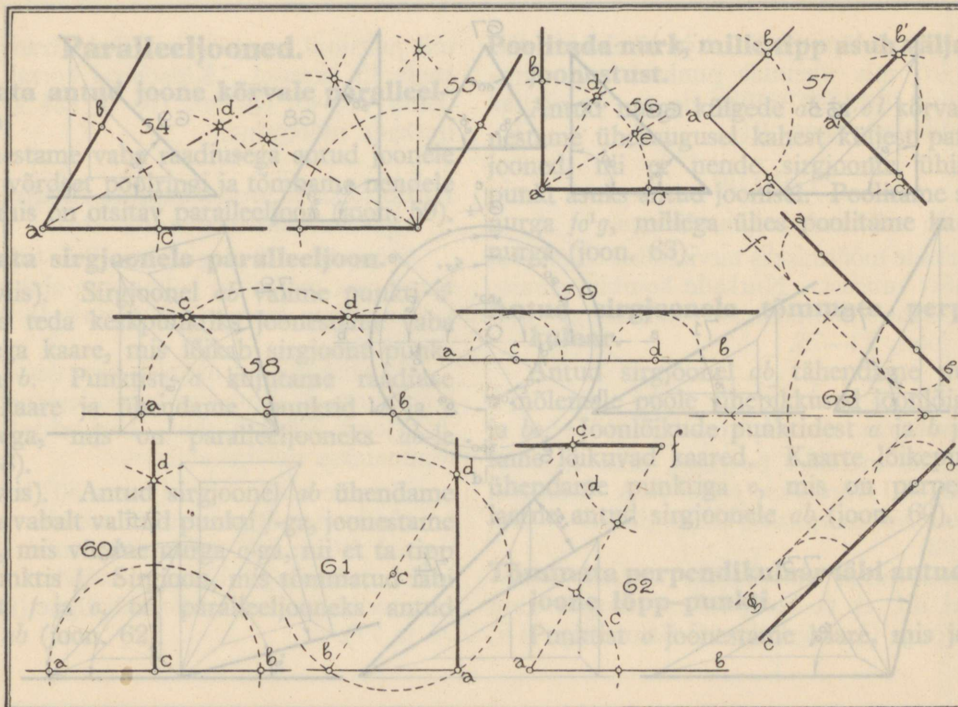
Samal viisil jagatakse nürinurk 4-ks võrdseks osaks (joon. 55).

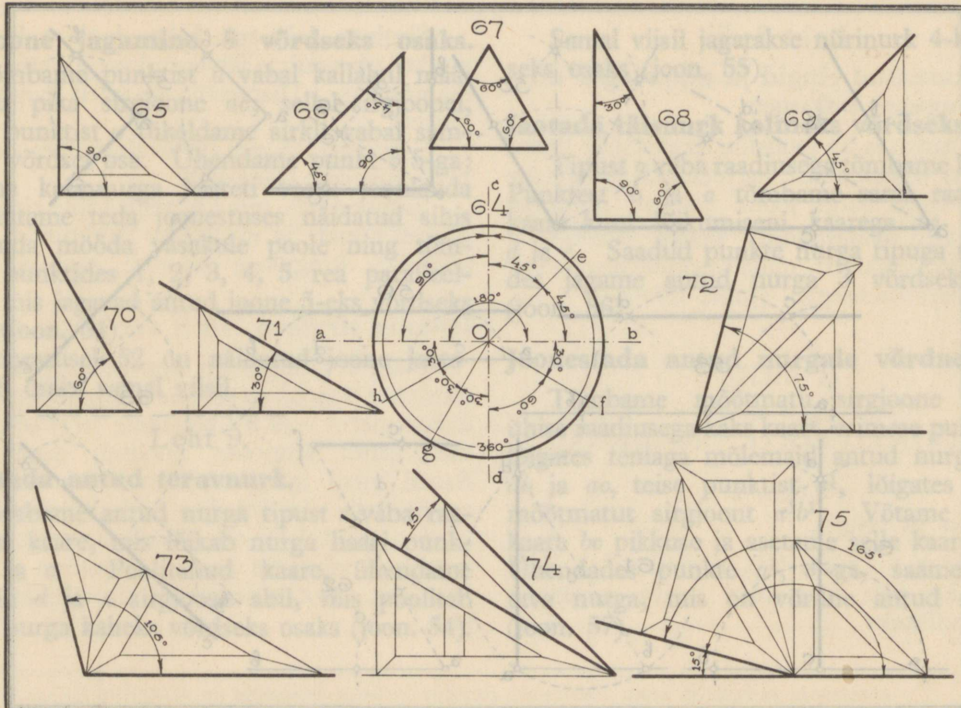
**Jaotada täisnurk kolmeks võrdseks osaks.**

Tipust *a* vaba raadiusega tõmbame kaare *bc*. Punktest *b* ja *c* tõmbame sama raadiusega kaare kuni lõikumiseni kaarega *bc* punktes *d* ja *e*. Saadud punkte nurga tipuga ühendades jagame antud nurga 3 võrdseks osaks (joon. 56).

**Joonestada antud nurgale võrdne nurk.**

Tõmbame mõõtmatu sirgjoone $a^1b^1$ ja ühise raadiusega kaks kaart, esimese punktist *a*, lõigates temaga mõlemaid antud nurga haari *ab* ja *ac*, teise punktist $a^1$, lõigates temaga mõõtmatut sirgjoont $a^1b^1$. Võtame sirkliga kaare *bc* pikkuse ja asetame selle kaarele $b^1c^1$. Ühendades punkte $a^1$, $c^1$-ga, saame soovitava nurga, mis on võrdne antud nurgaga (joon. 57).


54
55
56
57
58
59
60
61
62
63



65
90°
66
45°
90°
45°
67
60°
60°
60°
68
30°
60°
90°
60°
69
45°
64
c
e
45°
90°
180°
45°
a
O
b
30°
30°
30°
30°
30°
60°
h
f
g
360°
d
70
60°
71
30°
72
75°
73
106°
74
15°
75
165°
15°

## Paralleeljooned.

**Tõmmata antud joone kõrvale paralleeljoon.**

Joonestame vaba raadiusega antud joonele *ab* kaks võrdset poolringi ja tõmbame nendele riivaja, mis on otsitav paralleeljoon (joon. 59).

**Tõmmata sirgjoonele paralleeljoon.**

(1. viis). Sirgjoonel *ab* valime punkti $c^1$ ja võttes teda keskpunktiks joonestame vaba raadiusega kaare, mis lõikab sirgjoont punktes *a* ja *b*. Punktist *a* kujutame raadiuse $ac=bd$ kaare ja ühendame punktid *d* ja *c* sirgjoonega, mis on paralleeljooneks *ab*-le (joon. 58).

(2. viis). Antud sirgjoonel *ab* ühendame punkti *a* vabalt valitud punkti *f*-ga, joonestame nurga *d*, mis võrdne nurga *c*-ga, nii et ta tipp oleks punktis *f*. Sirgjoon, mis tõmmatud läbi punktest *f* ja *c*, on paralleeljooneks antud joonele *ab* (joon. 62).

**Poolitada nurk, mille tipp asub väljaspool joonestust.**

Antud nurga külgede *ab* ja *cl* kõrvale joonestame ühekaugusel kahest küljest paralleeljooned, nii et nende sirgjoonte ühinemispunkt asuks antud joonisel. Poolitame saadud nurga $fc^1g$, millega ühes poolitame ka antud nurga (joon. 63).

**Antud sirgjoonele tõmmata perpendikulaar.**

Antud sirgjoonel *ab* tähendame punktist *c* mõlemale poole ühepikkused joonlõigud *ac* ja *bc*. Joonlõikude punktidest *a* ja *b* joonestame lõikuvad kaared. Kaarte lõikepunkti *d* ühendame punktiga *c*, mis on perpendikulaarne antud sirgjoonele *ab* (joon. 60).

**Tõmmata perpendikulaar läbi antud sirgjoone lõpp–punkti.**

Punktist *c* joonestame kaare, mis jookseb läbi sirgjoone lõpupunkti *a* ja tõmbame diameetri *bd*, mis ühendab punktid *bcd*. Sirgjoon, mis ühendab punkti *da*-ga, on otsitav perpendikulaar (joon. 61).

## Leht 10.

## Nurkade mõõtmine kraadidega.

Nurkade mõõtmiseks tarvitatakse täisnurka, kui alalist suurust. Nurkade kombineerimise võtted kahe joonestamise kolmnurga abil näeme joon. 72—75.

## Leht 11.

## Nurgamõõtja (mall, transportöör).

Mall on metallist poolring, mille kaar on jaotatud 180 võrdseks osaks ehk kraadiks. Joonestamisel märgitakse sõna „kraad“ ° abil (joon. 82).

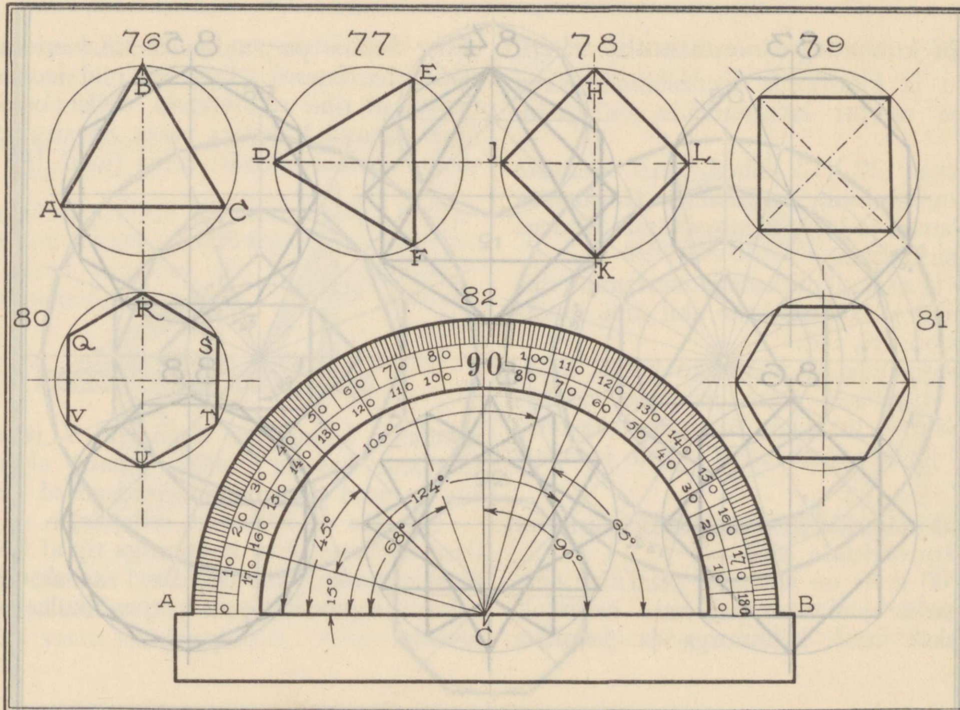
Antud nurga mõõtmiseks asetame transportööri nii, et ta keskpunkt *C* langeb ühte nurga tipuga *C*, ning külg *AC* diameetriga *AB*, mil juhtumil nurga külg lõikaks transportööri kaart 15 jaotusel. Käesoleval korral on näidatud 15, 45, 65, 90, 105 ja 124 kraadiliste nurkade mõõtmine.

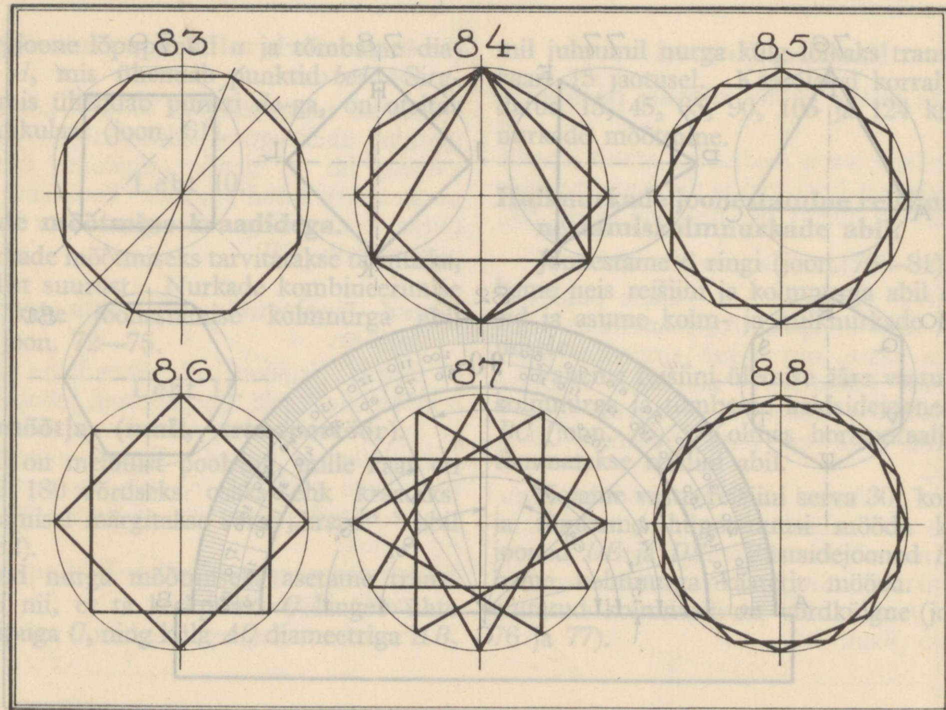
## Hulknurkade joonestamine reišiini ja joonestamiskolmnurkade abil.

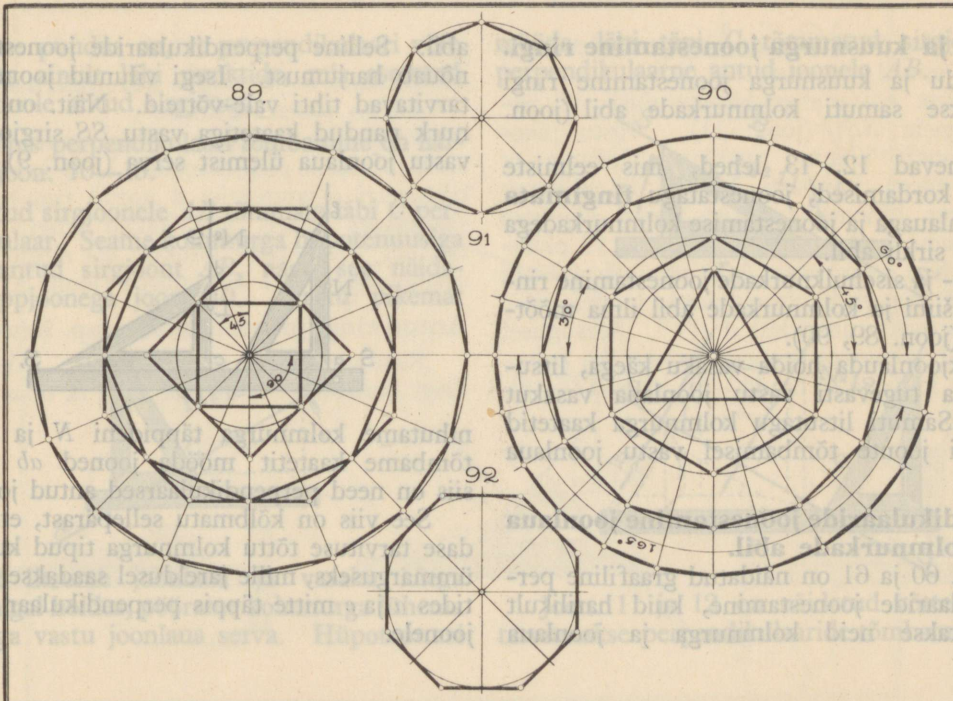
Joonestame 6 ringi (joon. 76—81). Tõmbame neis reišiini ja kolmnurga abil diameetrid ja asume kolm- ja hulknurkade joonestamisele.

