

OTT RÜNK

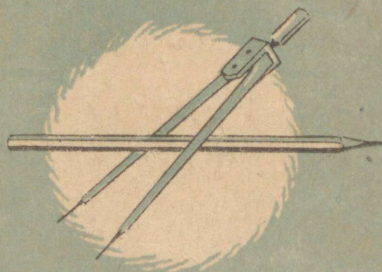
JOONESTUS

20. IV TEHNIKA

JA

GEOMEETRILINE

JOONESTAMINE



RK

»PEDAGOOGILINE KIRJANDUS«



OTT RÜNK

**JOONESTUSTEHNIKA JA
GEOMEETRILINE JOONESTAMINE**

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TALLINN 1948



2/26652

A= 17122

EESSÕNA.

Eesti rahvas on Nõukogude Liidu rahvaste vennalikus peres asunud sõjajärgseil aastail innukale ülesehitavale loovtööle, et maksimaalse kiirusega taastada ja ületada sõjaeelne tase kõigil elualadel. Neljanda viisaastaku plaani seadus on tunginud rahvahulkadesse mobiliseeriva jõuna; juba on kõikjal näha loova ülesehitustöö tulemusi. Hariduspõllul on jooksva viisaastaku raames võetud üheks peaülesandeks meie koolide varustamine kõrgeväärtusliku nõukoguliku õppekirjandusega.

Seni on meil puudunud üldjoonestuslikku ala ulatuslikumalt käsitlev eestikeelne õpperaamat; allkirjutanu julges asuda Haridusministeeriumi ülesandel selle ala nõudeid rahuldava raamatu koostamisele.

Oma vajaliku joonestusliku erilaadi tõttu sundis see raamat autorit koostamisel võtma juhtmõtteiks: 1) mitte laskuda šablooni, s. t. pakkuda võimalikult palju värsket materjali, uua ja leiutada uusi motiive, uusi praktilisi näiteid ja võtteid; 2) mitte üksnes õpetada, vaid ka tegelikult näidata, s. t. kogu rikkalik joonisematerjal esitada õpikus igati eeskujulikult. Loodetavasti nende juhtmõtete kohaselt koostatud joonestusalane raamat täidab oma otstarbe, aidates oluliselt kaasa meie noore tehnilise kaadri õpetamisel-kasvatamisel ja ka vanema kaadri kvalifikatsiooni tõstmisel.

Raamatu koostamisel on peetud esmajoones silmas ametlike õppekavade nõudeid nende tehnikumide kohta, kus geomeetriline joonestamine kuulub kohustuslike õppeainete hulka. Terviklikkuse saavutamiseks on raamatusse peenkirjas põimitud ka mõningaid küsimusi, mille käsitlemist tehnikumide õppekavad otseselt ei nõua,

mis aga joonestuse alal evivad küllalt kaaluvat tähtsust. Nii võiks see raamat sobida käsiraamatuks ka mitmesugustes muudes koolitüüpides niihästi õpetajatele kui õpilastele. Kuid ka tehnilisel alal töötajad, kel on kokkupuutumist joonestamisega, leiavad kahtlemata sellest enda jaoks midagi õpetlikku-vajalikku. Materjali mitmekesisust arvestades on orienteerumise hõlbustamiseks lisatud raamatu lõppu märksõnastik.

Joonestustehnikat süstemaatiliselt käsitlevat eestikeelset raamatut pole meil seni üldse olnud. Käesolevas on esitatud selle ala kõige olulisemad küsimused, millega autoril on tulnud kokku puutuda oma pedagoogilise tegevuse ja praktilise joonestustöö juures. Seega siin soovitatud võtted on võrsunud otsesest praktikast, kus need on hoolega läbi kaalutud ja proovitud.

Terminoloogia ja sümboolika suhtes on autor püüdnud võimalikult jälgida neid tavasid, mis sel alal on välja kujunenud meie koolides. Siiski polnud võimalik vältida ka mõne uue oskussõna tarvituselevõttu.

Materjali valikul ja käsitlemisel on eeldatud, et lugeja tunneb planimeetria osa koolide geomeetriakursusest; vajalikke lihtsaid konstruktsioone planimeetriakursusest on ka paigutatud raamatusse — pidades silmas õppekavade nõudeid ja tegeliku joonestustöö vajadusi.

Harjutusülesandeid on paigutatud peaagu iga paragrahvi lõppu. Geomeetrilise joonestamise õppimisel kindlasti ei piisa ainuüksi raamatu lugemisest ja jooniste vaatlemisest; õpiku joonised ja harjutusülesanded (või vähemalt osa neist) tuleks ka oma käega läbi joonestada.

Õpetaja-autori töövili ei lähe tootmisprotsessi otseselt, vaid õpilaste ja lugejate kaudu; seetõttu jääb see esialgu hoopis nähtamatuks, hiljem aga võib see tuhandetest kätest kantuna kerkida selgesti esile. Loodan, et ka selle raamatu koostamisel tehtud töö kannab omal ajal head vilja meie kiiresti industrialiseeruvast riigist.

Tallinnas 19. X 1947.

Autor.

Esimene osa.

JOONESTUSTEHNIKA.

Joonestustehnika valitsemine on iga tegeliku rakendusliku joonestustöö õnnestumise loomulikuks eelduseks. Teda tuleb õppida seoses geomeetrilise joonestamisega ja hiljem kujutava geomeetriaga, taotelles õpijooniste teostamisel käeosavuse ja tööjõudluse järjekindlat kasvu, iga uue joonisega kõigi eelmiste tehnilise taseme ületamist.

§ 1. Joonestuspaber ja joonestuslaud. Paberi kinnitamine lauale.

1. Peale joonestaja isiklike võimete oleneb joonestustöö tulemus suurel määral joonestusvahendeist, eriti aga kasutatavate materjalide, s. o. paberi, pliiatsi, tuši ja kummi kvaliteedist. Joonestusriistu saab ise korrastada ja parandada, materjale aga ise parandada ei saa. Seepärast tuleb ostmisel materjale hästi valida ja kontrollida. Kui juba joonestuspaber või tušš pole küllalt kvaliteetne, siis on mõistlikum loobuda tušist ja valmistada joonis pliiatsijoonisena. On tõsiasi, et ka üsna halval paberil saab valmistada korralikke pliiatsijooniseid; korraliku tušijoonise valmistamine aga eeldab hea tuši kõrval ka hea joonestuspaberi kasutamist.

Joonestuspaber peab olema siledapinnaline, kiududeta ja niivõrd tugev, et normaalselt rõhutatud joonestuspliiats ei suruks joonimisel ta pinnasse vagu. Ta peab kannatama korduvat kummiga hõõrumist ja terariistaga kaapimist nii, et joonise esteetiline külg selle all ei kannataks. Paremad paberisordid lubavad end isegi pesta. Mitmesuguseiks eriotstarbeiks (näiteks paljundamiseks optilisel teel) kasutatakse ka läbipaistvat joonestuspaberit, nn. p a u s -

p a b e r i t. Geomeetrilise joonestamise ja kujutava geomeetria õpi-
jooniseid pole soovitatav teha pauspaberile.

Joonestuspaberit valmistatakse niisugustes formaatides, mis
peale ärte lõikamist võimaldavad saada järgmisi normiformaate
(OST 7532)¹.

Formaadi sümbol	Mõõdud mm-s	Suurus lähteformaadi suhtes
a 0	814 × 1152	1
a 1	576 × 814	1/2
a 2	407 × 576	1/4
a 3	288 × 407	1/8
a 4	203 × 288	1/16
a 5	144 × 203	1/32
a 6	101 × 144	1/64

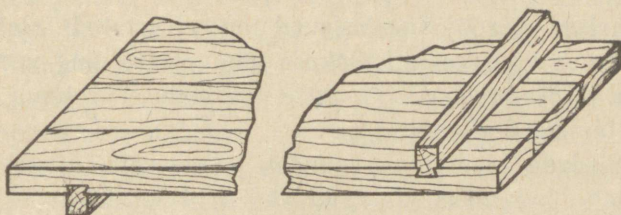
Iga järgmine formaat saadakse eelmisest lehe pooleks murd-
mise teel. Lähteformaadi (a0) mõõdud on valitud nii, et tema poo-
litamisel tekib temaga sarnane ristkülik (s. t. tema pikkuse ja
laiuse suhe on sama, mis lähteformaadil). Sellest järeldub, et nor-
miformaadid on kõik üksteisega sarnased.²

2. **Joonestuslaud** lastagu teha asjatundliku ja hoolika meistri
juures, et oleks kindlustatud selle valmistamine õigel viisil ja
sobivast materjalist. Materjaliks sobib ainult hästikuivatatud peh-
met liiki puu (lepp, haab, pärn, pappel). Kõvad puuliigid (nagu
tamm, saar, kask jm.) ei kõlba joonestuslaua materjaliks; ka pak-
sud kasevineerplaadid pole soovitatavad just oma kõvaduse tõttu.
Et saaks vältida joonestuslaua kõveraks- ja kiivatõmbumise võima-

¹ Sümbol OST (vene k. OCT) on lühend venekeelseist sõnadest
Общесоюзный Стандарт (üleliiduline standard). OST-normid on tööta-
tud välja Üleliidulise Normimiskomitee (BKC) ja Rasketööstuse Rahva-
komissariaadi (HKTP) poolt a. 1934 ja kehtivad mõningate muudatustega
kogu Nõukogude Liidus. Joonestusala kohta käivad normid leiduvad
numbrite OCT 7531—7543 ja OCT 7544—7549
BKC HKTP 645—650 all.

² Olgu mõõdamines nimetatud, et DIN-formaadi süsteem on üles
ehitatud samadel põhimõtetel kui OST-formaadi süsteemgi, ainult lähte-
formaadiks (A0) on seal 841 × 1181 mm, s. o. ristkülik pindalaga 1 m².

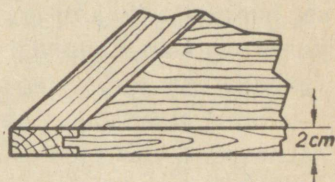
lust temperatuuri ja õhuniiskuse muutumisel, tuleb ta põõnad ühendada lauaga tappide abil; neid tappe aga ei tohi liimida üleni, vaid ainult ühest otsast, et paisumisel ja kokkutõmbumisel jääks lauale tappühenduses liikumisvõimalus (joonestuslaud venib paisumisel



Joon. 1.

rohkem laiemaks kui põõnad pikemaks). Põõnadega olgu antud lauale umbes 5°-line kalle joonestaja poole. Joonis 1 näitab säärase põõnadega laua üht nurka pealt- ja altpoolt.

Paljud joonestajad eelistavad põõnadega lauale niisugust põõnadeta lauda, mille otsaäärtesse on tappühendusega kinnitatud pikiliistud (joon. 2). Pikiliistu laua vasakul äärel saab teha hästi sirgeks ja siledaks. Sel teel võimaldub mugavam ja täpsem töötamine rööpjoonlauaga (§ 6), kuna viimane libiseb piki puud paremini kui põiki puud. Töötamise ajal antakse põõnadeta lauale sobiv kalle kas mingi toe (näit. raamatu) asetamisega laua tagumise ääre alla või asetatakse joonestuslaua alumine äär töölauda lahtitõmmatud laekale.



Joon. 2.

Joonestuslaua tasapinnalisuse kontrollimiseks proovitakse, kas pika joonlaua sirget äärt saab seada igas sihis laua pinnale nii, et ta jääks üleni vastu laua pinda. Muhklik, pisut kaardunud või liiga mustaks määrdunud joonestuslaud antakse ülehööveldamiseks asjatundliku meistri kätte. Tublisti kaardunud laud on kõlbmatu ja teda pole ka võimalik korda seada.

Joonestuslaua suurus ja formaat peaksid olema kooskõlastatud

paberi normiformaatidega. Olgu soovitatud muretseda endale kohe kaks joonestuslaua, üks formaadis umbes 45×60 sm (vastab paberiformaadile a2) ja teine umbes 60×85 sm (vastab formaadile a1). Väiksem neist, soovitav põõnadeta, on hõlpsasti kaasakantav.

Spetsiaalsed büroojoonestuslauad on varustatud statiiviga ja seadistega laua kõrguse ja kallakuse muutmiseks ning veel erimehanismiga («Isis»-mehhanism), mille vahendusel toimub joonlaudade liigutamine töötamise ajal.

Joonestuslaua kasutamine muudab joonestustöö suurel määral mugavamaks, kiiremaks ja täpsemaks, eriti sellepärast, et see võimaldab tarvitada rööpjoonlauda ehk reissinit (vt. § 6). Aga juba seegi asjaolu teeb töö tunduvalt mugavamaks, et joonestuslauale kinnitatult seisab paber joonestajal ees stabiilselt, tasapinnaliselt ning parajal määral kallutatuna.

3. Suuremaformaadilise ja keerulise joonise puhul kinnitatakse paber äärtest joonestuslauale liimiga, väiksema ja lihtsama joonise puhul aga lihtsalt rõhknaeltega (üks nael paberi igas nurgas). Rõhknaelte kasutamisel kinnitatakse esmalt paberi kaks diagonaalset nurka ja siis korraga kaks ülejäänud diagonaalset nurka; seejuures antakse kummagi naelapaari kinnitamise juures paberile venitamiseiga paras pinget.