Paneme reišiini ülemise ääre vastu 60°-lise kolmnurga ja tõmbame kaldsidejooned *AB* ja *BC* (joon. 76). Kolmas horisontaaljoon *AC* tõmmatakse reišiini abil.

Hoiame vastu reišiini serva 30° kolmnurga ja tõmbame hüpotenuusi mööda kaldsidejooned *DE* ja *DF*. Püstsidejooned *EF* tõmbame kolmnurga kaatetit mööda. Niiviisi ehitatud kolmnurk on võrdkülgne (joon. 67, 76 ja 77).


76
77
78
79
80
81
82
A
B
C
D
E
F
H
J
K
L
R
Q
S
V
T
U
90
105°
124°
45°
68°
15°
90°
65°


83
84
85
86
87
88


89.
91
92
90
45
90
30°
45°
60°
165°

**Ruudu ja kuusnurga joonestamine ringi.**

Ruudu ja kuusnurga joonestamine ringi teostatakse samuti kolmnurkade abil (joon. 79—81).

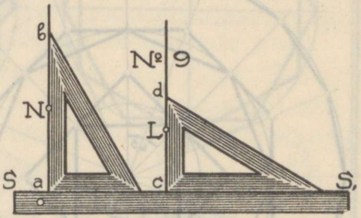
Järgnevad 12, 13 lehed, mis eelmiste tabelite kordamised, joonestatagu **tingimata** nurkjoonlauaga ja joonestamise kolmnurkadega ja mitte sirkli abil.

Välis- ja sisehulknurkade joonestamine ringisse reišiini ja kolmnurkade abil ilma mõõtsirklita (joon. 89, 90).

Nurkjoonlauda hoida vasaku käega, litsudes teda tugevasti vastu joonlaua vasakut serva. Samuti litsutagu kolmnurga kaatetid tugevasti joonte tõmbamisel vastu joonlaua serva.

**Perpendikulaaride joonestamine joonlaua ja kolmnurkade abil.**

Joon. 60 ja 61 on näidatud graafiline perpendikulaaride joonestamine, kuid harilikult joonestatakse neid kolmnurga ja joonlaua abil. Selline perpendikulaaride joonestamine nõuab harjumust. Isegi vilunud joonestajad tarvitavad tihti vale-võtteid. Näit. on kolmnurk pandud kaatetiga vastu *SS* sirgjoont ja vastu joonlaua ülemist serva (joon. 9). Kui



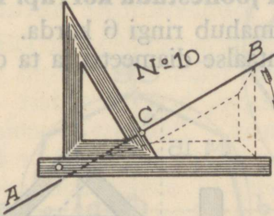

nihutame kolmnurga täppideni *N* ja *L*, ja tõmbame kaatetit mööda jooned *ab* ja *cd*, siis on need perpendikulaarsed antud joonele.

See viis on kõlbmatu sellepärast, et sagedase tarvituse tõttu kolmnurga tipud kuluvad ümmarguseks, mille järeldusel saadakse punktides *a* ja *c* mitte täppis perpendikulaar antud joonele.

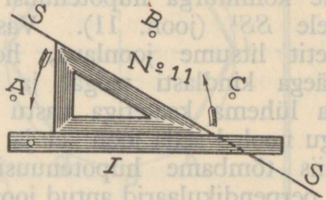
Teine puudus on, et perpendikulaari võib tõmmata ainult läbi punktide, mis asetatud ühele poole antud sirgjoont.

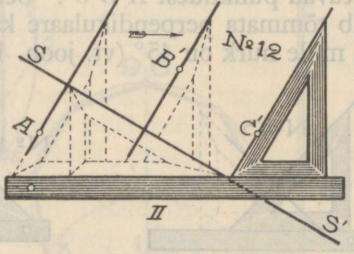
Täppis perpendikulaari tõmbamine on näidatud joon. 10—15.

Antud sirgjoonele *AB* tõmmata läbi *C* perpendikulaar. Seame kolmnurga hüpotenuusiga vastu antud sirgjoont *AB*, nagu see näidatud täppjoonega joon. 10. Vastu pikemat




kaatetit litsume joonlaua ja vasaku käega teda paigal hoides, pöörame kolmnurga lühema kaatetiga vastu joonlaua serva. Hüpotenuusi mööda läbi täpi *C* tõmmatud sirgjoon on perpendikulaarne antud joonele *AB*.




Joon. 11 ja 12 on näidatud võtted, mida tarvitatakse perpendikulaaride tõmbamiseks läbi punktide *ABC*, mis on asetatud üleval- ja allpoole antud sirgjoont $SS^1$.

Paneme kolmnurga hüpotenuusi pidi antud joonele $SS^1$ (joon. 11). Vastu pikemat kaatetit litsume joonlaua, hoiame ta vasaku käega kindlasti paigal ja pöörame kolmnurga lühema kaatetiga vastu joonlaua serva, nagu nooled seda joon. 11 ja 12 näitavad. Siis tõmbame hüpotenuusi mööda (joon. 12) perpendikulaarid antud joonele $SS^1$, mis läbistuvad punktidest $A^1B^1C^1$. Seesugusel viisil võib tõmmata perpendikulaare ka kolmnurgaga, mille nurk on 45° (vt. joon. 13—15).

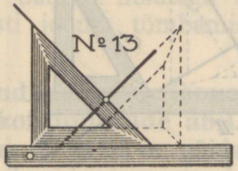
Leht 14.

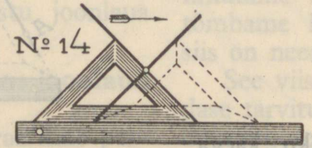
**Graafiline 3—9 külgse korrapärase hulknurga joonestamine.**

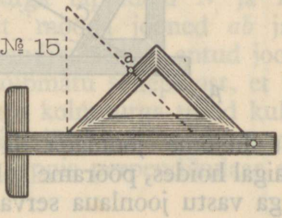
Võrdkülgse kolmnurga joonestamiseks ringi sisse tõmbame esiti diameetri. Siis joonestame diameetri otsapunktist *d* antud ringile ühise raadiusega kaare, mis lõikab ringi punktides *ab*. Ühendame punktid *abc* sirgjoontega, saame võrdkülgse kolmnurga (joon. 93).

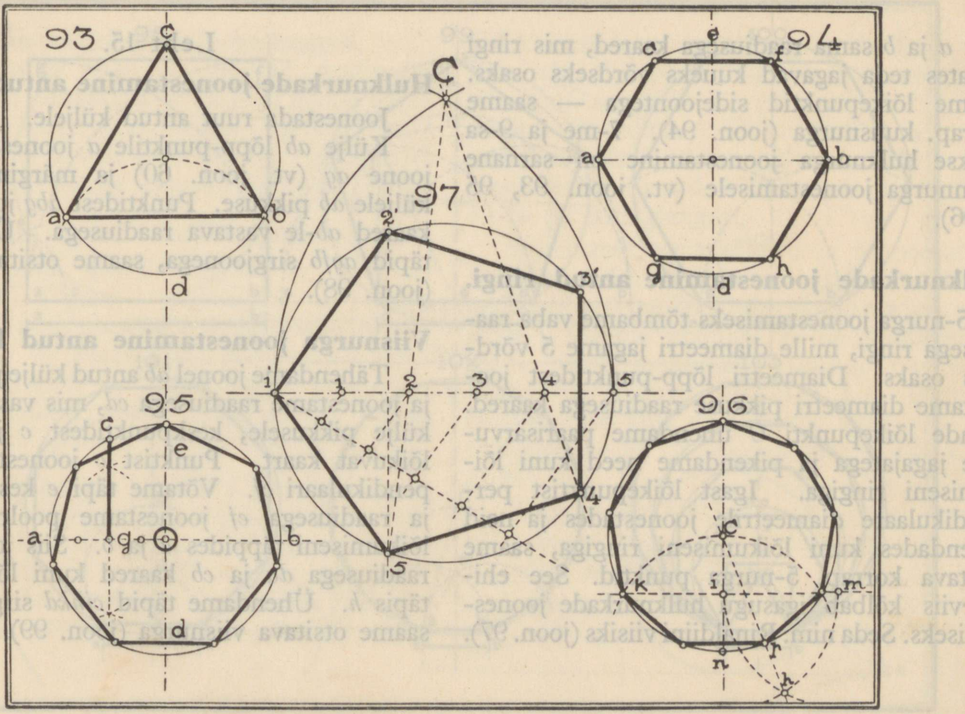
**Antud ringi joonestada korrap. kuusnurk.**

Raadius mahub ringi 6 korda. Tõmbame ringi horisontaalse diameetri ja ta otsapunkti-




93
94
95
96
97
c
a
b
d
e
f
g
h
i
k
m
n
r
C
1
2
3
4
5
2'
3'

dest *a* ja *b* sama raadiusega kaared, mis ringi lõigates teda jagavad kuueks võrdseks osaks. Seome lõikepunktid sidejoontega — saame korrap. kuusnurga (joon. 94). 7-me ja 9-sa nurkse hulknurga joonestamine on sarnane kolmnurga joonestamisele (vt. joon. 93, 95 ja 96).

## Hulknurkade joonestamine antud ringi.

5-nurga joonestamiseks tõmbame vaba raadiusega ringi, mille diameetri jagame 5 võrdseks osaks. Diameetri lõpp-punktidest joonestame diameetri pikkuse raadiusega kaared. Nende lõikepunkti *C* ühendame paarisarvuliste jagajatega ja pikendame need kuni lõikumiseni ringiga. Igast lõikepunktist perpendikulaare diameetrile joonestades ja neid pikendades kuni lõikumiseni ringiga, saame otsitava korrap. 5-nurga punktid. See ehitusviis kõlbab igasugu hulknurkade joonestamiseks. Seda nim. Rinaldiini viisiks (joon. 97).

Leht 15.

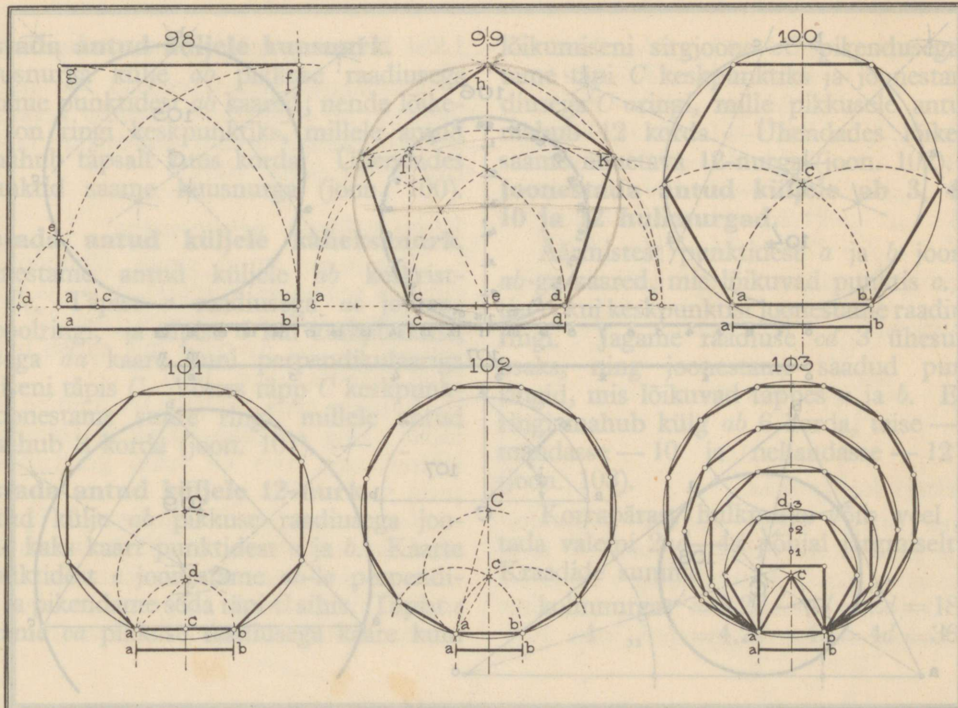
## Hulknurkade joonestamine antud küljele.

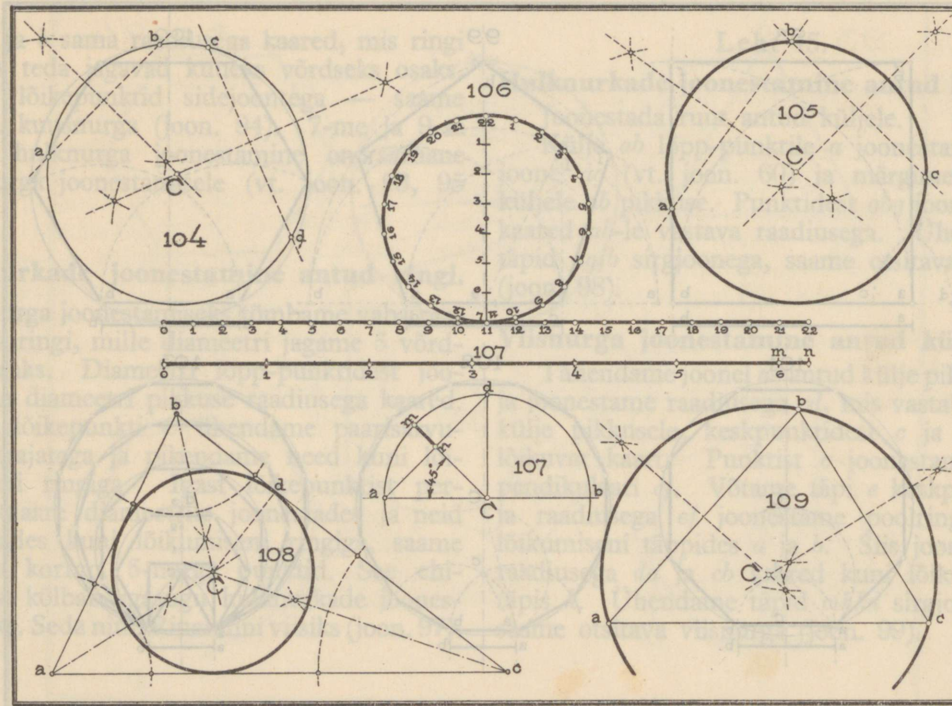
Joonestada ruut antud küljele.

Külje *ab* lõpp-punktile *a* joonestame ristjoone *ag* (vt. joon. 60) ja märgime sellele küljele *ab* pikkuse. Punktidest *abg* joonestame kaared *ab*-le vastava raadiusega. Ühendades täpid *agfb* sirgjoonega, saame otsitava ruudu (joon. 98).

## Viisnurga joonestamine antud küljele.

Tähendame joonel *ab* antud külje pikkuse *cd* ja joonestame raadiusega *cd*, mis vastab antud külje pikkusele, keskpunktidest *c* ja *d* kaks lõikuvat kaart. Punktist *c* joonestame perpendikulaari *cf*. Võtame täpi *e* keskpunktiks ja raadiusega *ef* joonestame poolringi kuni lõikumiseni täppides *a* ja *b*. Siis joonestame raadiusega *da* ja *cb* kaared kuni lõikumiseni täpis *h*. Ühendame täpid *cihkd* sirgjoontega, saame otsitava viisnurga (joon. 99).


98
99
100
101
102
103


104
a
b
c
d
C
105
a
b
c
C
106
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
107
0 1 2 3 4 5 6
m n
107
a
b
c
d
m
h
45°
C
108
a
b
c
d
C
109
a
b
c
C

**Joonestada antud küljele kuusnurk.**

Kuusnurga külje *ab* pikkuse raadiusega joonestame punktidest *ab* kaared; nende lõiketäpp *c* on ringi keskpunktiks, millele antud külg mahub täpsalt kuus korda. Ühendades lõikepunktid saame kuusnurga (joon. 100).

**Joonestada antud küljele kaheksanurk.**

Joonestame antud küljele *ab* keskristjoone *Cc*. Täpist *c* raadiusega *ac* joonestame poolringi, ja täpist *d* kui keskpunktist, raadiusega *da* kaare kuni perpendikulaariga lõikumiseni täpis *C*. Võttes täpp *C* keskpunktiks, joonestame suure ringi, millele antud külg mahub 8 korda (joon. 101).

**Joonestada antud küljele 12-nurk.**

Antud külje *ab* pikkuse raadiusega joonestame kaks kaart punktidest *a* ja *b*. Kaarte lõikepunktidest *c* joonestame *ab*-le perpendikulaari ja pikendame seda täpi *C* sihis. Täpist *c* joonestame *ca* pikkuse raadiusega kaare kuni lõikumiseni sirgjoone *cC* pikendusega. Võtame täpi *C* keskpunktiks ja joonestame raadiusega *C a*ringi, mille pikkusele antud külg mahub 12 korda. Ühendades lõikepunkte, saame nõuetava 12-nurga (joon. 102).

**Joonestada antud küljele ab 3, 4, 6, 8, 10 ja 12 hulknurgad.**

Äärmistest punktidest *a* ja *b* joonestame *ab*-ga kaared, mis lõikuvad punktis *c*. Punktist *c*, kui keskpunktist joonestame raadius *ca*-ga ringi. Jagame raadiuse *cd* 3 ühesuuruseks osaks, ning joonestame saadud punktidest ringid, mis lõikuvad täppes *a* ja *b*. Esimesse ringi mahub külg *ab* 6 korda, teise — 8, kolmandasse — 10 ja neljandasse — 12 korda (joon. 103).

Korrapärast hulknurka võib veel joonestada valemi $2nd—4d$ põhjal järgmiselt:
Kraadide summa

kolmnurgas $=3.2d-4d=2d=180°$
4 „ $=4.2d-4d=4d=360°$

5 nurgas $= 5.2d-4d = 6d = 540°$
6 „ $= 6.2d-4d = 8d = 720°$
7 „ $= 7.2d-4d = 10d = 900°$
8 „ $= 8.2d-4d = 12d = 1080°$
9 „ $= 9.2d-4d = 14d = 1260°$
10 „ $= 10.2d-4d = 16d = 1440°$
11 „ $= 11.2d-4d = 18d = 1620°$
12 „ $= 12.2d-4d = 20d = 1800°$

Sellest järeldame, et korrapärase kolmnurga iga sisenurk on $\frac{180°}{3} = 60°$, ruudu — $\frac{360°}{4} = 90°$, viisnurga — $\frac{540°}{5} = 108°$ j.n.e.

Leht 16.

**Leida ringi keskpunkt.**

Antud ringile vabalt valitud punktidest tõmbame kaks meelevaldset sirgjoont *ab* ja *cd* ja joonestame nende keskpunktist ristjooned. Nende ristjoonte lõikepunkt *C* on otsitav keskpunkt kaarele ehk ringile *abcd* (joon. 104).

**Läbi kolme punkti joonestada ring.**

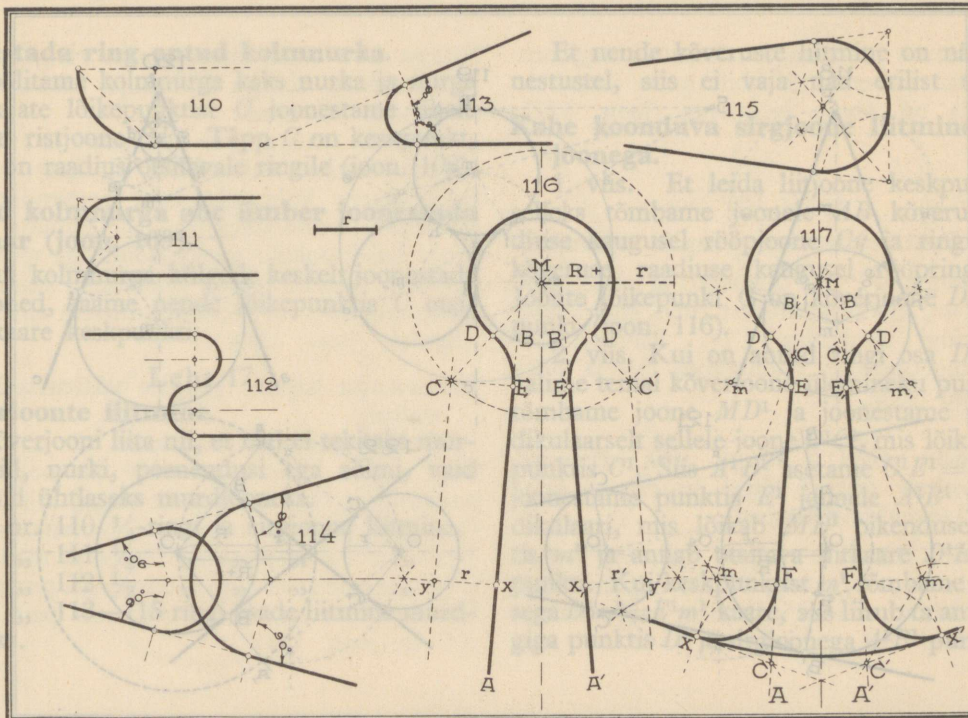
Ühendame antud punktid *abc* kahe sirgjoonega ja joonestame nende keskelt ristjooned. Lõikepunkt *C* on otsitav keskpunkt ringile *abc* (joon. 105).

**Ringi pikkuse arvutamine.**

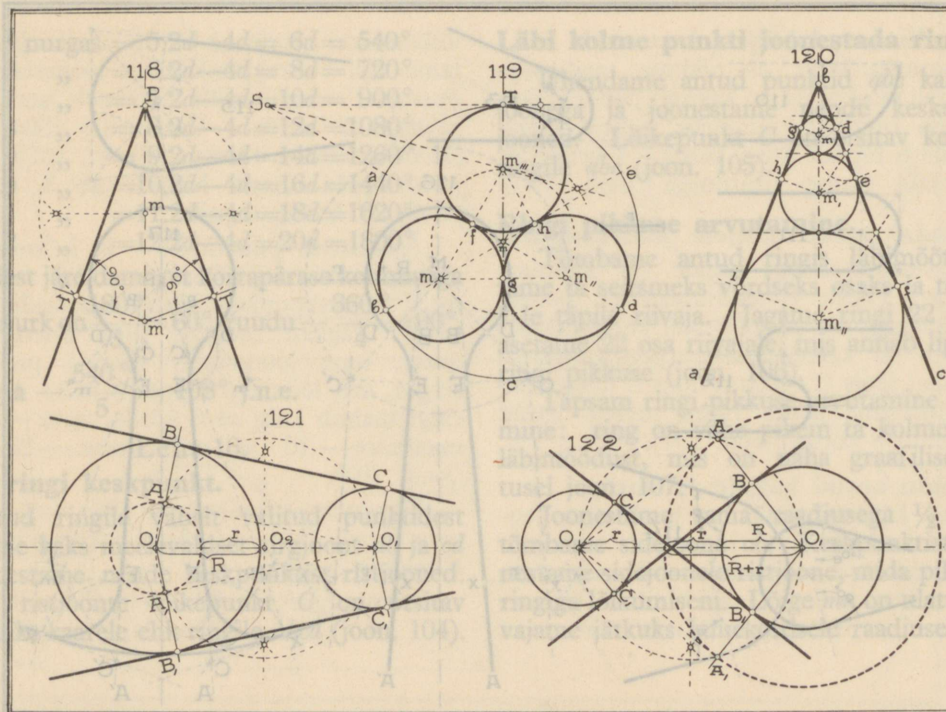
Tõmbame antud ringis läbimõõtja, jaotame ta seitsmeks võrdseks osaks ja tõmbame 7-le täpile riivaja. Jagame ringi 22 osaks ja asetame 22 osa riivajale, mis annab ligikaudse ringi pikkuse (joon. 106).

Täpsam ringi pikkuse arvutamine on järgmine: ring on vähe pikem ta kolmekordsest läbimõõdust, mis on näha graafilisel kujutusel joon. 107.

Joonestame sama raadiusega ½ ringi ja tõmbame sidejoone *ab*. Keskpunktist *C* joonestame sidejoonele ristjoone, mida pikendame ringiga lõikumiseni. Lõige *mn* on ulatus, mida vajame jätkuks kuuekordsele raadiusele.



110
113
115
111
r
116
117
M
R + r
B B'
D D'
C C'
E E'
m m'
112
114
90°
r
y y'
x x'
r'
F F'
X X'
A A'


118
P
m
90°
90°
T
T
m,
119
S
T
a
e
m‴
f
h
m
m
m″
g
b
d
c
120
b
g
d
m
h
e
m,
i
f
m″
a
c
121
B
C
A
O
r
O2
O,
R
A,
C,
B,
122
A
B
C
O,
r
r
R
O,
R+r
C
B,
A,

**Joonestada ring antud kolmnurka.**

Poolitame kolmnurga kaks nurka ja nurga poolitajate lõikepunktist $C$ joonestame ühele küljele ristjoone $Cd$. Täpp $C$ on keskpunkt, ja $Cd$ on raadius otsitavale ringile (joon. 108).

**Antud kolmnurga abc ümber joonestada kaar (joon. 109).**

Kui kolmnurga külgede keskelt joonestada ristjooned, saame nende lõikepunktis $C$ otsitava kaare keskpunkti.

Leht 17.

**Kõverjoonte liitmine.**

Kõverjooni liita nii, et nad ei tekitaks murranguid, nurki, peenendusi ega sõlmi, vaid liituksid ühtlaseks murdjooneks.

Joon. nr. 110 ¼-ringi ja sirgjoone liitmine.
„ „ 111 ½ „ „ „ „
„ „ 112 ½ „ „ „ „
„ „ 113—115 ringi osade liitmine murdjooneks.

Et nende kõveruste liitmine on näha joonestustel, siis ei vaja nad erilist seletust.

**Kahe koonduva sirgjoone liitmine ringjoonega.**

1. viis. Et leida liitjoone keskpunkti $C$, selleks tõmbame joonele $AB$ kõveruse raadiuse kaugusel rööpjoone $Cy$ ja ringile $DD^1$ kõveruse raadiuse kaugusel rööpringi $CC^1$. Joonte lõikepunkt $C$ on kõverjoone $DE$ keskpunkt (joon. 116).

2. viis. Kui on antud ringi osa $DD^1$, siis valime temal kõverjoone ülemineku punkti $D^1$, tõmbame joone $MD^1$ ja joonestame perpendikulaarselt sellele joone $D^1C^1$, mis lõikab $A^1B^1$ punktis $C^1$. Siis $A^1B^1$ asetame $C^1E^1=C^1D^1$ ja joonestame punktis $E^1$ joonele $A^1B^1$ perpendikulaari, mis lõikab $MD^1$ pikenduse punktis $m^1$ ja annab otsitava liitkaare $D^1E^1$ keskpunkti. Kui keskpunktist $m^1$ tõmbame raadiusega $D^1m^1=E^1m^1$ kaare, siis liitub ta antud ringiga punktis $D^1$ ja sirgjoonega $A^1B^1$ punktis $E^1$.

Joonestuse alumine osa kujutab sirgjoone üleminekut kõverjoonte abil, mille joonestamise viis on ühine eelmisega (joon. 117).

## Leht 18.

**Punkt P–st tõmmata ringile riivajad.**

Poolitame $m^1P^1$ kui diameetri ja joonestame punktist $m^1$, kui keskpunktist ringi, mis lõikab antud ringi punktides $TT^1$. Riivajad $TP$ ja $PT^1$ moodustavad raadiustega $Tm^1$ ja $m^1T^1$ täisnurgad (joon. 118).