Paberi kinnitamisel harilike rõhknaeltega on see pahe, et rõhknaelte pead, mis oma paksuse tõttu jäävad paberi pinnast kõrgemale, takistavad kolmnurkadega ja nurkjoonlauaga vaba opereerimist kogu joonisepinna ulatuses. Seda väikest pahet on võimalik vältida järgmiselt. Määritakse jooniselehe nurkadesse pisut liimi ja kinnitatakse siis paber lauale rõhknaeltega nii, nagu eespool selgitatud. Pärast liimi kuivamist võib rõhknaelad kõrvaldada ja nii jääb paberit nurkadest laua küljes hoidma ainult liim.

Paberi kinnitamiseks joonestuslauale on soovitav kasutada sellekohaseid spetsiaalseid rõhknaelu (kumera peaga), millest joonestuskolmnurgad kergesti üle libisevad.

Mitme väiksemaformaadilise joonise puhul on otstarbekohane paigutada need ühele suuremale poognale, mis siis kleebitakse joonestuslauale kõikidest äärtest, võttes liimitud riba laiuseks vasta-

valt lehe suurusele $\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}$ sm. Hiljem, kui osutub vajalikuks, tükeldatakse see leht üksikjoonisteks. Nii tuleb toime ainult ühe liimimisega mitme asemel.

Et paber jääks joonestuslauale kleebitult tasapinnaliseks ja ühtlaselt pinguli, tuleb teda enne kleepimist veidi niisutada. Kleepimistoimingut koos niisutamisega on kõige hõlpsam teostada järgmiselt. Määrime liimiga paberi ääred ja laseme siis liimi paberil täiesti kuivada. Parajalt märja käsnaga niisutame paberit teiselt küljelt, tõmmates enne ühes, siis ristsuunas üle terve paberi pinna. Märgame kuivanud liimi, kleebime paberi joonestuslauale ja asetame paberi äärtele liimi kuivamise ajaks vajutise (näit. raamatupakid). Otstarbekohane on paigutada joonestuslaud liimi ja paberi kuivamise ajaks töölaua tasasele (soovitavalt linaga kaetud) plaadile, paberiga allapoole, või teisele vähemalt niisama suurele joonestuslauale. Kasulik on liimida paberid kahele samasuurusele joonestuslauale üheaegselt ja paigutada need siis korraga kuivama, paberipooltega vastamisi. Nii kaob vajadus otsida laudadele paberi ja liimi kuivamise ajaks suurt tasast aluspinda, liiatigi pealmine laud täidab ühtlasi vajaliku vajutise osa.

Äärtest üleni joonestuslauale kleebitud paberi (valmisjoonise) laualt kõrvaldamisel aetakse nüri noatera (paberinuga) paberi ja laua vahele. Paberi ja liimi jäänused leotatakse laua küljest lahti, kuid võimalikult vähese veega.

§ 2. Joonestuspliiatsid ja nende teritamine. Pliiatsipikendaja.

1. Joonestuspliiats peab olema tublisti kõvema miiniga (grafiitsüdamikuga) kui harilikud kirjutuspliiatsid. Iga üksiku pliiatsi miini kõvadus märgitakse vabrikus pliiatsi puule. Kõrgema kvaliteediga (ühtlasi kallimate) pliiatsite spetsiaalsortidel märgitakse kõvaduskraade tähtskaala abil, mis koosneb kokku 17 sümbolist, lihtsortidel (odavamatel) aga numberskaala abil, mis koosneb 6 numbrist. Skaalade vastavust ja ühtlasi kõvadusastmeile vastavaid üldisi kasutamisalasisid selgitab järgmine diagramm, kus kraadid on paigutatud kõvaduse kasvamise järjekorda, alustades kõige pehmemast.

Numberskaala:	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3
Tähtskaala:	6B, 5B, <u>4B, 3B,</u> <u>2B, B,</u>		<u>HB, F</u>
	pehmed (joonistamiseks)		keskmised (skitseerimiseks ja kirjutamiseks)
Numberskaala:	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6
Tähtskaala:	<u>H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H, 7H, 8H, 9H.</u>		
	kõvad (joonestamiseks)		

Keskmise kõvadusega pliiatsid HB ja F erinevad vähe oma kõvaduselt, rohkem aga oma muude omaduste poolest; HB on sobivaim skitseerimiseks, F aga on spetsifitseeritud nimelt kirjutamiseks (kantseleisort). Joonestuspliiatsid algavad kõvaduskraadiga H. Joonestamisel kasutatava pliiatsi kõvaduskraad sõltub paberi omadustest, joonestusülesande laadist ja ka joonestaja isiklikust maitsest. Harilikkuude joonestustööde juures ei kasutata kõvemaid pliiatseid kui 4H; kõvadused 5H—9H on eriotstarbeiks.

Minimaalne pliiatsikomplekt joonestaja kätes on järgmine:

- B — joonistamiseks ja varjutamiseks;
- HB — skitseerimiseks (ja kirjutamiseks);
- 2H — joonestamiseks.

Odavaid (numberskaala-) pliiatseid pole soovitatav kasutada kvaliteetse joonistus- ja joonestustöö juures.

2. Parimaks pliiatsipuuks osutub *s e e d e r*; see on hästi pehme ja laseb end igas suunas lahedasti lõigata. Seedripuud tunneb ära tema lõikamisel leviva iseloomuliku lõhna (pliiatsilõhn!) ja roosakaspruunja värvuse järgi.

Joonestuspliiatsit teritatakse terava taskunoaga. Tavalist kirjutuspliiatsit on kombeks teritada kooniliselt või püramidaalselt. Niiviisi teritatud pliiatsiots aga ei sobi hästi joonimiseks, sest see kulub liiga ruttu nüriks, mistõttu iga järgmine joon saab eelmisest mõnevõrra jämedam. Seepärast osutub otstarbekamaks teritada joonestuspliiatsit kiiljalt; joonis 3 näitab õigesti kiiljalt teritatud kuuekandilist pliiatsit eest, küljelt ja takka vaadatuna ning

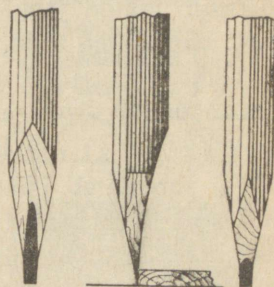
pliiatsi õiget hoidu joonlaua ääre vastu. Kiiljalt teritatud pliiats aga sobib hästi ainult peenikeste joonte tõmbamiseks joonlaua (kolmnurga) ääre järgi; igaks muuks otstarbeks (kirjutamiseks, vabal käel joonimiseks) sobib paremini kooniliselt teritatud pliiats. Seepärast on kõige praktilisem teritada joonestuspliiats mõlemast otsast, ühest otsast kiiljalt ja teisest otsast kooniliselt.

Kord noaga hästi teritatud pliiatsiotsa «ihutakse» joonestamise ajal kas peenel smirgelpaberil, pimskivil, luisul, sametviilil, või lihtsalt koredapinnalisel paberil.

Terava joonestuspliiatsiga joonides ei tohi paberisse vagu suruda; pliiatsijoonte kustutamise järel peab paber jääma endiselt siledaks ja puhtaks.

3. Liiga lühikeseks kulunud pliiatsit saab edukalt edasi tarvitada, kasutades nn. **pliiatsipikendajat**, mis võimaldab pliiatsi ära-

kasutamist peaaegu lõplikult. Paremaiks osutuvad säärased, mis võimaldavad pliiatsi kinnitamist oma mõlemasse otsa. Kui seejuures kasutatakse pliiatseid erineva kõvaduskraadiga ja mõlemaid pliiatseid teritatakse pealegi kahest otsast (ühest kiiljalt, teisest kooniliselt), siis saadakse liitpliiats, mis võimaldab nii joonida kui ka kirjutada kahe erineva kõvadusega pliiatsiga. Kui pliiatsipikendaja on torukujuline, nagu tavaliselt, siis võib tema õõnsuses peituda koguni veel kolmas pliiats; see võiks olla näiteks sinise-punase pliiatsi säilinud keskmikosa; sellega lisanduks eespool nimetatud võimalustele veel võimalused joonida-kirjutada sinisega ja punasega. Seejuures on aga joonestaja töölaua üksainus pliiatsobjekt. On nimelt seda parem, mida vähem esemeid leidub joonestaja töölaua.



Joon. 3.

§ 3. Tušid ja tušianumad.

1. Tušš peab olema veekindel ja värvuselt sügavmust; ta peab ka kergesti voolama, paberit hästi katma ja kiiresti kuivama. Ostmisel ärgu jäetagu tušši kunagi proovimata. Proovimisel piisab mõne tušijooni tõmbamisest tuntud joonsulega ja tuntud kvalitee-

diga joonestuspaberile. Jälgitakse tuši kuivamise kiirust ning vaadatakse, kas kuivanud jooned on äärtelt puhtad või «karvased» ja kas värvus on sügavmust või mitte. Voolavust kontrollitakse kõige peenemate joonte abil, mida joonsulg veel tõmmata võimaldab; ka need jooned peavad tulema välja ühtaegu «puhtalt ja mustalt» (s. t. ühtlase jämedusega ja värvuselt mitte «lahjemad» kui jämejooned). Mingil juhul ei tohi unustada tuši veekindluse kontrollimist; näpunäited selle teostamise kohta osutuksid ülearuseks.

Üldjoontes samal viisil toimub tundmata joonestuspaberi proovimine tuntud kvaliteediga tuši abil.

Värviliste tuššidega saab harilikult puhtalt töötada ainult kõige parematel joonestuspaberitel. Geomeetrilise joonestamise juures ei kuulu värvilised tušid vajalike vahendite hulka; harilikust mustast tušist siin piisab. Kujutava geomeetria jooniste valmistamisel aga on värvilised tušid vajalikud.

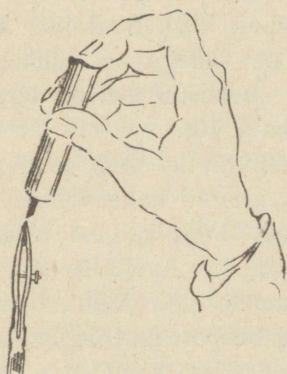
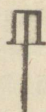
Tahkes olekus turustatavat, nn. «hiina tušši» pole joonestamisel otstarbekohane kasutada, kuna teda tuleb iga uue töö eel pulgast vette lahustada mattklaasil hõõrumise teel; ta pole veekindel ja ta kuivab harilikust mustast tušist aeglasemalt. Kuna ta võimaldab tõmmata ülipeeni jooni, kasutatakse teda topograafilistel joonistel.

Pikemaajalisel tarvitamisel auramise tagajärjel liiga paksuks muutunud harilikku musta tušši võib destilleeritud veega lahjendada. Veega lahjendamine vähendab aga tuši veekindlust.

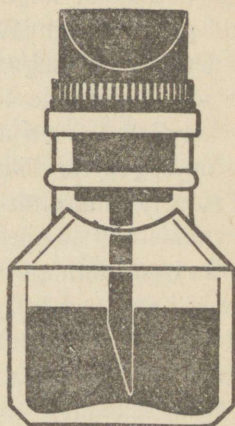
2. Käsitsemise mõttes osutub mugavaimaks tušianumaks **tuub**, mille peenikese kaela avast voolab välja tušitilk, kui sõrmega vajutatakse tuubi põhjaks olevale kummimembraanile (joon. 4). Vajutuse sügavust soovikohaselt muutes saadakse alati täpselt vajalik annus tušši, mis lastakse voolata tuubist otsekohe joonimisvahendi huulte vahele. Tühjaks saanud tuubi on võimalik uuesti tušiga täita; selleks tuleb vaid kummimembraan kui kork tuubi põhja alt ära võtta ja täitmise järel oma kohale tagasi asetada.

Tuubi kaela jõhvpeen ava võib tušiga töötamise ajal seista sulgemata, sest sealtkaudu aurumine on niivõrd tühine, et tuši kuivamist selle tagajärjel pole karta. Muuseas on säärase tuubiga

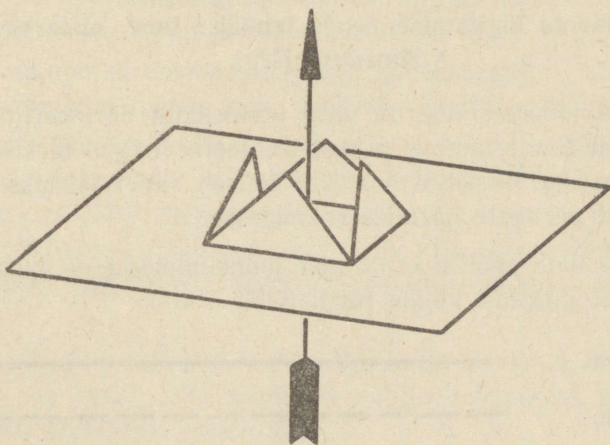
kõrvaldatud ka kurikuulus oht — «tušipoti ümberminek», sest tuubi «ümberrõõru» ei juhtu midagi halba. Kirjeldatud tušituubi pole raske endale ka ise valmistada.



Joon. 4.



Joon. 5.



Joon. 6.

Kõige tavalisemaks tušianumaks on väike klaaspudeline, nn. **tušipott**, harilikult kujuga, mis nähtub jooniselt 5 (loomulikuis suu-

ruses). Tušši valmistava kätise poolt peab iga säärase, kauplusest otseselt tarvitaja kätte mineva tušipoti kork olema varustatud hanesule tüükast lõigatud torukesega, mille abil tõstetakse tušianuseid potist joonimisvahendi huulte vahele; kork osutub seejuures käepidemeks. Niisuguse tušipoti kork avatakse ainult potist tuši võtmiseks. Võtmine ainult ühe käega on tülikas ja ohtlik: pott võib kergesti ümber minna; joonestamisel on aga ühe käega tuši võtmine sageli tarvilik (vt. ka § 10).