**Joonestada ringi 3 ringi, mis riivavad 3 punktis antud ringi ja on ka igaüks isekeskis riivajad.**

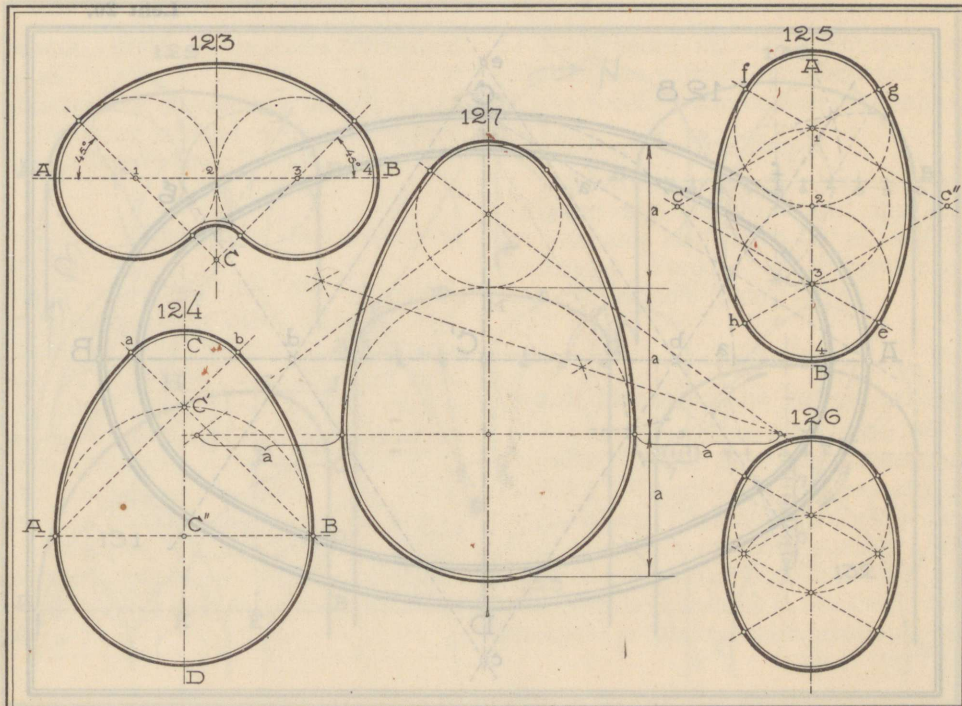
Et leida riivavate ringide $Tfh$, $bfg$ ja $hgd$ keskpunkte $m_1$, $m_2$ ja $m_3$, selleks jagame ringi kolmeks ühesuuruseks sektoriks, nagu näidatud joonisel 119.

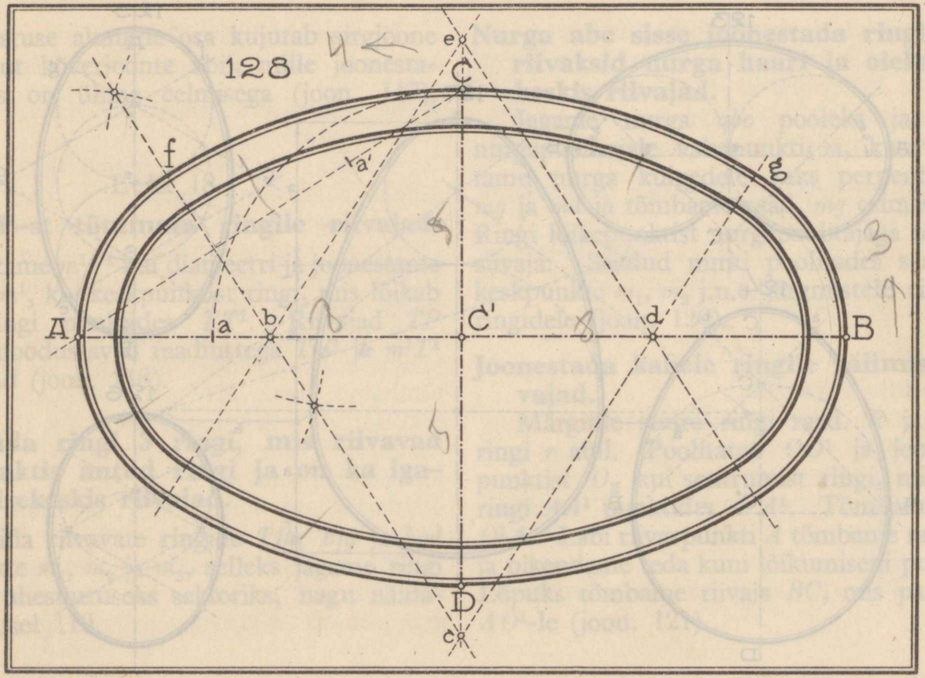
**Nurga abc sisse joonestada ringid, mis riivaksid nurga haari ja oleksid isekeskis riivajad.**

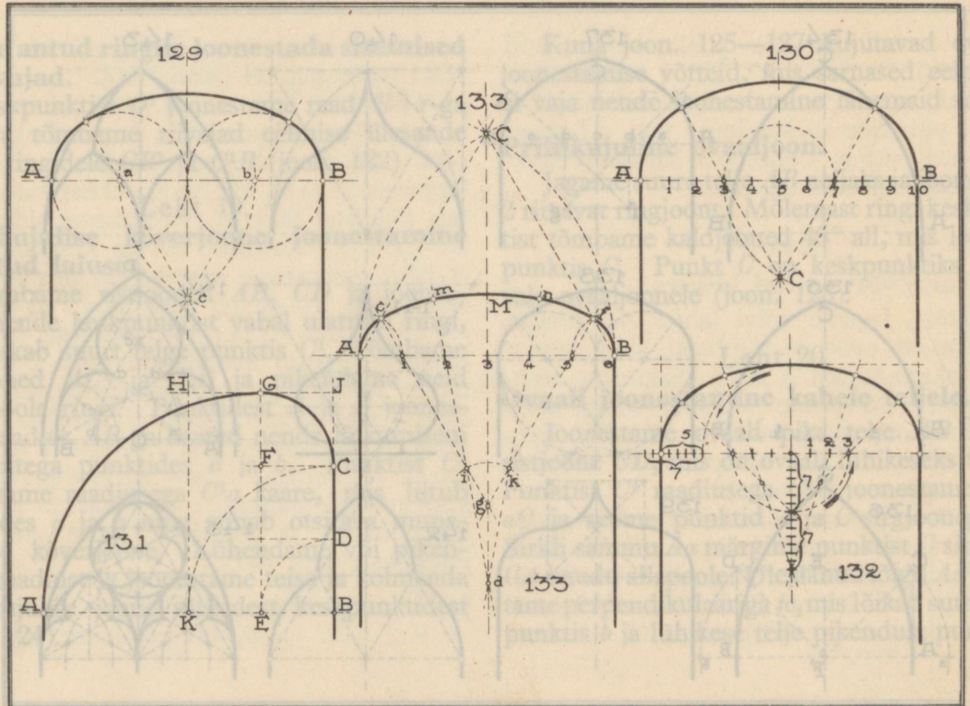
Jagame nurga *abc* pooleks ja võtame nurgapoolitajale vabapunkti $m$, kust joonestame nurga külgedele kaks perpendikulaari $mg$ ja $md$ ja tõmbame raad. $mg$ esimese ringi. Ringi lõikepunktist nurgapoolitajaga tõmbame riivaja. Saadud nurki poolitades saame rea keskpunkte $m_1$, $m_2$ j.n.e. järgmistele riivajatele ringidele (joon. 120).

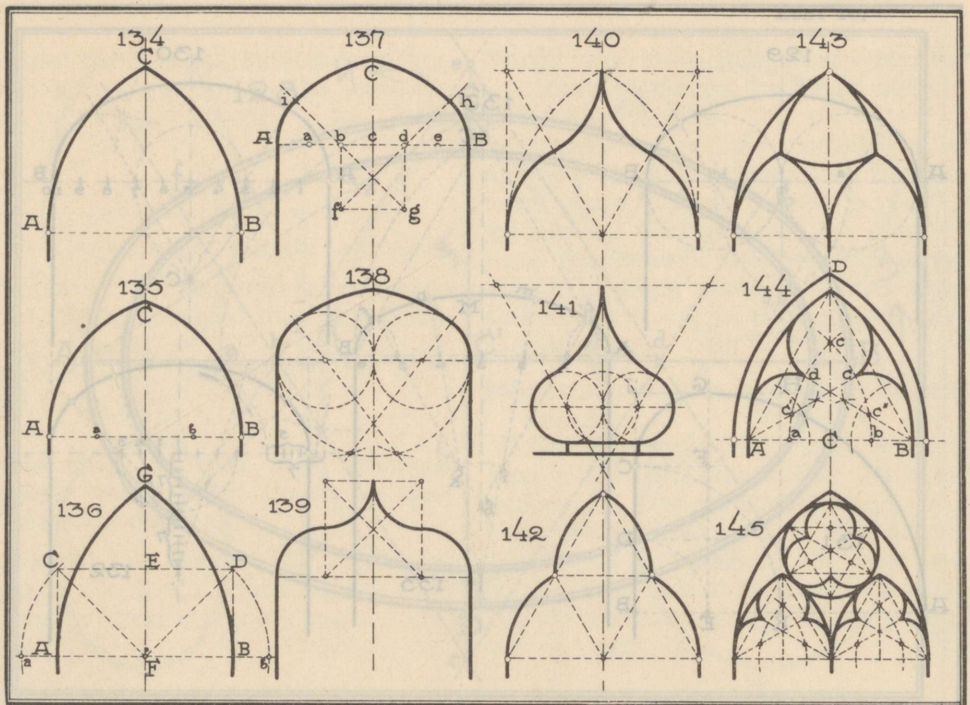
**Joonestada kahele ringile välimised riivajad.**

Märgime suure ringi raad. $R$ ja väikese ringi $r$ abil. Poolitame $OO^1$ ja joonestame punktist $O_2$ kui sentrumist ringi, mis lõikab ringi $AA^1$ punktides $A$ $A^1$. Tõmbame riivaja $O^1A$. Läbi riivaspunkti $A$ tõmbame raad. $OA$ ja pikendame teda kuni lõikumiseni punktis $B$. Lõpuks tõmbame riivaja $BC$, mis paralleelne $AO^1$-le (joon. 121).


123
A
1
2
3
4
B
45°
45°
C
124
a
b
C
C'
C''
A
B
D
127
a
a
a
a
a
125
A
f
g
1
C'
2
C''
3
h
e
4
B
126


128
e
C
f
a'
g
A
a
b
C'
d
B
D
c


129
130
131
132
133


134
C
A
B
135
C
A
a
b
B
136
G
C
E
D
A
B
a
F
b
137
C
i
h
A
a
b
c
d
e
B
f
g
138
139
140
141
142
143
144
D
c
d
c
c'
c''
a
b
A
C'
B
145

**Kahele antud ringile joonestada sisemised riivajad.**

Keskpunktist $O^1$ joonestame raad $R+r$-ga ringi ja tõmbame riivajad eelmise ülesande põhjal ringidele $CB^1$ ja $C^1B$ (joon. 122).

Leht 19.

**Munakujulise kõverjoone joonestamine antud laiuses.**

Tõmbame ristjooned $AB$, $CD$ ja joonestame nende keskpunktist vabal ulatusel ringi, mis lõikab suurt telge punktis $C^1$. Tõmbame sidejooned $AC^1$ ja $C^1B$ ja pikendame neid väljaspoole ringi. Punktidest $A$ ja $B$ joonestame raadius $AB$-ga kaared nende lõikumiseni sirgjoontega punktides $a$ ja $b$. Punktist $C^1$ joonestame raadiusega $C^1a$ kaare, mis liitub punktides $a$ ja $b$ ning annab otsitava munakujulise kõverjoone. Lühendame või pikendame raadiust ja joonestame teise ja kolmanda munakujulise joone samadest keskpunktidest (joon. 124).

Kuna joon. 125—127 kujutavad ovaalide joonestamise võtteid, mis sarnased eelmisega, ei vaja nende joonestamine lähemaid seletusi.

**Prillikujuline ovaaljoon.**

Jagame suure telje $AB$ neljaks ja joonestame 2 riivavat ringjoont. Mõlemast ringi keskpunktist tõmbame kaldjooned 45° all, mis lõikuvad punktis $C$. Punkt $C$ on keskpunktiks otsitavale ovaaljoonele (joon. 123).

Leht 20.

**Ovaali joonestamine kahele teljele.**

Joonestame ovaali pika telje $AB$ keskelt ristjoone $CD$, mis on ovaali lühikeseks teljeks. Punktist $C^1$ raadiusega $C^1C$ joonestame kaare $aC$ ja seome punktid $A$ ja $C$ sirgjoonega $AC$. Sirkli sammu $Aa$ märgime punktist $C$ sirgjoone $CA$ kaudu allapoole. Ülejäänud lõigu $Aa^1$ poolitame perpendikulaariga $fc$, mis lõikab suurt telge punktis $b$ ja lühikese telje pikendust punktis $c$, mis on ovaali pahema poole keskpunktid (joon. 128).

Ovaali parempoole keskpunktid *d* ja *e* leitakse punktide ülekandmise teel. Lühendame raadiused ja joonestame samadest keskpunktidest vähemad ovaalid.

Leht 21.

**Joonestada võlv antud laiuses.**

I võte. Jagame võlvi laiuse *AB* neljaks ühesuuruseks osaks ja tõmbame kaks riivajat ringi keskpunktidest *a* ja *b*. Samadest keskpunktidest joonestame raadiuse *ab*-ga kaks kaart, mis lõikuvad punktis *c*. Saadud kolm punkti *a*, *b*, *c* on keskpunkteks otsitava võlvi ovaaljoontele (joon. 129).

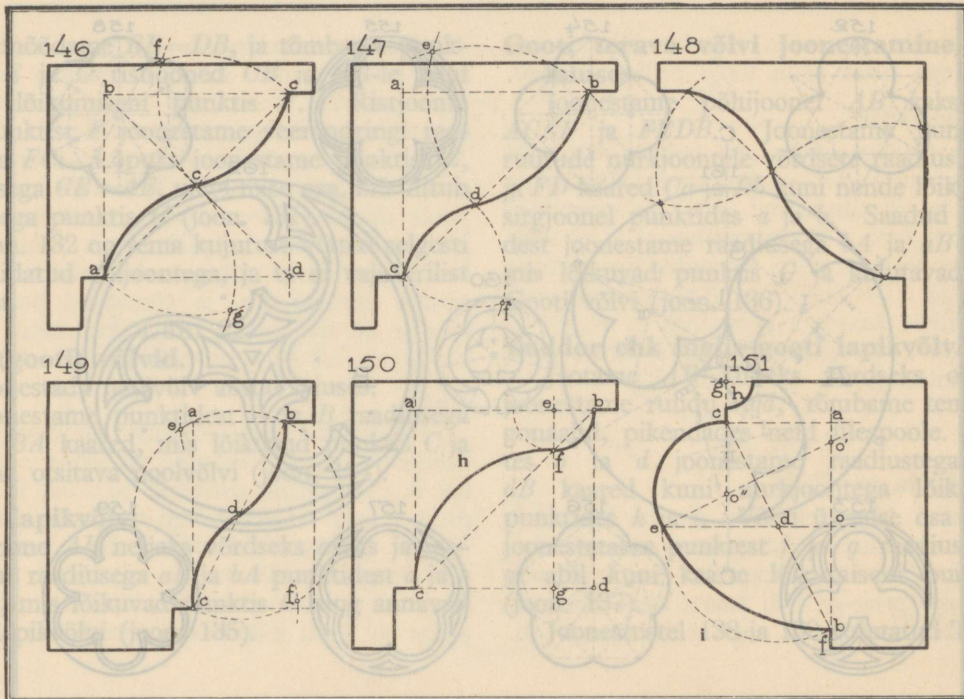
II võte. Jagame võlvi laiuse *AB* 10 võrdseks osaks. Võtame 5 keskpunktiks ja tõmbame raadiusega 3—5 poolringi 3—7. Punktidest 3 ja 7 raadiusega 3—7 tõmbame kaared kuni nende lõikumiseni punktis *C*. Saadud punktid 3—7 ja *C* on keskpunktiks otsitava võlvi joonestamisel (joon. 130).

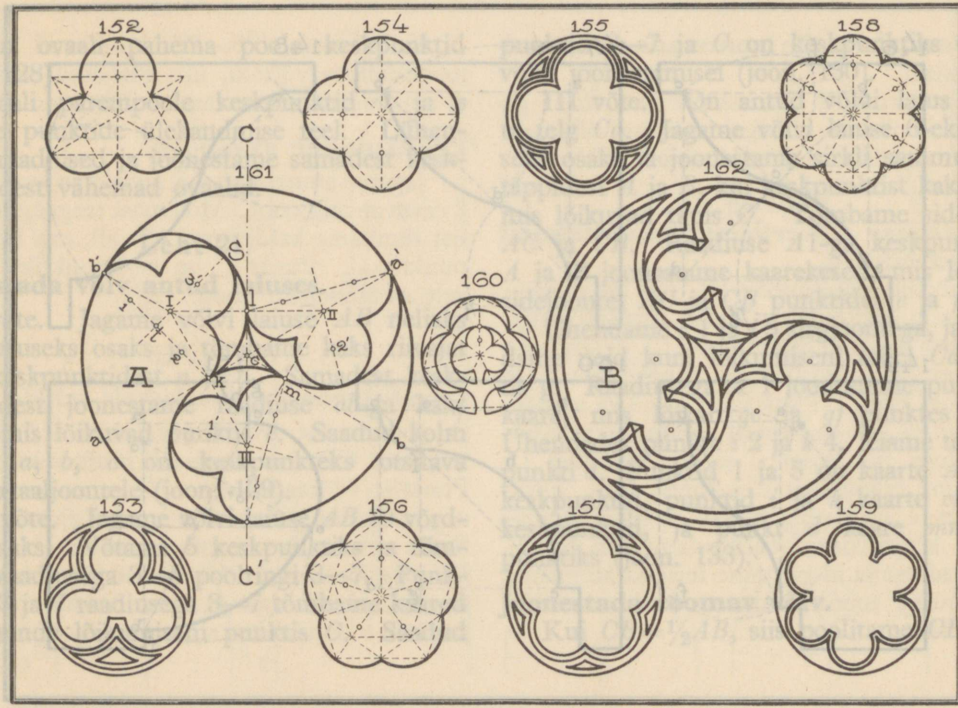
III võte. On antud võlvi laius *AB* ja ta telg *Cd*. Jagame võlvi laiuse 6-eks võrdseks osaks ja joonestame sirkli sammuga *AB* täppidest *A* ja *B*, kui keskpunktist kaks kaart, mis lõikuvad täpis *C*. Tõmbame sidejooned *AC* ja *CB*. Raadiuse *A*1-ga keskpunktidest *A* ja *B* joonestame kaarekesed, mis lõikuvad sidejoontel *AC* ja *CB* punktides *c* ja *f*.

Ühendame *c* 1 ja *f* 5 sirgjoontega, ja pikendame neid kuni lõikumiseni teljel *Cd* punktis g. Raadiusega *A* 1 joonestame punktist *g* kaare, mis lõikab *gc* ja *gf* punktes *i* ja *k*. Ühendades punkte *i* 2 ja *k* 4, leiame teljel *Cd* punkti *d*. Punktid 1 ja 5 on kaarte *Ac* ja *fB* keskpunktid, punktid *i* ja *k* kaarte *cm* ja *nf* keskpunktid, ja punkt *d* kaare *mn* keskpunktiks (joon. 133).

**Joonestada roomav võlv.**

Kui $CB = \frac{1}{2}AB$, siis poolitame *CB* punk-


146
147
148
149
150
151


152
154
155
158
161
162
160
153
156
157
159
C
C'
S
A
B
I
II
III
k
m

tis $D$, mõõdame $EB = DB$, ja tõmbame punktidest $E$ ja $C$ ristjooned $CB$ ja $AB$-le kuni nende lõikumiseni punktis $F$. Ristjoonte lõikepunktist $F$ joonestame veerandringi raadiusega $FC$. Lõpuks joonestame punktist $E$, raadiusega $GE = AE$, võlvi teise osa, mis liitub esimesega punktis $G$ (joon. 131).

Joon. 132 on tema kujutuse võtted selgesti ära näidatud abijoontega, ja ta ei vaja erilist seletust.

Leht 22.

**Nool (gooti) võlvid.**

Joonestada noolvõlv antud laiuses.

Joonestame punktidest $A$ ja $B$ raadiusega $AB$ ja $BA$ kaared, mis lõikuvad punktis $C$ ja annavad otsitava noolvõlvi (joon. 134).

**Gooti lapikvõlv.**

Jagame $AB$ neljaks võrdseks osaks ja joonestame raadiusega $aB$ ja $bA$ punktidest $a$ ja $b$ kaared, mis lõikuvad punktis $C$ ning annavad gooti lapikvõlvi (joon. 135).

**Gooti terava võlvi joonestamine antud laiuses.**

Joonestame põhijoonel $AB$ kaks ruutu $ACEF$ ja $FEDB$. Joonestame punktist $F$ ruutude nurkjoontele võrdsete raadiustega $FC$ ja $FD$ kaared $Ca$ ja $Db$ kuni nende lõikumiseni sirgjoonel punktides $a$ ja $b$. Saadud punktidest joonestame raadiusega $bA$ ja $aB$ kaared, mis lõikuvad punktis $G$ ja kujutavad terava Gooti võlvi (joon. 136).

**Tuddor ehk inglis-gooti lapikvõlv.**

Jaotame $AB$ kuueks võrdseks osaks ja joonestame ruudu $bfgd$, tõmbame temas diagonaalid, pikendades neid ülespoole. Punktes $b$ ja $d$ joonestame raadiustega $bA$ ja $dB$ kaared kuni nurkjoontega lõikumiseni punktides $h$ ja $i$. Võlvi ülemise osa liitosad joonestatakse punktest $f$ ja $g$ raadiuste $fh$ ja $gi$ abil kuni kaarte lõikumiseni punktis $C$ (joon. 137).

Joonestustel 138 ja 139 kujutatud Tuddor-gooti võlvide ehitus on selgesti näha joonestustest, ega nõua selle tõttu erilist seletust.

**Sega-gootivõlv.**

Jagame võlvi laiuse *AB* neljaks võrdseks osaks, raadiuse *AB*-ga tõmbame keskpunktidest *A* ja *B* väliskaared *ADB* ja sisemised täppkaared *acb*. Keskpunktide $c^1$ ja $c^2$ leidmiseks joonestame võlvi kavandile korrapärase kolmnurga *ADB* ja tõmbame nurgapoolitajad, mis lõikuvad kaartega punktides *c*, $c^1$, $c^2$ — ja mis on keskpunkteks Gooti sisemise võlvi joonestamisel (joon. 144, 145, 152).

## Leht 23.

**Karniisid ja profiilid.**

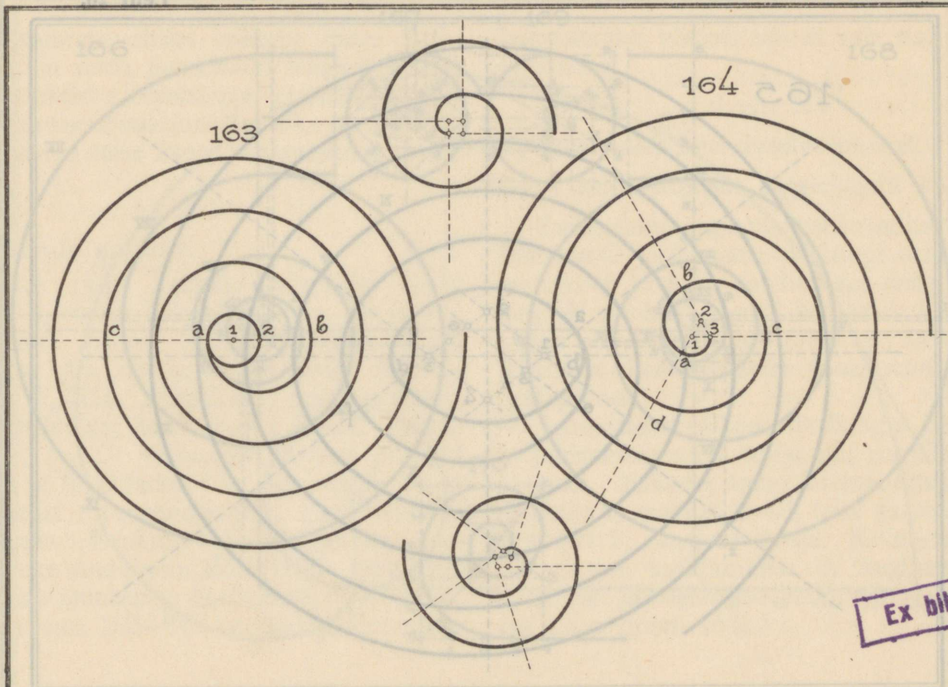
Karniisi kõrguseks on ruudu külg *ab*. Tõmbame ruudus kaks diagonaali, nende lõikepunkti *c* võtame keskpunktiks ja joonestame raadiuse *ac* ja *cc*-ga neli kaart, kuni lõikumiseni punktides *g* ja *f*, nagu näha joon. 146. Tõmbame punktidest *g* ja *f* sama raadiusega kaks liitkaart, mis annavad otsitava karniisi.

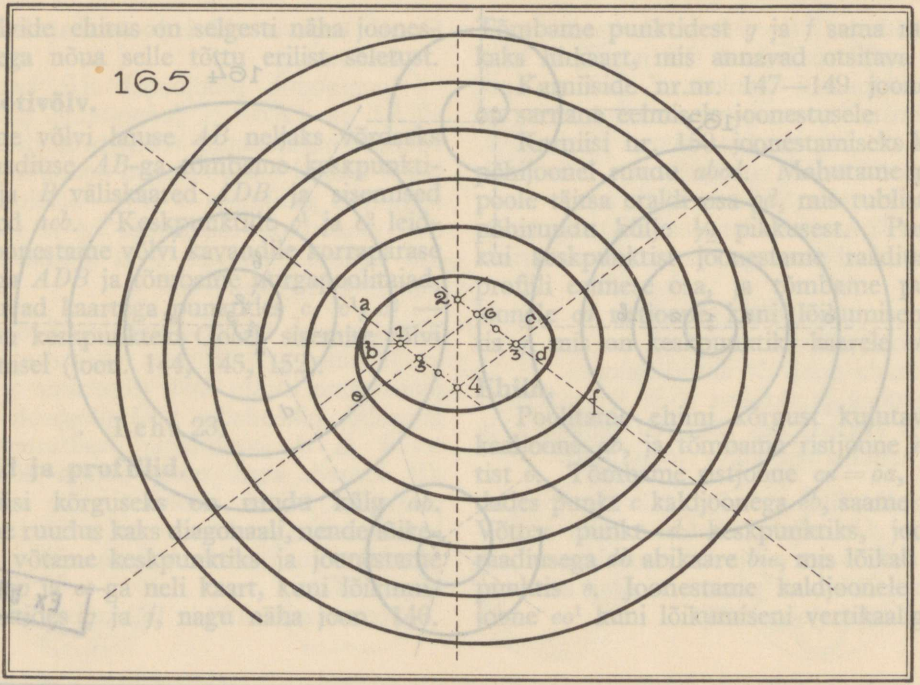
Karniiside nr.nr. 147—149 joonestamine on sarnane eelmisele joonestusele.

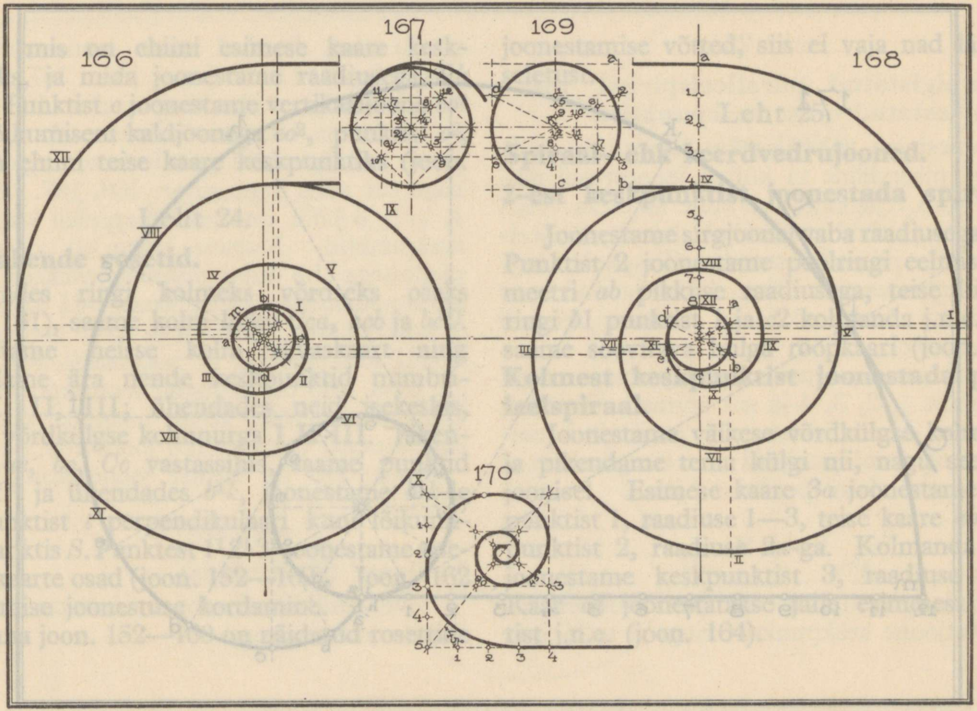
Karniisi nr. 150 joonestamiseks kujutame põhijoonel ruudu *abcd*. Mahutame paremale poole täitsa eraldi osa *gd*, mis tublisti lühem põhiruudu külje ½ pikkusest. Punktist *e*, kui keskpunktist joonestame raadiuse *eb*-ga profiili esimese osa, ja tõmbame punktist *e* joonele *cd* ristjoone kuni lõikumiseni punktis *g*, mis on keskpunktiks kaarele *chf*.