Tušipoti ümbermineku vältimiseks võib joonestaja endale plekist valmistada joonisel 6 kujutatud kaitsevahendi. Pott surutakse selle avasse suunaga alt üles. Pleki august ülesmurtud kolmnurkakesed haaravad tušipoti külgedelt kindlasti oma pigistusse. Tegelikult see vahend ainult suurendab kunstlikult tušipoti liiga väikest põhjapindala; seega ta ei tee tušipoti ümberajamist veel võimatuks, küll aga raskendab seda niivõrd, et kogemata seda veel vaevalt juhtub.

§ 4. Joonte liigitamine nende tehnilise ilme, otstarbe ja jämeduse järgi.

Tehniline joonestamine on üsna ulatuslikult normeeritud. Kuigi geomeetiline joonestamine ja kujutav geomeetria ei tarvitse arvestada neid norme, on siiski hea, kui üldiselt siingi jäädaks tehnilist joonestamist piiravate normide raamidesse.

Tehnilise ilme poolest erinevaist joonetüüpidest on lubatud tarvitada ainult järgmisi kolme tüüpi (OST 7537):

- 1) pidev joon: _____
- 2) kriipsjoon: _____
- 3) kriipspunktjoon: _____

Kriipsjoone kriipsukeste pikkus ja vahede laius sõltuvad joone jämedusest ja joone pikkusest. Nägusaimaks osutub kriipsjoon, mille kriipsude pikkus on umbes 10 korda ja kriipsude vahe umbes

3 korda suurem joone jämedusest. Nii peaks näiteks vastama joone jämedusele 0,5 mm kriipsude pikkus 5 mm ja vahede laius 1,5 mm.

Kriipspunktjoone kriipsukeste normaalpikkuseks võiks arvestada joonejämeduse 50-kordset; see kõigub selle jooneliigi tavaliste jämeduste (0,2 kuni 0,4 mm) puhul vahemikus 1 kuni 2 sm. Ka kriipspunktjoone «punktid» on tegelikult kriipsukesed; nende pikkuseks, samuti kriipspunktjoone vahede laiuseks võiks arvestada ümmarguselt 10 joonejämedust. Kriipspunktjoon peab algama ja lõppema kriipsuga, mitte «punktiga». Ringi keskpunkti läbib iga kriipspunktjoon tõmmatakse nii, et ringi keskpunkti läbiks ja ringjoont lõikaks tema üks kriips.

Kasutamise otstarbe järgi liigitame geomeetrilises joonestamises ja kujutavas geomeetrias tarvitata vaid jooni järgmiselt (märkides igaühe juurde ka normidekohase joonetüübi ja -jämeduse):

- 1) põhijoon ehk kontuurjoon (pidev joon jämedusega k);
- 2) varjatud põhijoon (kriipsjoon jämedusega umbes $\frac{k}{2}$);
- 3) keskmejoon (kriipspunktjoon jämedusega umbes $\frac{k}{3}$);
- 4) abijoon (pidev joon jämedusega umbes $\frac{k}{4}$);
- 5) lisa-abijoon (kriipsjoon abijoone jämedusega);
- 6) vabakäejoon (pidev joon jämedusega vastavalt vajadusele).

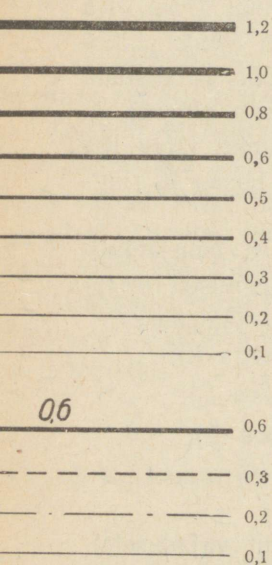
Põhijoone jämedus valitakse vastavalt joonise suurusele, kuid vahemikust 0,4 kuni 1,2 mm. Näiteks formaadile a4 mahutatud joonisel on parajaks põhijoone jämeduseks 0,4 kuni 0,6 mm.

Põhijoonega joonestatakse eseme kujutise kontuurid ja muud olulised, tegelikult nähtavad jooned, kehadel peamiselt servad.

Varjatud põhijoon tähistab keha kujutisel keha niisugust joont, mis keha vaatlemisel pole nähtav sellepärast, et ta asetseb läbipaistmatu keha tagaküljel.

Keskmejoonega märgitakse joonisel eseme kujutiste ja kujundite igasuguseid telgesid. Nendega tavaliselt algabki eseme või kujundi joonestamine. Geomeetrilise joonestamise juures on keskmejoonteks peamiselt kujundite sümmeetriateljed, kujutavas geomeetrias ka pöördekehade pöördeteljed jm.

Abijoonte rühma kuuluvad joonisel esinevad mõõtjooned, konstruktsioonjooned, joonise kokkukuuluvate punktide sidejooned jm. Abijoone jämedusega esitatakse joonistel ka mitmesuguseid parvedena esinevaid jooni, nagu viirusjooned, nivoojooned (näit. samakõrgusjooned ehk isohüpsid topograafilistel joonistel) jm.



Lisa-abijoont kasutatakse peamiselt ainult õpperaamatuis, ja nimelt jooniseil esinevate konstruktsioonide sisuliseks selgitamiseks. Ka kooli õpijooniseil on selle jooneliigi kasutamine tarvilik. Tehnilistel joonistel aga pole selle kasutamine lubatud.

Vabakäejoon tõmmatakse käsitsi, s. t. ilma joonimist juhtiva vahendita. Kasutatakse seda peamiselt eseme kujutise piirde märkimiseks kohtades, kus ese on joonestaja poolt joonisele paremini mahutamise huvides meelevaldselt katkestatud.

Kooli õpijoonistel on tarvilik näidata ka kõiki olulisi konstruktsioonjooni. Kui neid on nii palju, et nad joonist juba ilmselt ülekoormavad, siis ei kaeta neid mitte musta, vaid mingi heledamavärvilise tušiga. Konstruktsioonjoonte jaoks kriipsjoont kasutada pole soovitatav, sest kriipsjoonte korralikult joonestamine on aegaviitev töö. Pealegi teeb suur kriipsjoonte hulk joonise liiga kirjuks.

Käesoleva õpiku jooniste enamik on püütud valmistada põhijoone jämedusega 0,4 mm.

Joonis 7 näitab joonejämedusi vahemikus 1,2 kuni 0,1 mm. Jooned sellel on tõmmatud kuni lehe ääreni välja sellepärast, et oleks mugavam nende joontega võrrelda küsitava jämedusega jooni: selleks paigutatakse küsitava jämedusega joont kandev paber raamatulehe alla ja proovitakse, millist joont raamatu joonisel see joon kõige ladusamalt pikendab. Joonise alumises osas esineb ühel ja samal joonisel tarvitav joontesalk põhijoone jämedusega 0,6 mm — eeskujuks ja võrdluseks jooniste jaoks formaadiga a4.

§ 5. Kolmnurgad ja nende korrastamine.

1. Klassikaliseks sirgjoonimist juhtivaks vahendiks on joonlaud. Päril hariliku joonlaua asemel eelistatakse joonestustöö juures sirgjoonimisel kasutada täisnurkseid kolmnurki, kuna need võimaldavad peale sirgjoonimise teostada mehaaniliselt veel mitmeid konstruktsioone (vt. § 6).

Joonestuskolmnurki peab olema korruga käepärast vähemalt kaks. Neist suurem võiks olla hüpotenuusiga 25—30 sm ja väiksem hüpotenuusiga 15—20 sm; üks teravnurkadega 30° ja 60° ja teine võrdhaarne. Hea on, kui käepärast on veel kolmas, väike kolmnurk, mille teravnurgad erinevad teise väikese kolmnurga omist. Nimelt on väikese joonise puhul mugavam töötada kahe väikese kolmnurgaga, kui ühe suure ja ühe väikesega.

Joonestuskolmnurki valmistatakse puust ja tselluloidist. Tselluloidist kolmnurkadel on puust kolmnurkadega võrreldes mitmeid paremusi: 1) nad on läbinähtavad — seega nad näitavad ka nende all olevat jooniseosa; 2) nad ei määrdunud ega määri (vähemalt niikaua, kui nad pole veel karedaks kulunud); 3) nad on hästi vastu pidavad nii kulumise kui ka purunemise mõttes. Kuigi puul puuduvad kõik need kolm head omadust, on ometi ka puust kolmnurgad täiesti laitmatud tööriistad.

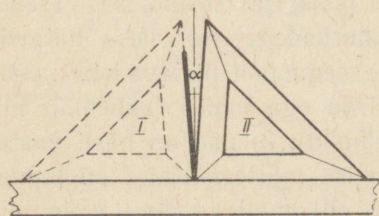
Tselluloidist kolmnurkade ainsaks puuduseks on nende liiga kerge libisemine joonestuspaberil; selle tõttu võib toimuda joonestajale märkamatu kolmnurga väikesi nihkumisi, mis muudavad joonise ebatäpseks. Kõige kindlam on töötada kasutades üht puust ja üht tselluloidist kolmnurka, kusjuures tselluloidist kolmnurga ääre järgi toimub joonimine.

2. Pikemat aega tarvitusel olnud puust kolmnurgad hakkavad joonise pinda määrima, kuna nad on ise määrdunud grafiidist ja sõrmede higist. Sääraste juures võetakse ette lihtne ja põhjalik puhastustoiming: võie kaabitakse žiletiteraga nende küljest maha. Peale puhastamist on vaja kolmnurgad üle poleerida (häällida). Ka tselluloidist kolmnurgad, eriti kui nad on juba vanad ja kriimuliseks kulunud (seetõttu ka oma läbinähtavuse kaotanud), määrdun-

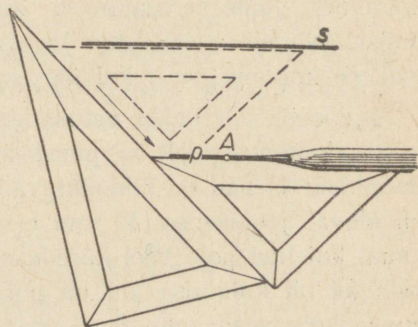
vad ja määrivad ning vajavad aeg-ajalt puhastamist; neid võib muidugi veega pesta.

Et vältida tušiga joonimisel tuši sattumist kolmnurga ääre alla, hõõrutakse kolmnurga ühel äärel (soovitav hüpotenuusil) üks terav kant liivapaberiga nüriks. Tušiga joonimisel kasutatakse siis ainult seda äärt ja muidugi nii, et ümardatud kant asetseb paberi pool. Tselluloidist kolmnurgad pole tavaliselt päris tasapinnalised; nendel hõõrutagu nüriks nimelt nõrgusal küljel asetsev kant.

3. Kolmnurga nurkade, eriti täisnurga täpsusest ja äärte sirgjoonsusest sõltub suurel määral kogu joonestustöö täpsus. Ärist ostetud kolmnurgad pole tavaliselt täpsustöö jaoks küllalt «õiged».



Joon. 8.



Joon. 9.

Kolmnurga täisnurga kontrollimiseks paigutatakse ta ühe kaatetiga vastu sirget joonlaua äärt ja tõmmatakse teise kaateti järgi joon; siis pööratakse kolmnurka 180° ümber selle kaateti, mille järgi jooniti, surutakse ta jälle vastu (paigalejäänud) joonlaua äärt ja vaadatakse, kas kolmnurk uues asendis võimaldab tõmmata sedasama joont. Kui võimaldab, siis on kolmnurga täisnurk õige, vastasel korral aga väär; viimasel juhutul on ka kohe näha, kas ta on õigest suurem või väiksem, ja kui palju. Joonis 8 näitab olukorda, kus kolmnurga «täisnurk» osutub tegelikult teravnurgaks suurusega $90^\circ - \frac{\alpha}{2}$.

Nurga parandamist toimetatakse tema haaraks oleva ääre hõõrumisega tasapinnale laotatud liivapaberil, kusjuures avalda-

takse sinnapoole rohkem survet, kust on vaja maha võtta. Hoia-
tuseks olgu öeldud, et selle tööga vilumata käsi võib parandamise
asemel oma kolmnurga koguni niivõrd rikkuda, et selle uuesti
kordaseadmise pole enam võimalik ilma hõovli abita. Enne «täis-
nurga» parandamisele asumist tuleb kontrollida ka kolmnurga
teravnurki; siis selgub kohe, missuguse kaateti küljest ja kui palju
tuleb maha hõõruda, et kolmnurga kõik nurgad saaksid õiged.

Kolmnurga ääre sirgjoonsuse kontrollimiseks tõmmatakse selle
ääre järgi joon ja pööratakse siis kolmnurka 180° ümber selle
ääre ning vaadatakse, kas selle ääre järgi saaks ka nüüd tõmmata
sama joont. Kohe selgub, kas kolmnurga äär on sirge, kumer,
nõgus või koguni lainjas. Kumerad ääred on üldiselt ohtlikumad
kui nõgusad. Parandamist saab teostada liivapaberil, eespool selgi-
tatud viisil; seejuures tuleb muidugi silmas pidada ka nurkade
suurust.

§ 6. Rööplükke kasutamine töötamisel kolmnurkadega. Rööpjoonlaud.

1. Joonestamise juures mõistetakse **rööplükke** all kolmnurga
lükkamist joonise pinnal nii, et ta oma ühe äärega libiseb piki
paigalseisva joonlauri või teise kolmnurga äärt (juhtsirge); niisugu-
sel korral selle kolmnurga kaks ülejäänud äärt liiguvad paralleel-
selt iseendiga. Viimast asjaolu kasutatakse paralleelsirgete tõmba-
misel (joon. 9).

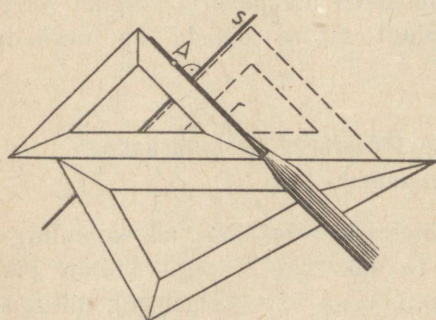
Antud sirgele ristsirge tõmbamisel kasutatakse nähtust, mille
kohaselt rööplükkel kolmnurga üks kaatet oma igas asendis on
risti teise kaatetiga tema igas asendis. Paigutame kolmnurga
hüpotenuusiga vastu juhtsirget ja nihutame ta koos juht-
sirgega niisugusesse asendisse, et ta üks kaatet jookseb piki antud
sirget *s* (joon. 10, kolmnurk kriipsjoonega); rakendame kolmnur-
gale rööplüket, kuni ta teine kaatet jõuab parajale kohale (läbib
antud punkti *A*) ja tõmbame selle kaateti järgi soovitava rist-
sirge *r*.

Viimast ülesannet saab lahendada ka teisiti. Võtame lähteasendi
nii, et kolmnurga *k a a t e t* asetseb vastu juhtsirget ja hüpotenuus

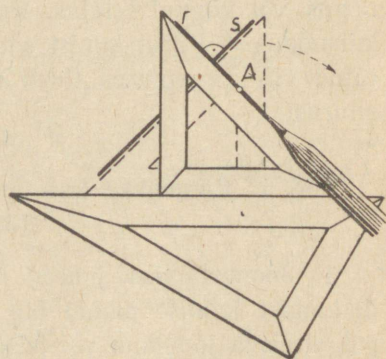
jookseb piki antud sirget s (joon. 11, kolmnurk kriipsjoonega). Siis pöörame kolmnurka ümber täisnurga tipu nii, et ta teine kaatet tuleks vastu juhtsirget, viieme rööplükkega kolmnurga hüpotenuusi läbi antud punkti A ja tõmbame hüpotenuusi järgi soovitava rist-sirge.

Eelmise võtte juures toimus ristsirge joonimine kaateti järgi, teise võtte juures aga hüpotenuusi järgi. Et hüpotenuus on pikem kui kaatet, siis teine võtte võimaldab tõmmata pikemaid sirgeid.

Rööplükke abil ristsirgeid tõmmates pole olulist vahet, kas punkt, millest ristsirge peab läbi minema, asetseb antud sirgel või väljaspool seda (vt. ka § 20, ülesanne 5).



Joon. 10.

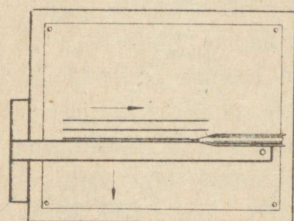


Joon. 11.

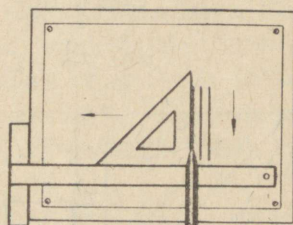
Antud sirgele läbi antud punkti ristsirge tõmbamiseks ei seata kunagi kolmnurka niisugusesse asendisse, et üks kaatet jookseb mööda antud sirget ja teine läbib antud punkti.

2. **Rööpjoonlaud** (ehk reissin) on ristpuuga (juhtklotsiga) varustatud pikk ja täpne joonlaud, mida kasutatakse töötamisel joonestuslaual. Kui rööpjoonlauda libistatakse joonestuslaual nii, et juhtklots on surutud vastu joonestuslaua äärt, siis saab joonlaua äär rööplükke; seega rööpjoonlaud võimaldab tõmmata paralleelseid sirgeid. Rööpjoonlaua (juhtklotsi) juhtsirgeks kasutatakse ainult joonestuslaua vasakut äärt; tema joonlaua järgi tõmmatakse seega ainult rõhtsirgeid (joon. 12). Püstsirgete tõmba-

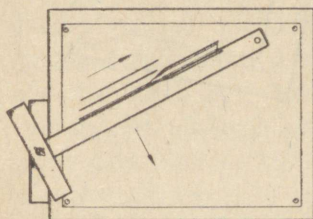
mine toimub joonestuskolmnurga kaateti järgi, kusjuures rööpjoonlaua äär esineb kolmnurga teise kaateti juhtsirge osas (joonised 13 ja 15; jälgida ka kolmnurga liikumise suunda ja joonimise suunda kummalgi joonisel!). Püstsirgete tõmbamiseks ei tõsteta rööpjoonlauda kunagi juhtklotsiga vastu joonestuslaua ülemist või alumist äärt sellepärast, et joonestuslaua nurgad võivad täpselt täisnurgast erineda ja nii saaksime püstsirgeid, mis pole rõhtsirge-



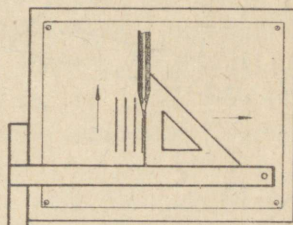
Joon. 12.



Joon. 13.

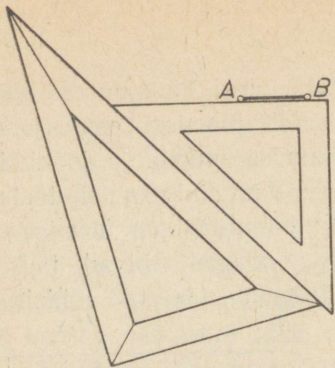


Joon. 14.

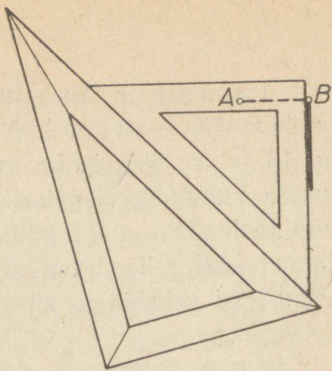


Joon. 15.

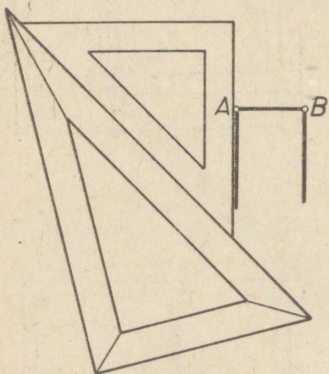
tega täpselt risti; viga võib suureneda veel rööpjoonlaua enda täisnurga ebatäpsuse arvel. Kui rööpjoonlaua juhtsirgeks kasutatakse ainult joonestuslaua vasakut äärt, siis polegi tähtis, et rööpjoonlaua ja joonestuslaua nurgad oleksid täpselt täisnurgad, sest nende nurkade vead ei saa pääseda joonisele. Küll aga peab olema joonestuskolmnurk täpselt täisnurkne ja joonestuslaua vasak äär täpselt sirge. Endastmõistetavalt tuleb ühe ja sama joonise juures kasutada kogu aeg ühte ja sama rööpjoonlauda.



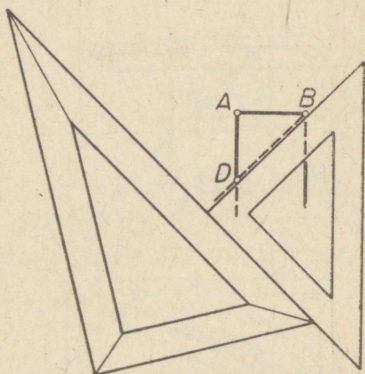
Joon. 16.



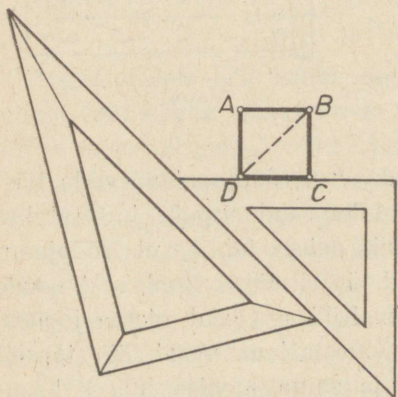
Joon. 17.



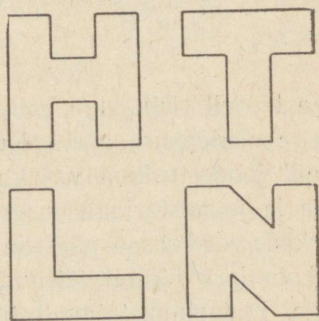
Joon. 18.



Joon. 19.



Joon. 20.



Joon. 21.

Rööpjoonlauru juhtklots ja joonlaud peavad olema hästi tugevasti ühendatud, et ei esineks vähimaidki loksumisvõimalusi. Ühendus kruvide abil ei osutu küllalt stabiilseks; kindlama ühenduse annab kokkuliimimine.

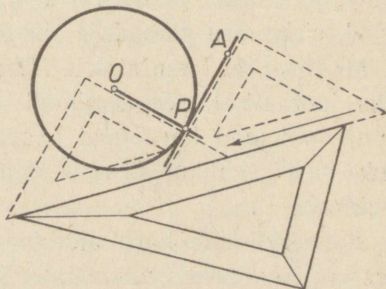
Mõnedel rööpjoonlaudadel koosneb juhtklots kahest pooldest, kusjuures teine pool on joonlauru suhtes pööratav mistahes nurga alla. Pööratav juhtklots võimaldab rööpjoonlauruga tõmmata joonisele mistahes sihilisi paralleelide parvesid (joon. 14); seejuures võib muidugi kasutada ka joonestuslauru muid ääri peale vasaku ääre.

3. Rööplükke täielik valitsemine osutub joonestajale teguriks, mis tema tööd tublisti hõlbustab ja kiirendab. Kes oskab joonestada ruutu ainult joonestuskolmnurki kasutades ja seejuures juhtsirge asendit mitte muutes, see tunneb juba peaaegu kõiki rööplükkes peituvaid võimalusi.

Olgu antud lõik AB , mis peab jääma ruudu üheks küljeks. Seame kolmnurgad lähteasendisse vastavalt joonisele 16. Rakendame väikesele kolmnurgale rööplüket, kuni saame tõmmata antud küljele ristsirge läbi punkti B (joon. 17). Jätkame rööplüket samas suunas, kuni saame tõmmata sirge ka läbi punkti A (joon. 18). Pöörame väikese kolmnurga ühe kaatetiga vastu juhtsirget ja rakendame rööplüket, kuni saame teise kaateti järgi tõmmata ruudu diagonaali BD (joon. 19; eeldatud on, et väike kolmnurk on võrdhaarne). Seadnud kolmnurga endisse asendisse, tõmbame lõpuks ruudu viimase külje DC (joon. 20).

Kirjeldatud viis pole ainus võimalik viis selle ülesande lahendamiseks. Kuidas võiks seda teha veel teisiti?

4. Ka ringjoonele puutuja tõmbamine toimub rööplükke abil väga hõlpsasti, kui puutepunkt on antud ringjoonel; siis rööplüket kasutades tõmmatakse puutuja puutepunkti suunduva raadiuse ristsirgenä; seejuures raadiust ei tarvitsegi joonestada.



Joon. 22.

Väljaspool ringjoont asetsevast punktiist võib tõmmata ringjoonele puutuja otsekohe, s. t. seades joonlaua ääre läbi antud punkti A ning ringjoont puudutavasse asendisse; puutepunkt P saadakse siis niiviisi tõmmatud puutujale rööplükke abil ristraadiust tõmmates (joon. 22).

Harjutusülesanded.

1) Kasutades joonestuskolmnurka teravnurkadega 30° ja 60° joonestada võrdkülgne kolmnurk küljepikkusega 5 sm, kui kord valitud juhtsirge asendit ei tohi enam muuta.

2) Eelmise ülesande tingimustel joonestada korrapärase kuusnurk küljepikkusega 5 sm.

3) Joonestada ainult kolmnurkade abil joonisel 21 leiduvaid tähtede kujusid tingimusel, et kord valitud juhtsirge asendit hiljem ei muudetakse.

§ 7. Sirklikarp.

Sirklikarpi on koondatud komplekt vajalikke joonestusvahendeid. Üksikesemete arvust sirklikarbis sõltub tavaliselt karbi hind. Õige suured ja kallid sirklikarbid sisaldavad rohkesti esemeid, mida tavalise joonestustöö juures vaevalt vaja tuleb; seepärast pole mõtet endale väga suurt ja kallist sirklikarpi ihaldadagi. Õigem on muretseda endale keskmise suurusega karp ja nimelt võimalikult kõrgevaliteediline. Korralik sirklikarp tasub joonestajale varsti oma kõrge hinna.

Sirklikarbis peavad kindlasti leiduma järgmised esemed: mõõtesirkel, joonsirkel (kahe või kolme vahetusotsaga), kruvisirkel, nuilsirkel, sirkliharu pikendaja, joonsulg, kruvits ja mijnitoos.

Mõõtesirklit kasutatakse lõikude ja kaartide ülekandmisel ja osadeks jaotamisel, seega nimelt mõõtmisprobleemide lahendamisel. Tema mõlemad haruotsad peavad olema ühepikkused ja nõeltevad; sirkli kõkkupööramisel peavad nõelte teravikud minema vastamisi.