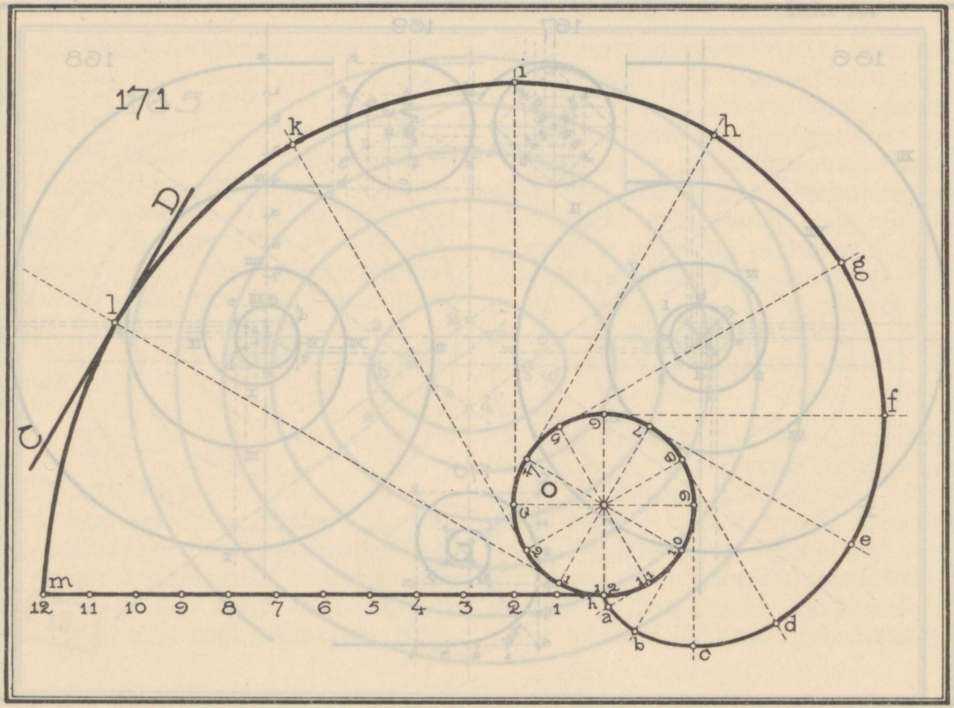
**Ehiin.**

Poolitame ehiini kõrgust kujutava vertikaaljoone *ab*, ja tõmbame ristjoone *eo* punktist *o*. Tõmbame ristjoone *ca* = *oa*, ja ühendades punkt *c* kaldjoonega *cb*, saame punkt *d*. Võttes punkt *d* keskpunktiks, joonestame raadiusega *db* abikaare *bie*, mis lõikab joont *do* punktis *e*. Joonestame kaldjoonele *cb* ristjoone $eo^1$ kuni lõikumiseni vertikaaliga punk-


163
164
c
a
1
2
b
3
d


165
a
b
c
d
e
f
1
2
3
4
5
6


167
169
166
168
170


171
i
k
h
D
g
l
f
C
O
e
m
d
c
b
a
h
12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

tis $o^2$, mis on ehiini esimese kaare keskpunktiks, ja mida joonestame raadiusega $o^1b = o^1e$. Punktist $c$ joonestame vertikaaljoone $co^2$ kuni lõikumiseni kaldjoonega $eo^2$, punktis $o^2$, mis on ehiini teise kaare keskpunktiks (joon. 151).

Leht 24.

**Gootiakende rosetid.**

Jagades ringi kolmeks võrdseks osaks (joon. 161), saame kolm lõiku *Cca*, *acb* ja *bcC*. Joonestame neisse kolm riivaskaart ning tähendame ära nende keskpunktid numbritega I, II, III; ühendades neid isekeskis, saame võrdkülgse kolmnurga I II III. Pikendame *ac*, *bc*, *Cc* vastassihis, saame punktid $a^1$ $b^1$ $C^1$ ja ühendades $b^1k$, joonestame $b^1k$-le keskpunktist *t* perpendikulaari kuni lõikumiseni punktis *S*. Punktest $1^1\,2^1\,3^1$ joonestame sisemiste kaarte osad (joon. 152—162). Joon. 162 on eelmise joonestuse kordamine.

Kuna joon. 152—160 on näidatud rosettide joonestamise võtted, siis ei vaja nad lähemat seletust.

Leht 25.

**Spiraal- ehk keerdvedrujooned.**

**2-est keskpunktist joonestada spiraal.**

Joonestame sirgjoonel vaba raadiusega ringi. Punktist 2 joonestame poolringi eelmise diameetri *ab* pikkuse raadiusega, teise liitpoolringi *b*1 punktist 1 ja *c*2 kolmanda j.n.e., kuni saame soovitava hulga rööpkaari (joon. 163).

**Kolmest keskpunktist joonestada paralleelspiraal.**

Joonestame väikese võrdkülgse kolmnurga ja pikendame tema külgi nii, nagu see näha joonisel. Esimese kaare 3*a* joonestame keskpunktist 1, raadiuse 1—3, teise kaare *ab* keskpunktist 2, raadiuse 2*a*-ga. Kolmanda kaare joonestame keskpunktist 3, raadiuse 3*b*-ga. Kaar *cd* joonestatakse jälle esimesest punktist j.n.e. (joon. 164).

## Leht 26.

**Kokkupigistatud paralleelspiraal, mis joonestatud 6-est keskpunktist.**

Joonestame vabasuuruses längruudu 1, 2, 3, 4 ja pikendame ta küljed joonestusel näidatud sihis. Jagame ühe külje kolmeks võrdseks osaks ja tõmbame küljele 1 ja 2 paralleeljoone 5 6, pikendades teda väljaspoole längruutu, nagu see näha joon. 165. Saadud kuus punkti on keskpunktideks otsitava spiraali joonestamisel.

Joonestame alguses vabasuuruses ovaali punktidest 1, 2, 3, 4 ja siis spiraali. Esimese kaugeneva keeru joonestame punktist 5 raadiusega 5*a* kuni punktini *e*, teise punktist 6 raadiusega 6*e* kuni punktini *f* j.n.e.

## Leht 27.

**Joonia spiraal.**

Joonia spiraali kaarte leidmiseks joonestame kahe ristjoone keskpunktist ringi ja selle sisse ruudu *abcd*. Saadud ruutu joonestame teise ruudu 9, 10, 11, 12 (vaata joon. 167, suurendatud kujul), mille diagonaalid 10, 12 ja 9,11 jaotame kuueks võrdseks osaks ja ühendame jaotuspunktid paralleelsete sirgjoontega, nagu see näha joon. nr.nr. 166, 167. Punktid 1, 2, 3, 4 j.n.e. on otsitava spiraali kaarjoonte keskpunktid. Esimese kaare *m*1 joonestame raadiusega 1*m* kuni sisemise väikese ruudu külje pikenduseni, teise kaare I-II joonestame 2 keskpunktist, raadiusega 2-1, kolmas kaar II-III keskpunktist 3, raadiusega 3-II, j.n.e.

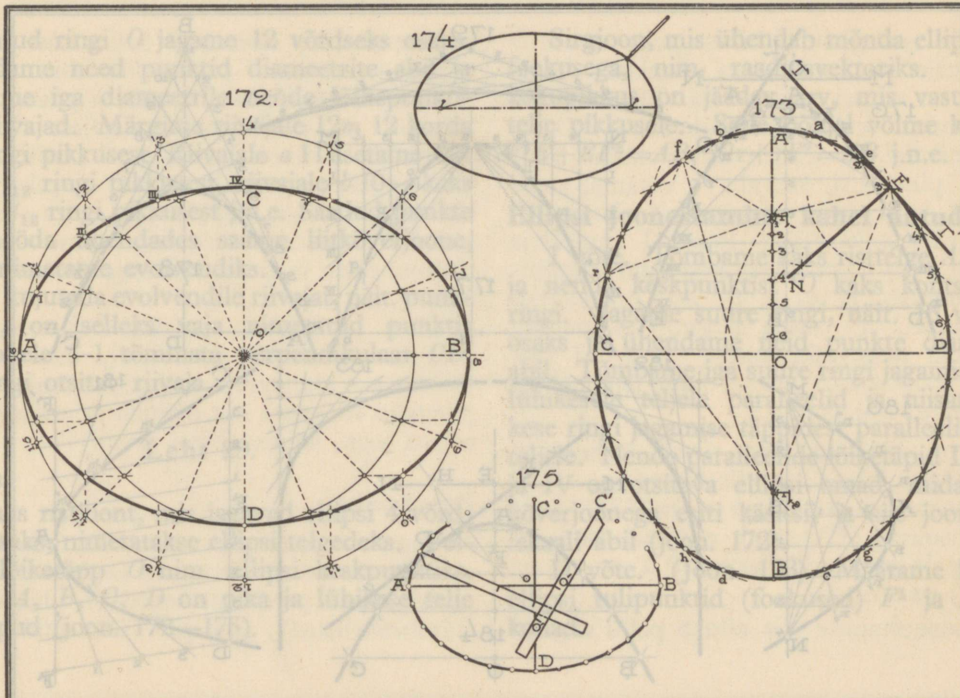
Joon. 168 on näidatud jooniaspiraali teine joonestamise võte, ainult teisiti keskpunktide paigutusega, mida näitab joon. 169.

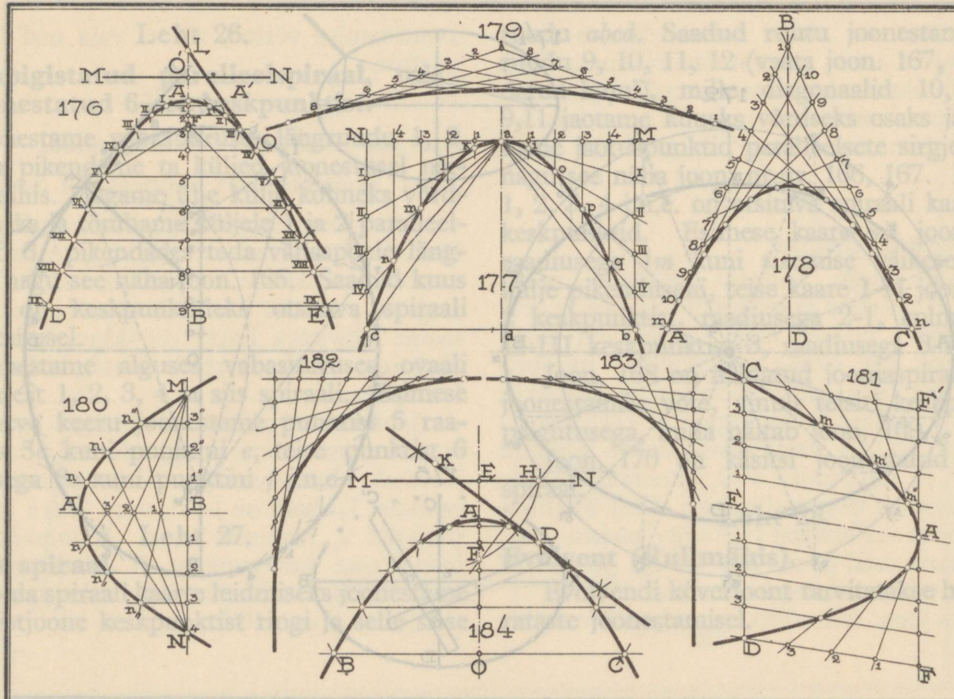
Joon. 170 on käsitsi joonestatud Jooniaspiraal.

## Leht 28.

**Evolvent (Rullmähis).**

Evolvendi kõverjoont tarvitatakse hammasrataste joonestamisel.


172.
173
174
175
A
B
C
D
O
C′
N
T


176
177
178
179
180
181
182
183
184

Antud ringi $O$ jagame 12 võrdseks osaks. Ühendame need punktid diameetrite abil ja tõmbame iga diameetrile nende lõikepunktidest riivajad. Märgime riivajale $12m$ 12 korda $^1/_{12}$ ringi pikkusest. Riivajale $a$ 11 asetame üks kord $^1/_{12}$ ringi pikkusest, riivajale $b$ 10—kaks korda $^1/_{12}$ ringi pikkusest j.n.e. Saadud punkte järgimööda ühendades saame liitkõverjoone, mida nimetame evolvendiks.

Et kujutada evolvendile riivajat, näit. punktist 1, on selleks vaja nimetatud punktis sirgjoonele 1-1 tõmmata perpendikulaar $CD$, mis ongi otsitav riivaja.

Leht 29.

**Ellips.**

Kaks ristjoont, mis jagavad ellipsi 4 võrdseks osaks, nimetatakse ellipsi telgedeks. Telgede lõiketäpp $O$ nim. ellipsi keskpunktiks. Täpid $A$, $B$, $C$, $D$ on pika ja lühikese telje lõpptipud (joon. 172—175).

Sirgjoon, mis ühendab mõnda ellipsi täppi fookusega, nim. raadiusvektoriks. Nende kogupikkus on jäädav arv, mis vastab pika telje pikkusele. Selle põhjal võime kirjutada $F^1E+EF^2=AB$, $F^1r+rF^2=AB$ j.n.e.

**Ellipsi joonestamine kahel antud teljel.**

I võte. Tõmbame kaks risttelge $AB$ ja $CD$ ja nende keskpunktist $O$ kaks kontsentrilist ringi. Jagame suure ringi, näit. 16 võrdseks osaks ja ühendame neid punkte diameetrite abil. Tõmbame iga suure ringi jagamise täpist lühikesele teljele paralleelid ja niisama väikese ringi jagamise täppidest paralleelid pikale teljele. Nende paralleelide lõiketäpid I, II, III ja IV on otsitava ellipsi omad, mida seome kõverjoonega esiti käsitsi, ja siis joonsule ja lekaali abil (joon. 172).

II võte. (Joon. 173) Määrame kindlaks ellipsi tulipunktid (fookused) $F^1$ ja $F^2$ asukohad.

Selleks märgime lühikese telje tipust $D$ pikale telje raadius $AO$-ga punktid $F^1$ ja $F^2$, mis on ellipsi tulipunktid. Fookuse $F^1$ ja keskpunkti $O$ vahel tähendame rea 1, 2, 3,..... punkte niiviisi, et nende vahe fookusest kaugenedes pikkamisi kasvab. Võtame sirkli sammu 1 kuni $A$ ja joonestame fookusest $F^1$ ja $F^2$ 4 väikest kaarekest. Punkt 1 kuni $B$ ja fookusest $F^1$ ja $F^2$ neli kaarekest kuni lõikumiseni punktides $a$, $b$, $c$, $d$, mis on otsitava ellipsi omad. Et saada järgmist 4 punkti, joonestame uuesti fookustest $F^1$ ja $F^2$ raadiustega 2-$A$ ja 2-$B$ kaared kuni lõikumiseni punktides $e$, $f$, $g$, $h$, j.n.e.

Kui on vaja joonestada riivaja ja normaal mõnele täpile, näit. 3-le, siis ühendame antud täpi fookustega ja poolitame nurga $F^1 3 F^2$. Selle nurga poolitaja $EN$ ongi normaal täpis 3, kuna temale perpendikulaarne $T$ $T$ on riivaja (tangens) punktis $E$.

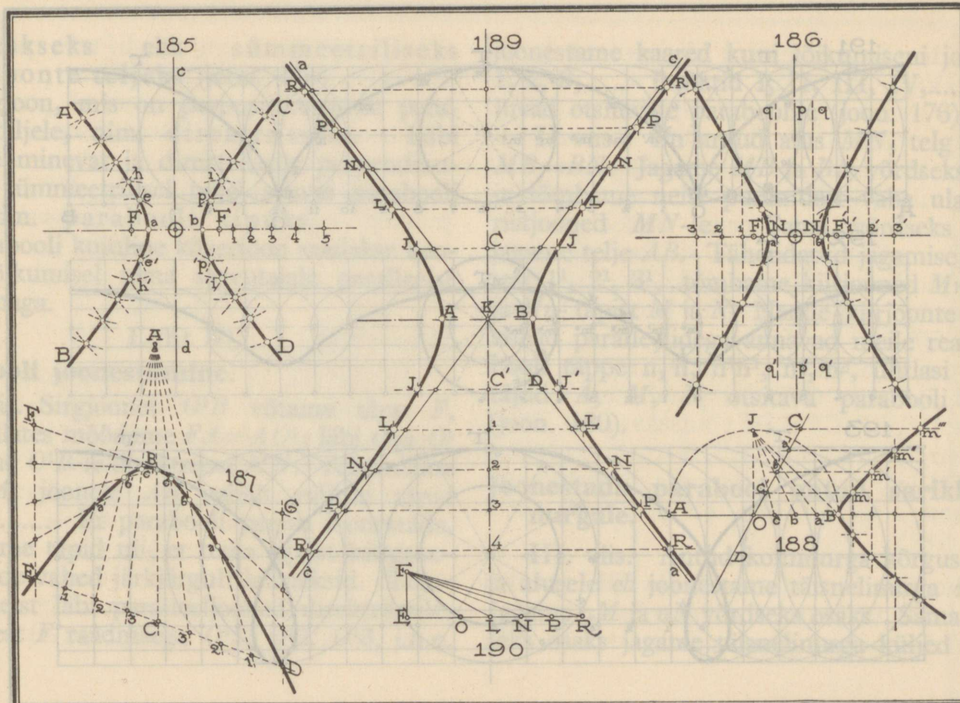
See joonestamise viis nõuab palju aega ja hoolast täppide otsimist. Sellepärast joonestatakse ovaal sageli paberi riba abil. Selleks märgime paberi ribale ½ ellipsi pikast teljest $AB = Ao$ ja pool väikesest teljest $CD = Co$. Nihutame riba nii, et täpp $O$ püsib alatasa ellipsi lühikesel teljel ja täpp $O^1$ — pikal teljel, siis märgib $C^1$ rea ellipsi täppe, nagu see näha joon. 175. Seda võtet tarvitatakse sageli ta lihtsuse tõttu ja ei ole vaja isegi fookuste otsimist.

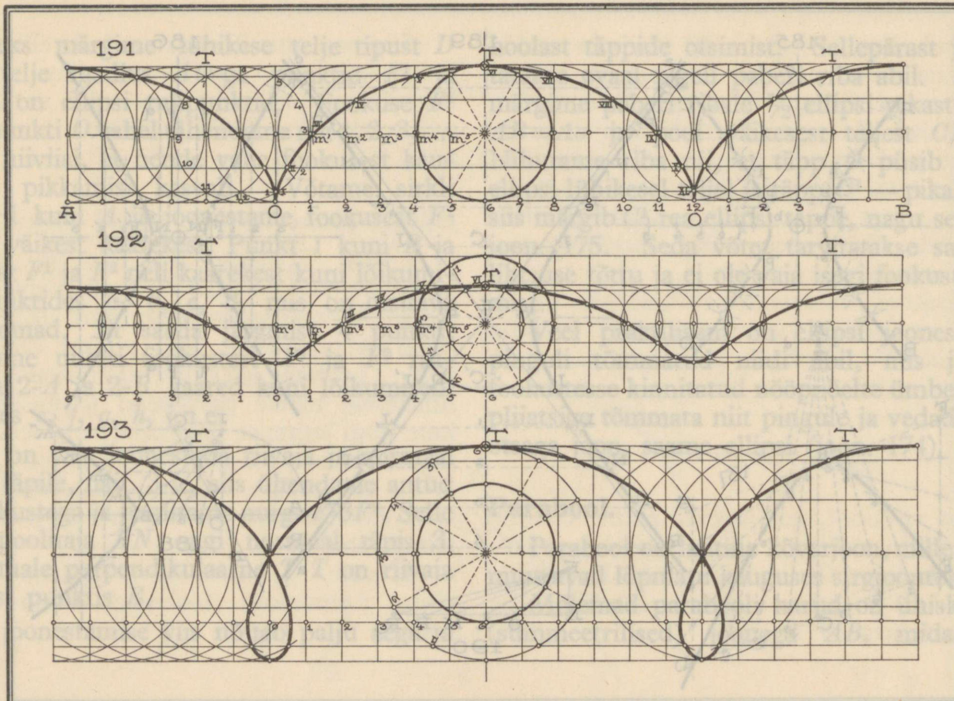
Veel praktilisem on ellipsi joonestamine pinguli tõmmatud niidi abil, mis jookseb fookustesse kinnitatud nööpnõelte ümber. Kui pliiatsiga tõmmata niit pingule ja vedada tema otsaga joon, saame ellipsi (joon. 174).

**Parabool.**

Parabool on lahtine kõverjoon, mille kaared muutuvad lõpmatu kauguses sirgjoonteks.

Mõlemad parabooli harud on ühiskesksed (sümmeetrilised) joonega $AB$, mida nim.


185
189
186
187
188
190


191
T
A
O
B
192
193

ühiskeskseks ehk sümmeetriliseks kõverjoonte teljeks (joon. 176).

Sirgjoon, mis on perpendikulaarne parabooli teljele, nim. direktriissiks. Läbi fookuse minevat ja direktriissile perpendikulaarset sümmeetrilisel teljel asuvat parabooli täppi nim. parabooli tipuks.

Parabooli kujuline kõverjoon saadakse koonuse lõikumisel tema saavutajale paralleelse tasapinnaga.

Leht 30.

**Parabooli joonestamine.**

I viis. Sirgjoonel $O^1B$ võtame täpp $F$, sellest alates mõõdame $FA = AO^1$; läbi täpi $O^1$ tõmbame $O^1B$-le direktriissi $MN$. Tähendame täpilt $A$, joonele $AB$ vabalt valitud täpid 1, 2, 3,...... Et parabooli parem joonestada, tähendame täpid nii, et tema tipust kaugenedes nende vahed järkjärgult laieneksid. Tõmbame neist läbi paralleeljooned direktriissile. Fookusest $F$ raadiusega $O^11$, $O^12$, $O^13$, j.n.e. joonestame kaared kuni lõikumiseni joontega 1, 2, 3,...... Punktid I, II, III, IV,...... kuuluvad otsitavale paraboolile (joon. 176).

II viis. On antud alus $MN$, telg $AB$ ja $MB = BN$. Jagame $MB$ ja $BN$ võrdseks osaks ja tõmbame neist punktidest vaba ulatusega ristjooned $MN$-le. Sama võrdseks osaks jagame telje $AB$. Tähendatud jagamise punktest $1^1$, $2^1$, $3^1$, tõmbame kiirjooned $Mn$, $Mn^1$ ja $Mn^2$ täpist $M$ ja $N$. Nende kiirjoonte lõikekohad paralleelidega annavad meile rea parabooli täppe n, n, $n^1n^1$, $n^2$, $n^2$, ühtlasi on ka täpid $A$, $M$, $N$ otsitava parabooli omad (joon. 180).

**Joonestada parabool antud sarikkolmnurgale.**

III. viis. Antud kolmnurga kõrgusele $ad$ ja alusele $cb$ joonestame täisnelinurga $cNMb$. Jagame $aM$ ja $aN$ võrdseks osaks. Sama võrdseks osaks jagame täisnelinurga küljed $Nc$ ja

$Mb$ ja ühendame punkti $a$ kiirjoontega I, II, III ja IV-ga. Punktid $c$, $n$, $m$, $l$, $k$, $a$, $i$, $o$, $p$, $q$, $b$, on otsitava parabooli omad (joon. 177).

See joonestamise viis on oma lihtsuse poolest hää käsitada joonestamise praktikas.

IV viis. Sirgjoonel ehitame sarikkolmnurga, mille küljed jagame võrdseks osaks. Ühendame jaotuspunktid sirgjoonega, nagu näitab joonestus. Joonte lõikumisel saadakse rida punkte, mis on otsitava parabooli omad. Joon. 179, 182 ja 183.

V viis. Tõmbame $CF^1$ ja $DF$, mis on paralleelsed $Ea$-le ja $CD$, mis paralleelne $F^1F$-le. Jagame $CE$, $ED$, $CF$ ja $DF$ võrdseks osaks. Tõmbame sirgjooned $1m^2$, $2m^1$, $3m$, mis paralleelsed $EA$-le, nende sirgjoonte lõikepunktid kiirjoontega $m$, $m^1$, $m^2$, on parabooli omad (joon. 181).

**Paraboolile tõmmata riivaja läbi punkti K, mis väljaspool direktriissi.**

Esiteks leiame parabooli direktriissi $MN$. Selleks mõõdame parabooli telje pikendusel $AE=AF$, punktist $E$ joonestame perpendikulaari $MN$. Joonestame antud punktist $K$, raadiusega $KF$ kaare $FH$ kuni lõikumiseni juhtivaga punktis $H$, mida ühendame parabooli fookusega $F$. Poolitame kõõlu $HF$ ja ta keskpunktist joonestame perpendikulaari $KD$, mis ongi otsitav riivaja (joon. 184).

## Leht 31.

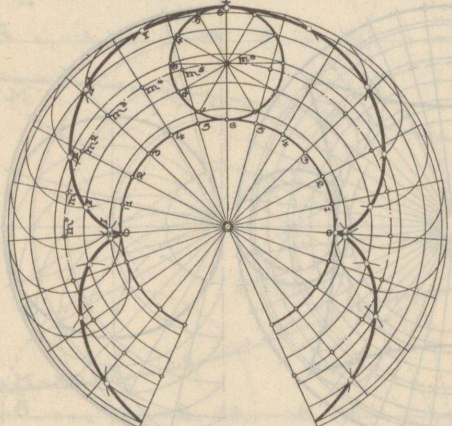
### Hüperbool.

Hüperbool on paariskõverjoon ja koosneb kahest täitsa ühesugusest sümmeetriliselt asetatud lahtisest kõverjoonest $AB$ ja $CD$, mida nim. hüperbooli harudeks. (joon. 185).

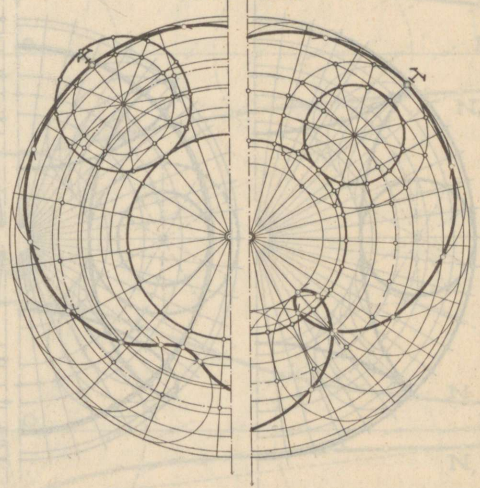
Hüperbooli saame koonuse lõikumisel tasapinnaga, mis paralleelne ta teljele.

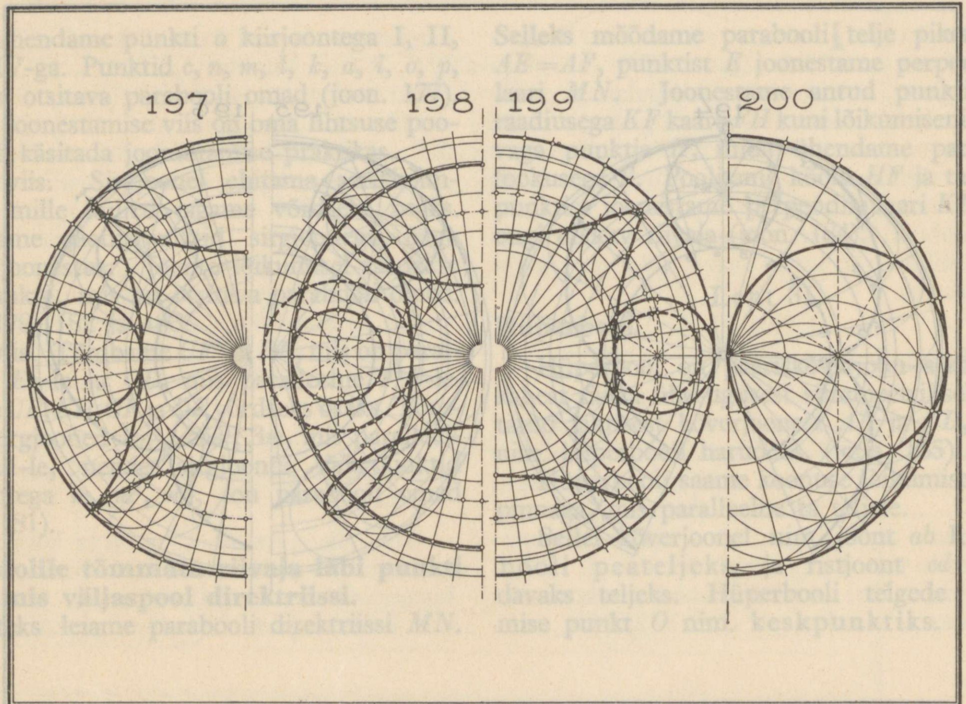
Sellel kõverjoonel nim. joont $ab$ hüperbooli peateljeks, ja ristjoont $cd$ mõeldavaks teljeks. Hüperbooli telgede lõikumise punkt $O$ nim. keskpunktiks. Punk-