Joonsirkli ühe haru alumine pool on asendatav kahe vahetusotsaga: üks neist võimaldab joonimist pliiatsis (see lõpeb nn. miinihoidjaga) ja teine tušis (see osutub joonsuleks ilma

käepidemeta). Seda sirklit kasutatakse peamiselt ringjoonimiseks, aga sageli ka mõõtesirkli ülesandeis. Teravik joonsirkli teise haru otsas peab olema haru külge kinnitatud liigendiga, mis võimaldab ringjoonimisel seada teravikku joonisepinnaga risti.

Liigendist peab iga sirkel liikuma kergesti, kuid tihkelt: ta ei tohi juhuslike kergete puudutuste mõjul muuta oma sammu (s. t. teravikkudevahelist kaugust). Paras hõõrdumine liigendis saavutatakse ühenduskruvi pinge muutmisega, kasutades kruvi pööramiseks väikest **kruvitsat**, mis peab leiduma igas sirklikarbis; väiksemates karpides asendab vahel kruvitsat väike varreta terasplekist plaadike.

Kruvisirkel (ehk vedrusirkel ehk kroonsirkel) on varustatud reguleerimiskruviga, mis võimaldab väga täpselt reguleerida sirkli sammu. Paremail kruvisirkleil on ühe haru pool asendatav ka joonimisvahenditega joonimiseks pliatsis ja tušis; need võimaldavad kruvisirklit täpsustööde juures kasutada nii mõõte- kui ka joonsirklina.

Nullsirkel on vahend õige väikese raadiusega ringikeste joonestamiseks. Sääraseid ringikesi (raadiusega $\frac{3}{4}$ mm kuni 2 mm) kasutatakse peamiselt geomeetrilistel joonistel tõkkena punktide täpse asukoha (ringikese keskpunkti) ümber; sel ringikesel katkestatakse kõik jooned, mis peavad seda punkti läbima. Nii ei saa punkt (s. o. joonestustehnilises mõttes sirkli teraviku torge) kunagi ära kaduda temast läbiminevate joonte alla. Tehnilistel joonistel punkte ringikestega ei märgita.

Nullsirkel joonestab korralikke ringikesi ainult siis, kui tema teravikuga varustatud varb oma pesas ei loksu. Väikest loksumist saab ajutiselt kaotada, kui mähkida varvale spiraalselt ümber juuksekarv.

Sirkliharu pikendaja otstarve ja kasutamine ei vaja erilisi selgitusi.

Joonsulg (ehk reissfeeder) on tušiga joonimise vahend. Joonimist teostatakse temaga ainult erandjuhtumel vabal käel, harilikult aga ikka mingi joonimist juhtiva vahendi, joonlaua, sirkli või iekaali (§ 13) kaasabil. Tema huulte vahemaad saab kruvi abil reguleerida võrdseks soovitava joonejämedusega.

Miinitoosis hoitakse miinide (pliiatsisüdamike) tagavara ja ka sirklite varuteravikke, kui viimaste jaoks ei leidu karbis mõnd muud panipaika.

§ 8. Sirkli käsitsemine vasaku käega.

Joonestusülesande sooritamine pliiatsis nõuab peamiselt pliiatsi ja sirkli kasutamist ja sageli lausa vaheldumisi: ühe või mõne sirgjoone tõmbamise järel on vaja pliiats vahetada sirkli vastu, et tõmmata ringjoont, või toimetada mõne lõigu ülekandmist; seejärel on vaja sirkel vahetada jälle pliiatsi vastu jne.

Sirgjoonimine on joonestustehnilises mõttes märksa keerulisem toiming kui ringjoonimine, kuna sirgjoonimisel on peale joonimisvahendi (pliiatsi) vaja käsitseda ka veel joonimist juhtivat seadist (kolmnurgad, rööpjoonlaud), ringjoonimisel aga on sirkel nii joonimisvahendiks kui ka joonimist juhtivaks vahendiks korraga. See pärast ringjoonimine vajab ainult ühte kätt, sirgjoonimine aga kahte. Sirgjoonimisel on loomulik, et vasak käsi teenindab kolmnurki ja parem käsi pliiatsit. Kui nüüd ka sirklit osatakse käsitseda ainult parema käega, siis osutub paratamatuks pliiatsit ja sirklit nende vahetamiseks järjest käest lauale panna ja taas laualt kätte võtta, sest parajasti ühega neist töötades ka teist samas käes pidada osutub ebamugavaks. Vahetamise toiming on aga aegavii-
te ja selle juures võib kergesti vigastada pliiatsi ja sirkli teravikke ning nendega ka joonise pinda.

Joonestamisel pole vasaku käe võimed ainult kolmnurkade lükkamisega-hoidmisega veel täielikult ära kasutatud, sest selle tööga tulevad küllaltki hästi toime ainult tema kolm viimast sõrme; põial ja esimene sõrm jäävad vabaks sirkli hoidmiseks. Sirklit vasaku käega teenindades ei tulegi tarvidust teda käest ära panna, sest sel ajal, kui sirkel töötab vasakus käes, ei ole vasakut kätt kunagi vaja kolmnurkade juurde, sirgjoonimise ajal aga ei osutu (sel ajal mittetöötava) sirkli hoidmine vasakus käes sugugi segavaks. Paremasse kätte jääb pidevalt ainult pliiats, ja nii pole

vaja ei sirklit ega pliiatsit enne käest ära panna, kui osutub vajalikuks neist ühe või teise vahetamine mõne kolmanda vahendi vastu.

§ 9. Pliiats-eeljoonis, tušijoonis ja pliiatsijoonis.

Pliiats-eeljooniseks nimetame joonist, millel leidub pliiatsis teostatult kogu eeltöö nõutava tušijoonise saamiseks, mis aga pole veel tušiga kaetud. Pliiats-eeljoonis on sisult lõplik, aga vormilt viimistlemata. Jooned temal on kõik ühesugused hallid peened pliiatsijooned, kõik tavaliselt pikemad, kui see oleks vajalik valmisjoonisel: miski pole temal jämedama joonega esile tõstetud. Kuna pliiats-eeljoonis on sisuliselt lõplik, on teda tarvis enne tušiga katmist hoolikalt kontrollida. Sisuliste vigade parandamine tušijoonisel pole enam hästi võimalik, kuna see nõuab tavaliselt paljude joonte mahakaapimist ja uuestitõmbamist; harilikult osutub neil puhkudel mõistlikumaks valmistada täiesti uus joonis. Pliiats-eeljoonisel on aga sisuliste vääratuste parandamine üsna hõlpus.

Pliiats-eeljoonist tušiga kattes antakse talle soovitav välimus ja nii viisi saadakse **tušijoonis**. Laitmatu tušijoonise saamine nõuab joonte tušiga katmise järel sageli veel viimistlemist, s. o. tehniliste pisivääratuste kõrvaldamist ja parandamist. Kõige tarvilikumad abivahendid viimistlemisel on **žiletitera** ja **peensulg** (ehk nn. tušisulg).

Pliiatsijooniseks nimetatakse joonist, mis on teostatud pliiatsis mitte üksnes sisult, vaid ka vormilt lõplikuna. Ka teda võib soovi korral tušiga katta, kuigi see tarvilik ei ole.

Joonist valmistama asudes peab joonestaja teadma, kas tema töötulemuseks peab jääma pliiatsijoonis või tušijoonis; sellest sõltub tunduvalt tema töörežiim. Kui käsil on tušijoonise pliiats-eeljoonis, siis võib tõmmata kõik jooned kuitahes pikad, kõik sisuliselt erinevat jooneliiki nõudvad jooned ühtviisi (peened, pidevad), kõik punkte piiravad nullikesed vabal käel; võib kasutada abijooni ja tähiseid, mida hiljem tušiga ei kaeta; iga sisulise ja tehnilise vääratuse võib otsekohe kummiga kõrvaldada. Pliiatsijoonist valmistades aga ei või joonestaja endale lubada sääraseid mugavusi. Tõsi

küll, on ju siingi võimalik kummi vahendusel üht-teist muuta, aga igal juhul see kahjustab teataval määral joonise esteetilist külge. Mis siin kuidagi paberile pannakse, peab sinna nii ka jääma. See pärast osutub vajalikuks pliiatsijoonist eriti hoolikalt kavandada — valmistada temast skitse, millede abil leitakse andmete sobivaim valik, tähiste ja kogu joonise parim paigutus ning määratakse igale joonele õige liik.

Pliiatsijoonisel kasutatakse pehmemaid pliiatseid kui pliiats-eeljoonisel, sest kõva pliiatsi joon on tuhm ja ilmetu. Lubamatu on pliiatsijoonisel tõsta olulisi jooni esile nii, et kõva pliiatsiga soonitakse paberisse vagu. Rõhutamisele kuuluvad jooned tuleb tõmmata pehmema pliiatsiga ja vajaliku joonejämedusega. Vastava joonejämeduse kohaselt kiiljalt teritatud (kiilu tahud võimalikult paralleelsed!) pehmege pliiats võimaldab tõmmata suure hulga samajämedusi jooni. Ka värvilised pliiatsid on pliiatsijoonisel hea eduga rakendatavad nii joonise olulisemate elementide esiletõstmiseks kui ka vähemtähtsa varjamiseks. Pole aga soovitatav tarvitada ühel joonisel rohkem kui kaht värvi lisaks mustale: liigne värviküllus võib joonise vaatlemisel osutada isegi segavaks.

On tõsiasi, et hoolikalt valmistatud pliiatsijoonis võib vastavat tušijoonist esteetilise külje poolest koguni ületada.

Eriotstarbeks võib õige puhta pliiatsijoonise saada sel teel, et valmistatakse mingil muul paberil (soovitatavalt õhukesel) pliiats-eeljoonis ja torgitakse selle punktid läbi pärisjoonise paberile; nende punktide järgi on hõlpus pliiatsiga arendada joonist kuni lõpuni nii, et seejuures ei tõmmata enam ühtegi ülearust joont. Säärane punktide ülekandmine teisele paberile (läbitorkimise teel) muidugi kahjustab veidi tulemust täpsust; ülekandevaad on aga tühised, kui pliiats-eeljoonise paber on õhuke ja läbitorkimise ajal paberid teineteise suhtes ei nihku.

§ 10. Joonsulega töötamine. Joonsule teritamine.

Eriti tähtis on algusest peale harjutada kätte õiged võtted töötamisel joonsulega. Puhtaid jooni tõmbab ainult hästi ja õigesti teritatud ning joonimisel õigesti käeshoitud joonsulg. Kulunud

otstega sulg ei võimalda üldse tõmmata juuspeeni jooni, jämedad jooned aga tõmbab ta sakiliste äärtega.

Kogemused näitavad, et päevast päeva pidevalt töös olles vajab joonsulg aastas 4—6 korral põhjalikumat teritamist.

Tubli joonestaja teritab oma joonsulge ise; korduv sule proovimine teritamise kestel võimaldab saavutada sule, mis on täiesti n. ö. oma käe järgi. Teritamine ise toimub peenel ja heal luisul; seejuures sulehuulte otsad ihutakse täiesti ühepikkuselt paraboolikujulisteks (vt. jooniseid §-is 47) ja hästi teravaiks, kuid mitte paberisse lõikavaiks. Ihumist teostatakse peamiselt huulte välimiselt külgedelt. Sisemisi külgi võib ihuda ainult kogupinnaliselt; neid ihudes tuleb eriti hoolitseda selle eest, et nad otstest ei kuluks kumeraks. Vastasel korral poleks enam võimalik kruvida huulte otsi päris teineteise ligi ja joonsulg oleks kaotanud oma peenjoonimise võime. Hoiatuseks olgu öeldud, et asjatundmatu teritamisega võib kergesti joonsule ka rikkuda.

Teritamise hõlbustamise mõttes on mõnedel joonsulgedel üks huul teise kohalt ärapööratav. Säärane ehitus osutub tõesti otsarbekohaseks joonsule puhastamisel ja teritamisel, aga seevastu joonimisel osutub niisugune sulg ebastabiilsemaks kui harilik sulg, seepärast on õigem eelistada viimast eelmisele.

Joonsule ühepikkused haruotsad nõuavad joonimisel sule hoidmist paberi risttasapinnas; sule normaalne kaldenurk on seejuures umbes 60°.

Joonimine ise peab toimuma käe rahuliku ja ühtlase liigutusega, et sule asend joonimise ajal käe ega joonise pinna suhtes ei muutuks. Seejuures hoiab käsi joonsulge vabalt, mitte kramplikult, ja surub teda vastu joonlaua äärt võimalikult kergesti. Liiga tugevasti joonsulge vastu joonlaua äärt surudes painutatakse joonijale ligemat suleharu ja selle tagajärjel saadakse peenem joon kui sooviti; liigse ja ühtlasi muutliku surve tagajärjel tuleb joon jämeduselt koguni ebaühtlane.

Joonsulega pidevat ja pikka sirglõiku tõmmates võiks käe normaalseks liikumiskiiruseks arvata 10—15 sm/sek. Lekaali järgi joonides on see kiirus muidugi väiksem, ja seda väiksem, mida kõveram on tõmmatav joon.

Vahetult enne järgmise joonlõigu tõmbamisele asumist fikseeritakse pilguga selle ulatust, seejuures eriti lõigu lõpupunkti asukohta meelde jättes; sel juhul pole karta joonimisel joone tõmbamist kogemata tema ettenähtud lõpupunktist üle ja joonimine ise võib toimuda ühtlase kiirusega peaaegu kuni lõigu lõpuni.

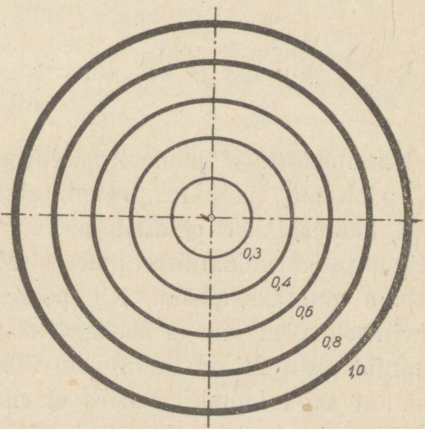
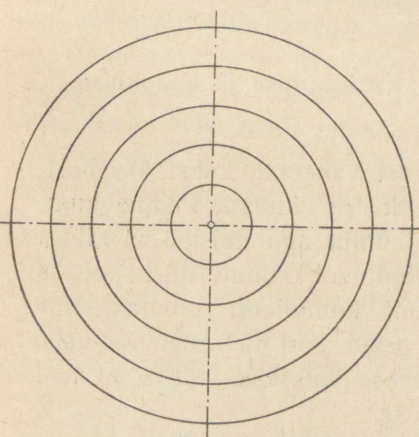
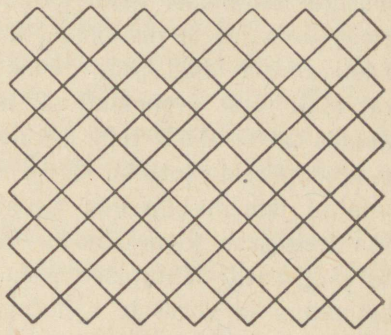
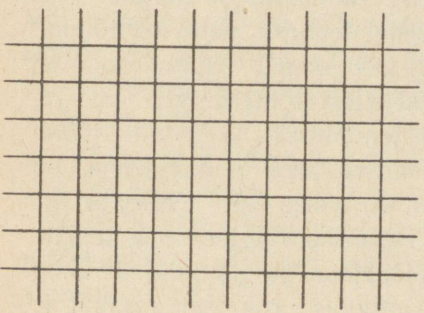
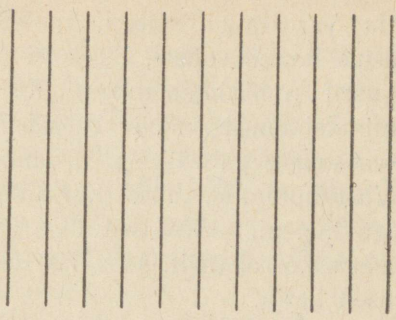
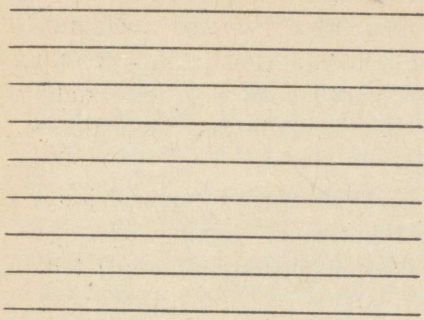
Järjekordset joont tõmbama hakates juhtub pahatihti, et joonsulg ei anna enam tušši välja, kuigi temäs vedelat tušši veel on; sel korral on tušš sullehuulte tippude vahel jõudnud juba veidi kuivada. Sellest tingitud töotakistus kõrvaldub silmapilkselt, kui joonsule otsaga korraks puudutada niisutatud kuivatuspaberit. Seepärast on tušiga töötamise ajal otstarbekohane pidada alati käepärast niisutatud kuivatuspaberi tükikest. Olgu soovitatud paigutada see tükike parajasti kasutamisel oleva joonimist juhtiva vahendi pinnale, kuna just see koht on joonsulele alati kõige lühema teega kättesaadav. Õigem on mitte oodatagi tarvidust joonsule otsa niisutamiseks, vaid teha seda iga uue joone tõmbamise eel.

Tušiga töötamisel tuleks püüda tööd korraldada nii, et üksikute joonte tõmbamise vahele jääksid võimalikult lühikesed vaheajad; nii saab ühe suletäie tušiga kõige rohkem tööd ära teha. Kuid ei maksa püüda iga viimsetki tilgakest tušši joonsulest ära kasutada, sest tuši poolkuivanud jääk sullehuulte vahel ei anna enam küllalt puhtaid jooni.

Joonsulega töötamise ajal võiks joonestaja töölaual leiduda muu hulgas ka lõigatud servadega joonestuspaberi tükikesi; neid kasutatakse joonsulest tuši poolkuivanud jääkide kõrvaldamiseks. Mõned neist võiksid olla rõhknaeltega kinnitatud joonestuslaua ülemise ääre külge nii, et nad ulatuksid pooleldi joonestuslaua pinnast üle; nende külge saab joonsulge puhastada, kasutades ainult paremat kätt, kuna vasak käsi võib sel korral jääda paigal hoidma joonimist juhtivat seadist (kolmnurgad või lekaal). Ka sulle täitmine uue tušiannusega on võimalik nii, et vasak käsi jääb endiselt hoidma kolmnurki või lekaali; selleks pistetakse joonsulg käepidemega vasaku käe kahe kõrvuti oleva sõrme vahele ja toimetatakse joonsule täitmist tušituubist parema käega.

Värske tuši kõrvaldamiseks joonsulest kasutatakse kuivatuspaberit või puuvillast lapikest.

Tušiga täitmiseks ei kasteta joonsulge kunagi otsapidi tušši-



Joon. 25.

potti. Kui pole kasutada tušituubi (§ 3), siis peab tušipoti kork olema varustatud sulega, millega tõstetakse vajalik tušiannus joonsule huulte vahele, Sulge ei täideta tušiga rohkem kui 8 mm kõrguselt (maksimaalannus). Kui joonsule jaoks pole ette näha maksimaalannust nõudvat pidevat tööd, võetakse joonsulesse sobiva suurusega väiksem tušiannus.

Vastõmmatud, alles kuivamata tušijoont ei tõmmata joonsulega kunagi teiskordselt üle. Täiesti kuivanud joont võib aga vajaduse korral (näit. soovides selle asemel jämedamat joont) teiskordselt katta.

Tušiga töötamisel tuleb joonestajal mõnikord arvestada veel järgmisi tõsiasju: 1) tušijooned tavalistel joonestuspaberitel tõmbuvad kuivamisel veidi peenemaks; 2) püstjooned näivad joonisel olevat alati pisut peenemad samajämedatest rõhtjoontest.

Joonis 23 sisaldab rida harjutusi joonimisest ja joonte jämeduse hindamisest (vt. ka § 4). Ülemised neli joonterühma on tõmmatud jämedusega 0,3; harjutustöös võiks aga tõmmata iga rühma isesuguse joonejämedusega. Harjutus ringjoontega teostatakse järgmiselt: lähtutakse peene pidevjoonega tõmmatud ühise keskpunktiga ja võrdsete vahedega ringjoonte rühmast vasakul ja jämendatakse siis kõiki jooni sissepoole (või kõiki väljapoole), kuni saavutatakse paremal esinevad jämedused.

§ 11. Kummid ja kaapimisriistad. Kustutamise ja kaapimise tehnika.

Kummisid olgu joonestajal käepärast vähemalt kaks: üks harielik, pehme, ja teine peeneteraline kare kumm. Pehme kummiga kustutatakse pliatsijooni, kare kumm aga abistab žiletitera tušijoonte kõrvaldamise juures. Määrduvad kumm tuleb vee ja seebiga puhtaks pesta. Ka päris uut kummi on soovitatav enne tarvituselevõttu vee ja seebiga hästi pesta, sest tavaliselt on uued kummid pisut õlised; kummisid õlitatakse vabrikus selleks, et nad pikemat aega ladudes seistes ei rikneks.

Kummipuru kõrvaldamiseks joonise pinnalt on soovitatav kasutada väikest **harjakest**. Käega on kummipuru jooniselt visalt kõr-

valdatav ja pealegi on käega joonisepinna puudutamine üldse ebasoovitav (kähigi rasvatab paberit!).

Pliiats-eeljooniselt ja pliiatsijooniselt on sageli vaja kustutada ära ainult üks joon joonerägistikust. Sel juhtumil kasutatakse nn. **kustutusplaati**. Kustutusplaadi võib joonestaja endale ise teha joonestuspaberi lehest, lõigates sellesse mitmesuguse pikkusega kitsaid pilusid ja mitmesuguse suurusega ringikujulisi ja pikergusi augukesti. Plaat paigutatakse sobiva avaga selle joone kohale, mida soovitakse jooniselt kustutada; kustutamise ajal kaitseb plaat kustutatava joone ümbrust kummi eest.

Parimalgi joonestajal ja ka kõige hoolikamal töötamisel tušiga juhtub ikkagi väikesi vääratusi. Need kõrvaldatakse jooniselt **kaapimise** teel. Parimaks kaapimisvahendiks osutub **žiletitera**. Kaapimisel painutatakse žiletitera sõrmede vahel veidi silindriliseks ja hoitakse teda nii, et silindri moodustajad on paberi pinnaga peaaegu risti. Kaapida tuleb julge ja kiire käelligutusega ning haarates külaltdaselt paberipinda.

Heal paberil jääb õigesti kaabitud koht täiesti siledaks ja jooned kaabitud pinnasel esinevad niisama puhtaina kui tervel pinnasel.

Valmistatakse ka spetsiaalseid kaapimisriistu, mis enamasti on noakujulised, õhukese, kõva ja kumera terakesega. Ka hästiteritatud taskunoa kumera teraotsaga kõlbab kaapida.

Kaapimist ei tohi teostada žileti või noatera tipuga, kuna see kraabib paberisse konarlike äärtega vagusid; neist ületõmmatav tušijoon ei tule enam puhas. Võiks öelda nii: kaapimine ei tohi osutada kraapimiseks; kaapides saadakse nimelt paberi tolmu, kraapides aga paberi puru.

Kui tušijooniselt on vajalik kõrvaldada joon, mille ligiläheduses leidub teisi jooni, siis ei maksa püüda neid teisi jooni jätta kaapimisel vigastamata, sest vigastatud jooni on hõlpus tušiga uuesti katta. Tušiga uuesti üle tõmmata tuleb ka need tušijooned, mis on joonist kummiga hõõrudes tuhmunud (pliiatsijoontest puhastamise ajal).

Liiga teravad joonsule huulotsad lõikavad joonimisel paberi sisse ja tušš pääseb paberipinnast sügavamale. Sääraseid jooni on

kaapimisega raske kõrvaldada, kuna tuleb kaapida väga sügavale. Tušijoont on üldiselt seda kergem joonisel kõrvaldada, mida väiksem on olnud joonimise ajal vajutus joonsulele.

Kui mõni sirgjoon kaetakse joonisel tušiga kogemata tunduvalt jämedamalt kui õigus, siis pole tema peenendamiseks tarvis teda üleni maha kaapida; lihtsam on talt paraja laiuusega ribakene žileti teraga küljest ära lõigata. Selleks lõigatakse esiteks joon joonlaua ääre järgi sobivalt «lõhki» ja siis lõigatakse joonise pinnalt ära paberilaast koos üleearuse jooneribaga — vabal käel ja žiletitera nurgaga, hoides tera nii, et laast saaks võimalikult kitsas ja õhuke. Säärane joone peenendamine on tunduvalt kiirem kui parandamine kaapimise ja uue joone tõmbamise teel. Vilumatu silmaga joonestaja kaldub tavaliselt lõikama joone küljest ära rohkem kui tarvis; see on aga väga halb, sest sinna, kust on joone küljest midagi ära lõigatud, ei saa enam tušiga jämedust juurde panna. Kahelt küljelt lõikamist ei tohiks lubada, sest niisugusel korral võtab joonestaja endalt võimaluse joone jämendamiseks, kui lõikamise järel joon osutub liiga peeneks. Peaaegu alati on kerge otsustada, kummalt jooneküljelt on õigem ribakest lõigata, et joonis jääks joone peenendamise järel ka täpsemaks.

Ka ringjooni saab hea eduga peenendada eespool kirjeldatud menetluse teel. Joone «lõhkilõikamine» toimub aga nüüd žiletiteraga, mis on kinnitatud sirkli joonsule huulte vahele.

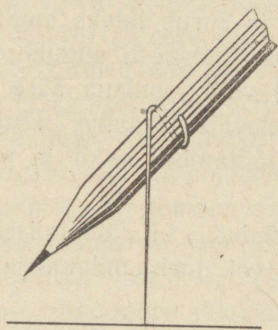
Muid kõveraid jooni pole soovitatav sel viisil «lõhkuma» hakata.

Kui tušš (või paber) pole küllalt kvaliteetne, siis tušijooned kaabitud pinnal kipuvad tulema «karvased». Seda pahet saab veidi vähendada, kui kaabitud koht enne tušiga joonimist hõõruda üle pliiaatsigrafiidiga või talgiga. Aga «karvaseid» jooni saab eespool kirjeldatud viisil hõlpsasti ka «siledaks pügada».

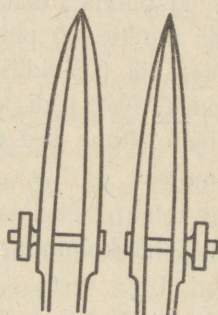
§ 12. Sirg- ja ringjoonimise tehnika.