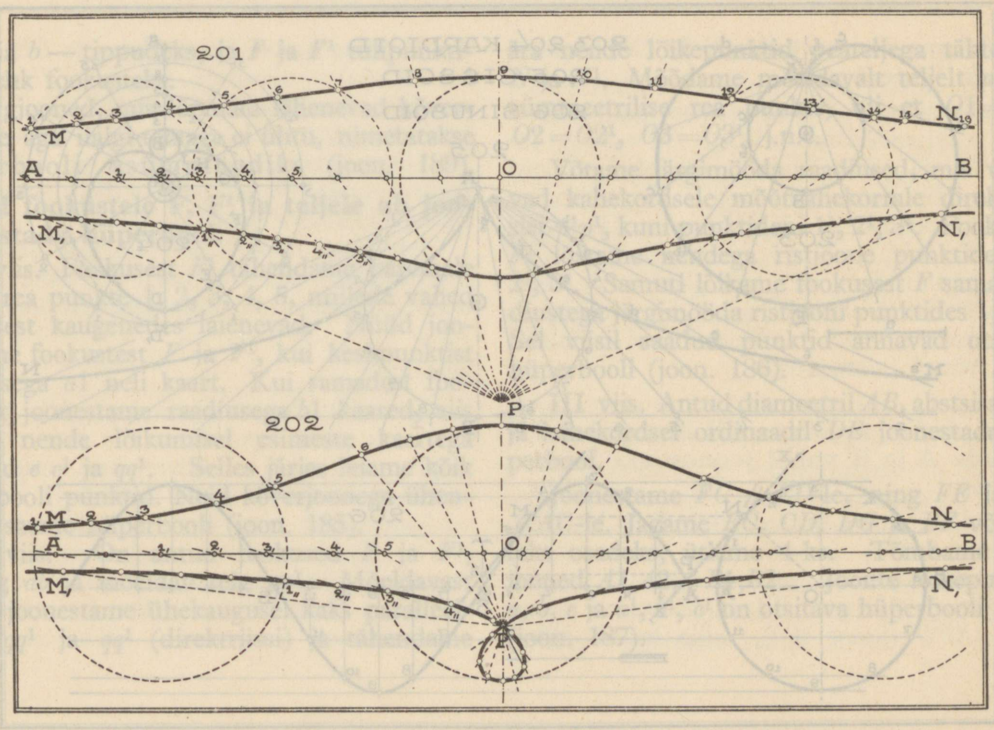
194

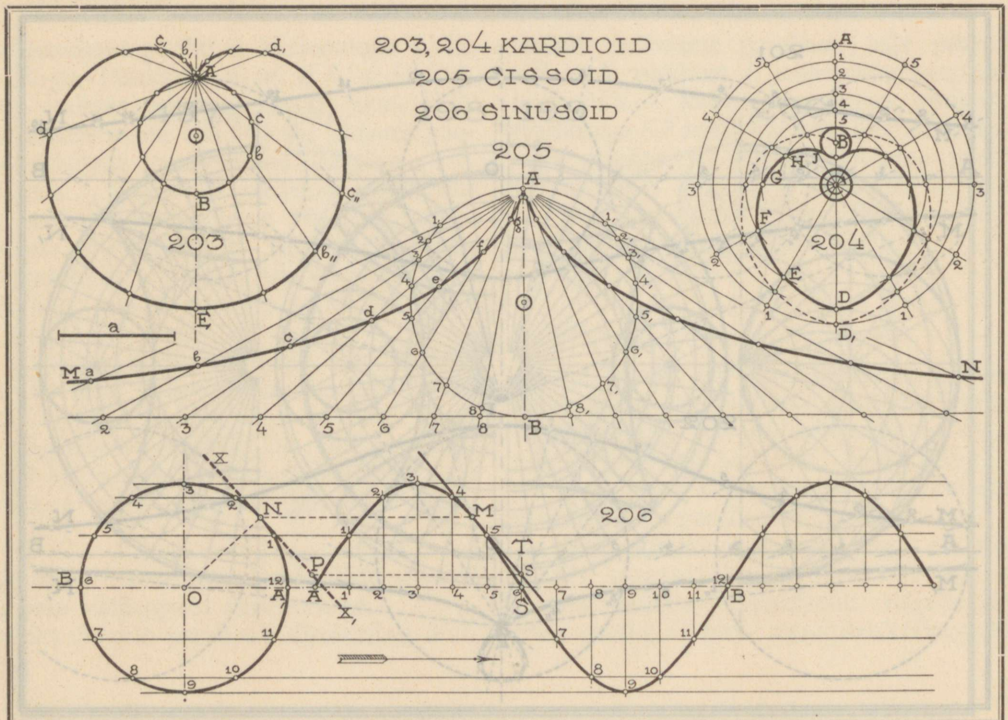


195 196




197
198
199
200


201
202
M
N
A
O
B
M,
N,
P


203, 204 KARDIOID
205 CISSOID
206 SINUSOID
203
204
205
206

tid *a* ja *b* — tippudeks, ja $F$ ja $F^1$ tulipunktideks ehk fookusteks.

Sirgjooned, mis lõpmata lähenevad kõverjoonele aga iialgi temaga ei ühtu, nimetatakse hüperbooli asümptoodiks (joon. 189).

**Antud fookustele F, F¹ ja teljele ab joonestada hüperbool.**

I viis. Fookusest $F^1$ tähendame paremale poole rea punkte 1, 2, 3, 4, 5, millede vahed fookusest kaugenedes laienevad. Nüüd joonestame fookustest $F$ ja $F^1$, kui keskpunktist raadiusega *a*1 neli kaart. Kui samadest fookustest joonestame raadiusega *b*1 kaared, siis saame nende lõikumisel esimeste kaartega punktid $e\ e^1$ ja $qq^1$. Selles järjes leiame kõik hüperbooli punktid. Neid kõverjoonega ühendades saame hüperbooli (joon. 185).

II viis. On antud fookused $F$ ja $F^1$, peatelg *ab* ja mõeldav telg $pp^1$. Mõeldavast teljest joonestame ühekaugusel kaks paralleeljoont $qq^1$ ja $qq^1$ (direktriissi) ja tähendame ära nende lõikepunktid peateljega tähtedega $N$ ja $N^1$. Mõõdame mõeldavalt teljelt $pp^1$-elt sümmeetrilise rea punkte, nii et $O1 = O1^1$, $O2 = O2^1$, $O3 = O3^1$, j.n.e.

Võtame järgimööda raadiused, mis vastavad kahekordsele mõõtvahekorrale direktriissist $p^1p^1$, kuni punktideni $1^1, 2^1, 3^1$. Fookusest $F^1$ lõikame nendega ristjoone punktides $1^1$, $2^1$, $3^1$. Samuti lõikame fookusest $F$ sama raadiustega järgimööda ristjooni punktides 1, 2, 3. Sel viisil saadud punktid annavad otsitava hüperbooli (joon. 186).

III viis. Antud diameetril $AB$, abstsissil $BC$ ja kahekordsel ordinaadil $DE$ joonestada hüperbool.

Joonestame $FG \parallel ED$-le, ning $FE$ ja $GD \parallel AC$-le. Jagame $EC$, $CD$, $DG$ ja $EF$ võrdseteks osadeks, ütleme 4-ks. Tõmbame kiirjooned $A1, A2 \ldots$ $B1, B2 \ldots$ Joonte lõikepunktid $a$, $b$, $c$ ja $a^1$, $b^1$, $c^1$ on otsitava hüperbooli omad (joon. 187).

**Kahel kaas-diameetril $AB$ ja $CD$ joonestada hüperbool.**

Keskpunktist $O$ joonestame perpendikulaari, sellel mõõdame pikkuse $OJ = AO$. Jagame $OC$ ja $OB$ võrdseteks osadeks, punktid $c$, $b$, $a$ ühendame punktiga $J$ ja punktidest $c^1$, $b^1$, $a^1$ joonestame //-lid joonele $AB$. Mõõdame $c^1m = Jc$; $b^1m^1 = Jb$; $a^1m^2 = Ja$; $Cm^3 = JB$. Kõik punktid $m^1$, $m^2$, $m^3$, samuti ka neile sümmeetrilised allpool joont $AB$ on hüperbooli kaare omad. Teine kaar saadakse samal võttel (joon. 188).

**Antud kahel asümptoodil aa, cc ja tippude A ja B vahel joonestada hüperbool.**

Läbi mõlemate tippude $A$ ja $B$ on kindlaks määratud oleva ja mõeldava telje asetus. Valime viimasel teljel punkti $C$, joonestame läbi $C$ // joone $AB$-le ja täisnurkse kolmnurga $EFO$ (joon. 190), mille kaatet $EF = \frac{1}{2}AB$, teine kaatet $EO =$ ulatusele $CD$, hüpotenuus $FO =$ ulatusele $CJ$ ja $C^1J^1$ sirgjoonel $JJ^1$. Punktid $J$ ja $J^1$ on otsitava hüperbooli kaarel.

Sümmeetriliselt punktile $C$ on teisel telje poolel punkt $C^1$ ja paralleelidel joonele $AB$ on ka punktid $J$ ja $J^1$.

Järgmiste hüperbooli punktide saamiseks vaja samaviisi korrata, nagu see näha joonestusest ja allseisvatest kolmnurkadest (joon. 190).

**Sükloid.**

Kui ring veereb sirgjoonel $AB$, ja sealjuures ei vaaru ega libise, siis kujutab mõni ringi punkt näit. $T$ kõverjoone, mida nim. sükloidiks (joon. 191).

Liikumatut sirgjoont $AB$ nim. sükloidi juhtijaks ja veerevat ringi tema kujutavaks jooneks. Sükloidi kujutav punkt $T$ on tema tulipunkt. Sükloidi tarvitatakse hammasrataste joonestamisel.

## Leht 32.

**Sükloidi joonestamine.**

Jagame antud ringi 12 ühesuurusesse ossa ja asetame need juhtijale. Saadud punktest joonestame ristjooned juhtijale ja ringi jaotuspunktest tõmbame sirgjooned, mis paralleelsed juhtijale.

Kui punktidest $m^1$, $m^2$, $m^3$, j.n.e. lõigata kujutava ringi raadiusega paralleele, mis tõmmatud punktest 1, 2, 3, ......., siis saame sükloidi punktid I, II, III ......... Neid punkte kõverjoonega ühendades saame sükloidi (joon. 191).

**Lapikud ja kumerad sükloidid.**

Kui punkt on ringi sees või väljaspool ringi ja liigub ühes keerleva ringiga, siis kujutab see punkt esimesel juhul lapikut sükloidi (joon. 192), teisel kumerat sükloidi (joon. 193).

## Leht 33.

**Joonestada episükloid (pealketasjoon), kui on antud juhtiv joon ja kujutatav ring.**

Jagame kujutava ringi 12 ühesuuruseks osaks ja tähendame need juhtijale. Kui neist punktest joonestada kujutava ringi raadiusele vastavad kaared, mis läbistuvad 1, 2, 3,..., siis saame episükloidi punktid I, II, III,.........., mida ühendame ühise kõverjoonega (joon. 194—196).

## Leht 34.

**Joonestada hüposükloid (allketasjoon), kui on antud juhtija ja kujutatav ring.**

Hüposükloidide joonestamine on sarnane episükloidi omale. Lapikut ja kumerat hüposükloidi joonestatakse samuti, kui harilikku sükloidi (joon. 197—199).

Kui juhtiva ja kujutatava ringi vahekord vastab 2 ja 1 vahekorrale, siis muutub hüposükloid sirgjooneks (joon. 200).

**Konhoid.** Leht 35.

Joonestame kiirtekimbu, mille tipuks on punkt $P$, ja kanname nende kiirte peale mõlemile poole sirgjoont $AB$ (asimtoot) ringi raadiuse pikkused, nagu joon. 201 seda näitab. Saadud punkte 1, 2, 3... ühendades saame kõverjoone, mida nimetame konhoidiks (joon. 201, 202).

Leht 36.

**Kardioid. Joon. 203.**

On antud ring $O$ ja diameeter $a$. Tõmbame kiirtekimbu läbi punkti $A$, nii et kiired lõikaksid ringjoont. Sirkli otste vahele diameetri $a$ pikkust võttes, asetame selle pikkuse kiirte lõikpunktest väljapoole ringjoont. Saadud punkte ühendades saame kardioidi.

Joon. 204. Sentrumist $C$, tõmbame raad. $AC$ ringi ja jagame selle näit. 12 võrdseks osaks. Jagame $AB$ 6 võrdseks osaks ja tõmbame sentrumist $C$ viis kontsentrilist ringi, mis lõikavad raadiust punktides $DEFGHJ$. Neid punkte isekeskis kõverjoone abil ühendades saame ühe poole kardioidist. Teise poole kardioidist saame samal võttel.

**Cissoid. Joon. 205.**

On antud ring $O$, selle punkt $A$ ja riivaja $B$. Kui läbi punkti $A$ tõmmata kiirtekimbu kuni nende lõikumiseni riivaja $B$-ga, siis saame punktid 1, 2, 3...... Sirkli otsade vahele järgimööda joonlõikude pikkust $A$-1, $A$-2, $A$-3 võttes ja neid joonlõike riivajal asuvaist punktest 1, 2, 3 samas järjekorras vastavaile kiirjoontele punkt $A$ sihis äramärkides, saame punktid $a$, $b$, $c$, mis isekeskis ühendades annavad cissoidi.

**Sinusoid. Joon. 206.**

Jagame ringi 12 ühesuuruseks osaks. Märgime sümmeetria teljele $BB$-le 12 vabas pikkuses võrdset osa ja tõmbame neist ristjooned mõlemale poole süm. telge. Ring $O$-lt noole sihis jaotuse punkte kuni ristjoonte lõikumiseni projekteerides, saame punktid 1, 2, 3, ....., mis isekeskis ühendades annavad sinusoidi.

# Theodor Ussisoo

## poolt on koostatud ja ilmunud alljärgnevad õpperaamatud alg-, kesk- ja kutsekoolidele.

1. Projektsioon joonestamine . . . . . —.50
2. Geomeetriline ornament (II trükk) . —.20
3. Puutöö algkoolidele (I vihk) . . . . —.50
4. Puutöö alg- ja keskkoolidele (II vihk) —.60
5. Puutöö alg- ja keskkoolidele (III vihk) —.60
6. Plekitöö alg- keskkoolidele (I jagu) —.85
7. Punumistööd algkoolidele (I vihk) . —.15
8. Papptööd algkoolidele . . . . . . . . —.40
9. Pussnoatööd algkoolidele . . . . . —.15
10. Saetööd algkoolidele . . . . . . . . —.25
11. Plakatkiri puusulega . . . . . . . . —.40
12. Masinkiri (V trükk) . . . . . . . . 1.—
13. Ümarkiri . . . . . . . . . . . . . . —.15
14. Geomeetriliste pind- ja ruumalade arvutamine. I jagu . . . . . . . . —.25
15. *P. Madisson* ja *Th. Ussisoo*. Planimeetria . . . . . . . . . . . . . . 1.25
16. *P. Madisson*. Stereomeetria. Th. Ussisoo joonestustega . . . . . . . . . 1.50
17. *A. Behrsing* ja *Th. Ussisoo*. Laste geomeetria . . . . . . . . . . . —.15
18. *P. Tamm* ja *Th. Ussisoo*. Puutehnoloogia. I jagu . . . . . . . . . . 1.25