1. Sirgjoon on teatavasti määratud oma kahe punktiga. Punkti esindab joonisel sirkliteraviku torge. Kui joonlaud on sirge äärega, siis näiliselt ei paku sirge pliiaatsijoone tõmbamine läbi kahe antud punkti mingeid probleeme: tuleb vaid seada joonlaud niisugusesse

asendisse, et tema ääre järgi saaks tõmmata joont täpselt läbi punktide, ja tõmmata siis joon välja. Tegelikult on aga säärane joonlaua ääre seadmine õigesse asendisse üsna palju aega võttev toiming, ja nimelt põhjusel, et silmadega saab korraga jälgida ainult ühte punkti. Kui nüüd joonlaua äär seatakse ühe punkti juures sobivale kohale ja juhitakse siis pilk teisele punktile ning hakatakse sobitama joonlaua ääre asendit ka selle punkti juures, nihkub harilikult joonlaua äär sel ajal esimese punkti juurest veidi ära. Seadnud nüüd jälle esimese punkti juures joonlaua ääre korda, võib nihkuda see ära teise punkti juures jne. Lõpuks muidugi



Joon. 24.



Joon. 25.

saadakse joonlaud korda mõlema punkti juures, aga aega võib selleks kuluda 10 kuni 20 sekundit. See on väga suur ajakulu võrreldes ajaga, mis kulub joone enda väljatõmbamiseks: selleks ei kulu sekunditki! Säärane aegaviitev joonlaua seadmine iga uue joone tõmbamise eel on joonestajale äärmiselt tüütu ja pingutab liiga tema silmi. Lihtne on joonestajal end sellest vaevast vabastada järgmiselt. Võetakse üks sirkli varuteravik ja torgatakse see joonestuspliatsi sisse umbes 45°-lise kaldega pliatsi suhtes. Joonlaua ääre seadmine läbi kahe antud punkti toimub nüüd järgmiselt. Paigutatakse teraviku ots ühte punkti, lükatakse joonlaud äärega vastu teravikku, pööratakse joonlauda ümber teraviku seni, kuni tema äär jookseb sobivalt ka teise punkti suhtes, ning — võibki

joonida; aega ei kulu selleks üle 4 sekundi — seega kulub viis korda vähem kui teraviku abita.

Taiplik joonestaja valmistab endale pliatsi külge teraviku hoidemuhvi või — loobudes sirkli varuteraviku kasutamisest — valmistab endale teraviku koos spiraalse hoiderõngaga traadist, näiteks haaknõela terava otsaga poolest, ihudes selle otsa hästi peeneks ja teravaks (joon. 24, teravikuga varustatud pliats torkel). Teraviku torkamine pliatsipuusse võib puu ja südamiku lõhkuda; pealegi puudub niisuguse kinnitamise puhul võimalus teraviku kõrgust mugavalt reguleerida.

Joonestuspliatsi otsa kasutamine teraviku ülesannetes pole soovitatav, sest 1) pliats määrib ära ja surub laiaks augukesed, mis märgistavad punkte, 2) pliats libiseb kergesti augukesest välja ja 3) pliatsi teravik (või kiiljas ots) võib joonlaua ääre tõukel kergesti murduda. Ka sirkli küljes olevate teravike kasutamine pole otstarbekohane, kuna see nõuab töötamisel sirkli ja pliatsi sagedast vahetamist.

Muidugi tuleb teravikku rakendada ka joonimisel rööplükke vahendusel kahe kolmnurga abil või nurkjoonlaua ja kolmnurga abil.

Joonimisel kolmnurga ääre järgi ei tõmmata kunagi joont kuni kolmnurga tipuni, sest tippude ümbruses on kolmnurgad harilikult pisut ümmarguseks kulunud, eriti kui kolmnurga materjaliks on puu.

2. Pliatsijooni tušiga kattes tuleb joonlaua paigutamisel alati silmas pidada järgmisi asjaolusid: 1) tušijoonel telg peab jääma täpselt pliatsijoonel kohale (s. t. tušijoonel jämedusest pool peab jääma pliatsijoonel ühele, pool teisele poole); 2) tušijoon jääb kogu oma jämedusega joonlaua servast väljapoole, kusjuures tušijoonel ja joonlaua serva vahele jääb veel ribake ruumi. Viimase riba laius oleneb joonsule huulte paksusest; mida väiksem see on, seda parem, sest seda hõlpsam on joonlauda õigesti seada kaetava pliatsijoonel juurde. Järelikult joonsule huulte otsad olgu võimalikult õhukesed! Kui need on liiga paksud (nagu joonisel 25 vasakul), siis tuleb nad õhukeseks ihuda, halvematel juhtumitel esialgu

päris harilikul käial. Joonsule huulte õigeid proportsioone võib näha joonisel 25 (paremal).

Jämedad tušijooned (0,8 kuni 1,2 mm) tulevad mõnikord (eriti kui sules on tušši maksimaalannus) pisut sakiliste äärtega ka siis, kui joonsulg on korralikult teritatud ja joonimisel ka õigesti käes hoitud. Soovides eriti puhast tööd, võib niisugused jooned hiljem äärtelt üle tõmmata joonsule peene seadega, hoidudes seejuures andmast joonejämedusele märgatavat lisa.

Tõmmatud joone sirguses kaheldes suunitakse pilk paberi pinnal piki joont; nii tulevad selgesti nähtavale «sirgjoone» kõik kõverused ja muudki puudused.

Kriipsjoonte ja kriipspunktjoonte tõmbamisel tušiga ei tohi joonsulge jätta kriipsu algusse ega lõppu «istuma», vaid iga kriipsukese tõmbamist tuleb alustada ja lõpetada kiire ning sujuva käeliigutusega; niisugusel korral kriipsukeste jämedus tuleb ühtlane ja otsad jäävad veidi ümardatuks. Vastasel korral aga algavad ja lõpevad kriipsukesed «muhkudega». Sama kehtib muidugi ka pikemate joonlõikude tõmbamise alustamise ja lõpetamise kohta.

3. Ringjoonimine on joonestustehnilises mõttes lihtsamaid toiminguid, seepärast võime siin piirduda ainult paari näpunäitega.

Suuremate ringjoonte tõmbamisel murtakse sirkli harud vastavatest liigenditest nurklikeks nii, et harude alumised osad jääksid joonimisel enam-vähem risti joonise pinnaga (miks?).

Ringjoone tõmbamise järel jäetakse võimaluse korral ringi raadius sirkliise, sest see raadius võib osutada peatselt uuesti tarvilikuks.

Korduvalt katkestatava ringjoone tõmbamisel, samuti kriipsjoonega ringjoonimisel on mõnikord mugavam hoida sirkli paiga! ja pöörata sirkli asemel paberit (muidugi mitte paberit koos joonestuslauaga!).

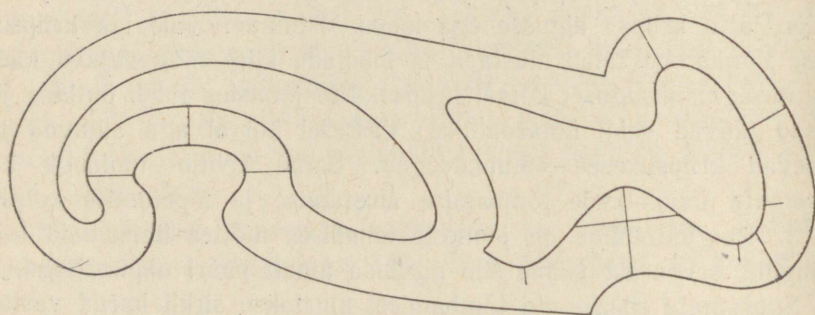
§ 13. Lekaalid ja kõverjoonimise tehnika. Spetsiaalse lekaali valmistamine joonestuspaberist.

1. Lekaal (ehk kurvijoonlaud) on kõverjoonimist juhtiv vahend. Lekaali abil joonestatakse kõiki mitte-ringjoonelisi kõveraaid ehk nn. l e k a a l k ö v e r a i d.

Lekaale valmistatakse peamiselt puust ja tselluloidist. Neile püütakse anda kuju, mis sisaldaks võimalikult mitmekesisist kõverike hulka, et igakujulise kõvera joonestamiseks võiks lekaalilt leida kõvera kaartega kokkusobivaid kohti.

Müügil olevate lekaalide kohta võib üldiselt öelda seda, et neil mõned, joonestamise juures vajalikud kõverus-elementid on sageli puudulikud. Näiteks puudub neil tavaliselt täiesti sirgeks muutuv osa; see on aga tarvilik kõigi asümptootiliste kõverate (vt. § 46) joonestamisel.

Joonisel 26 on esitatud üks mitteharilik lekaali tüüp, mis peaks võrdlemisi hästi rahuldama tehnilise ala inimest joonestamisel.



Joon. 26.

Kriipsukesed sellel märgitsevad mõnede täpseina esindatud tuntud kõverate (ellipsid, siinuskõver) telgesid.

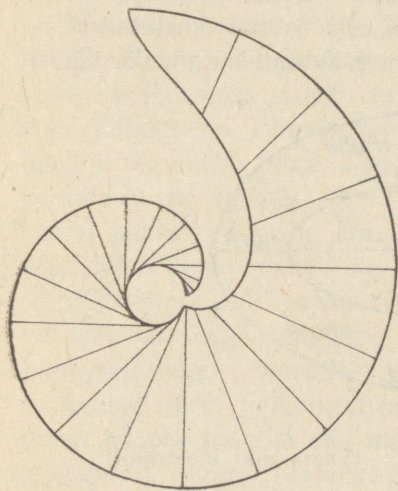
Joonisel 27 esitatud lekaal on ringjoone evolventi kujuline (vt. § 49); niisugune sobib eriti hästi spiraalsete kõverate joonestamiseks. Jooned sellel on välise ääre kõvera normaalid, mis lõpevad kõveruskeskpunktiga (vt. § 44) sisemisel ringikesel. Nii saab selle lekaali abil määrata keskpunkti ringile, mille kaar sobib paremini asendama antud kõvera kaart teatavas kohas.

Mõlemad lekaalid peaksid tegelikult olema kaks kuni kolm korda suuremad kui siin joonistel.

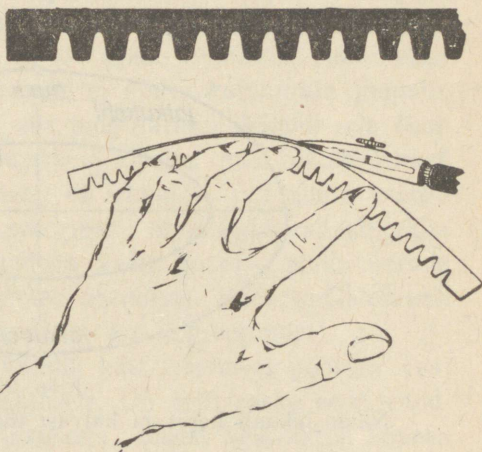
On valmistatud ka metallist lekaale, mille kõverusi saab vasta-

vate kruvide abil soovi kohaselt muuta, aga muidugi ainult kindlais piires.

Viimasel ajal on veel tarvitusele võetud kummimassist lekaalid, mille painutamiseга näppude vahel saadakse soovitavaid kõverikke (joon. 28). Ka tavaliste kõverakujuliste lekaalide materjalina on kasutatud elastseid masse, mis võimaldavad lekaali kõverikke teataval määral muuta — joonestatava kõvera järgi paberi pinnal



Joon. 27.



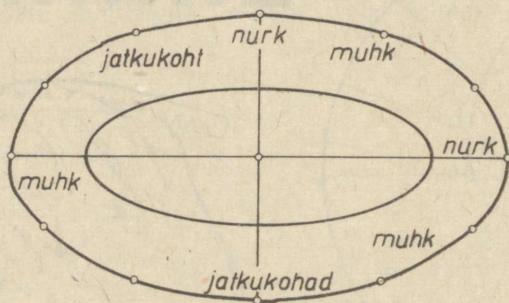
Joon. 28.

sobivalt deformeerida; nii võimaldub kõverast joonestada korraga pikemat kaart. Sääraste kummilekaalide järgi joonimine on siiski ebakindlam kui kõvast materjalist lekaalide järgi. Ka sümmeetriliste kõverate joonestamiseks pole nad hästi sobivad, sest neile korduvalt ühe ja sama kuju andmine pole hästi võimalik.

Määrduvad lekaale puhastatakse samuti nagu määrduvad kolmnurki; tuši sattumist lekaali äärte alla välditakse lekaali servade pisut ümmarguseks hõõrumisega — samuti nagu kolmnurkadegi juures (vt. § 5 art. 2).

2. Töötamine lekaaliga pole hoopiski nii lihtne asi, kui esialgu näib: see nõuab rohkeid töökogemusi, enne kui saavutatakse täiesti laitmatud tulemused.

Kõvera kaare jaoks lekaalilt sobivat kohta otsides tuleb eriti hoolitseda selle eest, et tükkaaval tõmmatav sisuliselt ladus kõver ei sisaldaks hiljem nurki, muhke ega nähtavaid jätkukohti (joon. 29). Selle saavutamiseks mõned näpunäited. Tavaliselt teame oma kõverast ainult tema üksikuid punkte, mis on määratud kas konstruktsiooni või arvutamise teel. Neid üksikuid punkte pliiatsis või tušis otsekohe lekaali järgi ühendada püüdes võib vaevalt loota rahuldavaid tulemusi. Õigem on tõmmata alguses pliiatsiga kõver läbi punktirea päris vabal käel ja seda siis kohati kustutades ja uuesti tõmmates korrigeerida seni, kuni saavutatakse lõpuks täiesti



Joon. 29.

Näide lekaali heast ja halvast tööst. (Vaata piki kõveraid!)

rahuldav tulemus (sirkliteraviku torked punktide tähiseina ei lähe kustutamisel kaotsi!). Vahepealset kontrolli teostades jälgitakse kõvera üldpilti ja kõvera ladususe hindamiseks vaadatakse piki kõverat. Üldpildi vaatlemisel on kõvera sümmeetria suureks abiks vigade avastamisel.

Alles siis, kui kõver on vabal käel pliiatsiga tervikuna rahuldavalt välja joonestatud, võetakse kätte lekaal. Otsimise ja proovimise tulemusena leitud kokkusobivad kohad lekaalil ja kõveral märgitakse kriipsukeste vahele ja vajaduse korral need nummerdatakse. Alles pärast seda, kui kogu kõvera jaoks on leitud ja märgitud vastavad kohad lekaalil, alustatakse joonimist tušiga.

Nurkade vältimiseks tuleb seada lekaal kõvera järgmise osa jaoks nii, et ta ei jäljendaks kõverat mitte üksnes käesoleva osa

ulatuses, vaid ka sellest ette- ja tahapoole. Muhud tekivad sellest, et liigselt kõverdatud osaga püütakse tasakaalustamiseks liita õigest lamedamat osa või ümberpöörduvalt. Nende vältimiseks pole soovitada muud, kui ainult kannatlikkust ja hoolikust lekaalilt kõvera osaga parimini sobiva koha otsimisel.

Sümmeetriliste kõverate puhul kasutatakse kõvera sümmeetriliste osade tõmbamisel kindlasti lekaali üht ja sama kohta, paigutades lekaali kord ühe, kord teise küljega vastu paberit.

Tõmmates lekaali järgi jämedajoonelisi tušikõveraid pole kasulik iga tõmmatud kaarekese järel oodata tuši kuivamist joonisel, kuna ka joonsules kuivab tušš samal ajal. Joonimist saab otsekohe jätkata, kui lekaal uues asendis ei küüni kuivamata jooneni; tuleb ta aga selle joone kohale, siis paigutatakse lekaali alla (kuivamata joone ligidale) joonestuspaberi ribake, mis tõstab lekaali paberi pinnast nii palju kõrgemale, et lekaal ei saa enam märga joont laiiali ajada. Tähtis on, et see ribake ulatuks lekaali alt välja sel määral, et teda saaks sõrmedega vastu joonise pinda suruda sel ajal, kui lekaali seatakse õigesse asendisse. Endastmõistetavalt sobib samasugust menetlust rakendada ka sirgjoonimisel.

Lekaali järgi joonimisel on vajalik kätt randmest pöörata vastavalt kõvera puutuja sihi muutumisele. On eriti raske seda randmeliigutust teostada vajaliku sujuvusega, millest aga sõltub kõvera ladusus. Seepärast leidub suuremates sirklikarpides eriline joonsulg, mis võimaldab kõverjoonida ilma selle tülika randmeliigutusega. Sel joonsulel on huuled tublisti kõverdatud ja tema huultega ots saab pöörelda ümber sule pikitelje.

Väga järsu kõverusega kohad kõverail joonestatakse pigemini peensulega ja käsitsi kui joonsulega ja lekaali järgi, nimelt jälle sama, siin eriti tülika randmeliigutuse pärast. Väikese ja enam-vähem ühtlase kõverusega joonte puhul võib lekaalina edukalt kasutada rööpjoonlauda või õhukest metalljoonlauda, mida painutatakse sõrmede vahel nii, et ta serv jookseb piki kõverjoone punktirida; joonlaua pind hoitakse seejuures muidugi risti joonise pinnaga. Et säärane joonlaua painutamine nõuab kindlasti joonestaja mõlemat kätt, siis joonijaks on vaja teist isikut.

3. Kõverjoone moodustamine paljudest lühikestest kaarekes-

test pole otstarbekohane, kui lekaalkõveraaid soovitakse tušis joonestada eriti korrektselt. Täiesti laitmatu töö saavutatakse hõlpsamini, kasutades iga kõvera jaoks spetsiaalselt valmistatud lekaali. Sobivaim materjal selleks on paks joonestuspaber. Kõverjoone konstruktiivselt leitud punktid torgitakse jooniselt läbi lekaalipaberile, ühendatakse seal (käsitsi!) võimalikult ladusa kõveraga ja lõigatakse siis paber piki joont kääridega ladusalt läbi; veel pisut silumist peenel liivapaberil, ja kõvera spetsiaalne lekaal ongi valmis. Säärase paberist lekaaliga joonimisel peab lekaali alla olema kindlasti paigutatud joonestuspaberi ribake, et vältida tuši valgumist lekaali ääre alla.

Sümmeetriliste kõverjoonte jaoks pole vaja valmistada spetsiaalset lekaali kogu kõvera ulatuses, vaid ainult kõvera osa jaoks ühel pool üht sümmeetriatelge. Näiteks ellipsi jaoks on sobivaim valmistada säärane spetsiaalne lekaal, mis võimaldab korruga joonestada poolellipsit ühel pool pikemat telge.

Aja jooksul koguneb joonestajale terve hulk paberist omavalmistatud lekaale. Kogemused näitavad, et need on ka muu, juhusliku kõvera joonestamisel viljakamalt rakendatavad kui tavalised vabrikulekaalid; seepärast tuleb soovitada nende kogumist ja säilitamist.

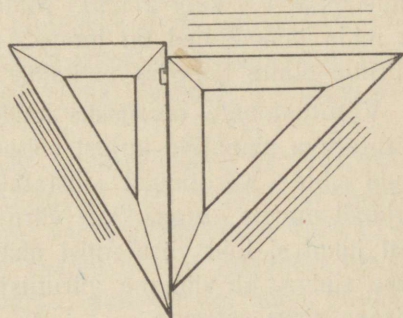
Tavalist puust lekaali saab sageli antud kõveraga märksa pikemalt kokkusobivusse viia tema väikese ümbertegemise teel. Lekaali kõverusi muuta on väga hõlpus taskunoa ja liivapaberi abil. Teostades niisuguseid korrigeerimisi hoolikalt ja hästi läbi mõeldult, deformeerib joonestaja vabrikulekaali kuju pikkamööda oma vajadustele vastavalt järjest sobivamaks.

§ 14. Pinna katmise viisid: viirutamine, pritsimine, täpimine ja värvimine.

1. **Viirutamine** (ehk šrafeerimine) tähendab joonisel mingi pinnaosa katmist võrdvaheliste paralleelide parvega. Viirutusega kaetakse joonistel kehade tasaste lõigete kujutisi ja — eriti kujutatavas geomeetrias — kehade varjusid; keha materjali sümbolina tähendab harilik viirutus metalli.

Viirutussirgete paralleelsus on küll kergesti saavutatav rööplükke abil, kuid võrdsete vahede saamine ilma vastava seadiseta oleks võimalik vaid tülika ja aegaviitva mõõtmistoimingu abil. Viimasest vabaneb joonestaja, kasutades järgmist lihtsat seadist.

Ühe puust joonestuskolmnurga ääre sisse lõigatakse sobiva laiusega täisnurkne sälk ja teise kolmnurga ääre sisse lüüakse naelake, nagu näha joonisel 30. Rakendades kolmnurkadele vaheldumisi rööplüket nende liikumisvabaduse ulatuses, liiguvad nende vabad ääred paralleelselt iseendiga, n. ö. võrdsete sammudega. Joonisele 30 vastava seadise puhul kolmnurkade ülemised kaated liiguvad sammuga, mille pikkus võrdub sälgu laiuse ja naelakese diameetri vahega. Olgu selle sammu pikkus a : sel korral vasaku kolmnurga hüpotenuus liigub sammuga $0,5a$ ja parema kolmnurga hüpotenuus sammuga



Joon. 30.

$\frac{\sqrt{2}}{2}a \approx 0,7a$.

Niisiis ühe ja sama sälgu abil on võimalik saada juba kolme erineva vahega viirutust. Tõmmates aga jooni mitte iga sammu takka, vaid iga kahe sammu takka, saame lisaks veel viirutused joonevaheliseks $1,4a$ ja $2a$. Sälgusid võib aga lõigata kolmnurga ääre sisse rohkem kui ühe, igaüks isesuguse laiusega. Kõige laiem sälk võiks olla laiusega $\frac{1}{2}$ sm + naelakese diameeter; see võimaldaks siis lineerida paberit $\frac{1}{2}$ -sm-lise joonevaheliseks.

Sälgud kolmnurga ühe ääre sees ei vähenda selle kolmnurga väärtust hariliku joonestusvahendina. Teise kolmnurga naelake aga osutub segavaks, kui seda kolmnurka tahetakse kasutada ka muuks otstarbeks. Naelake on aga kergesti kõrvaldatav; vajaduse korral võib selle jälle endisse auku tagasi lüüa.

Sälgukese ja naelakese asemel võib hea eduga kasutada ka kolme nõõpnõela, milledest kaks lüüakse ühe kolmnurga ääre sisse

(need asendavad sätku) ja üks teise kolmnurga ääre sisse (see asendab naelakest), kõik umbes 45°-lise kaldega kolmnurga pinna suhtes.

Viirusjoonte vahe valitakse vastavalt pinna soovitavaled tumedusele 0,5 kuni 2 mm. Mida väiksem on viirusjoonte vahe ja mida jämedamad on jooned, seda tumedam tuleb kaetud pind. Viirusjoonte jämedus valitakse vahemikust 0,1 kuni 0,3 mm.

Viirusjoonte tavaliseks kaldenurgaks rõhtsihi suhtes on 45°; viirutatava pinnatüki kujust sõltuvalt tuleb aga sageli kasutada ka muid sihte. Viirutamist alustatakse võimalikult nii, et ta lõpeks kujundi mingis nurgas (kus viirusjoonte pikkus kahaneb nulliks); igal juhul ei tohi viirutamist alustada niisugusest kohast ja niisuguse sihiga, et viimane viirusjoon jääks paralleelseks pinnaosa piirava sirge servaga.

Viirus näitab väga silmatorkavalt välja kõik oma pisemadki ebakorrektsused — joonte ebaühtlased vahed ja jämedused; seepärast tuleb viirutamistööd korraldada nii, et see võiks takistamatult toimuda algusest lõpuni. Et tušš joonsules liiga kiiresti ei kuivaks, viirutatakse harilikult lahjendatud tuššiga.

Ilma mehaanilise seadiseta, mis võimaldab viirusjoonte vahesid võrdseks mõõta, on korraliku viirutuse saamine lootusetu toiming.

2. Pritsimine on eriline pinna katmise viis, mis tavaliste joonestusvahenditega pole teostatav. Kattteks kasutatakse siin tublisti lahjendatud musta tušši, mingit värvilist tušši või ka vesivärvi lahust. Eriliste abinõudena kasutatakse pritsimisel peenikest metallvõrku ja harjakest; viimaseks võib olla väga hästi vana kulunud hambahari; võrguna võib hädakorral tarvitada ka näiteks teesõela või kammi. Suuremate pritsimistööde puhul kasutatakse **pulverisaatorit**.

Vedelikku kastetud harjakesega joonise kohal võrku hõõrudes langevad võrgust läbi peenikesed pritsmed joonise pinnale ja katavad selle ühtlase ja nägusa mati tooniga.

Pritsimine nõuab rohkelt harjutamist. Tähtis on, et pritsmed oleksid hästi peened, peaaegu udulised, ainult siis katavad nad pinda

ühtlaselt ja nägusalt. Enne ei hakata joonist pritsima, kui kõrvalisel paberil proovides on saadud kätte udupeen pritsmete sadu.

Et pritsmed satuksid ainult katmisele kuuluvale pinnaosale, tuleb kogu ülejäänud joonisepind katta kaitsepaberiga. Kaitsepaberi servadele, mis piiravad pritsitavat pinnatükki, laotakse esemeid, nagu kandilised peata raudnaelad, metallrahad või muud, sest pritsimisel kaitsepaber niiskub, tõmbudes kortsu, mille tagajärjel pritsmed võiksid sattuda kaitsepaberi ääre alla; eespool nimetatud esemed väldivad seda pahet.

Pritsimine on kõige sobivam viis joonisel eseme varjude esitamiseks; selle tehnika täielikul valitsemisel võib varjude piirjooned jätta tušijoonega tõmbamata, sest varjude piirjooned tulevad ka muidu küllalt puhtalt esile. Pealegi saame niiviisi varjudest loomulikuma pildi, sest ka looduslikud varjud pole kunagi väga teravate piirjoontega.

3. **Täpõtamine** tähendab pinna katmist täpikestega, mis ükshaaval täpitakse paberile peensule või ka hariliku sule otsaga. Täpõtuse normaalseks keskmiseks tiheduseks võiks arvestada 1 kuni 2 täpikest pinna iga mm² kohta.

Võrreldes teiste pinnakatmise viisidega on täpõtamine palju rohkem aega nõudev toiming; seepärast tuleb ta arvesse ainult õige väikeste pindade puhul. Lihtne arvutus näitab, et 1 dm² suure pinnatüki täpõtamine võib nõuda aega kuni 2 tundi.

Täpõtamise ainsaks suureks hüveks on see, et ta ei nõua mingit ettevalmistust ega mingeid lisaseadmeid. Seevastu nõuab ta aga joonestajalt suurt kannatlikkust ja hästi tugevaid silmi. Kui kannatus ei katke, siis pole karta täpõtamise töö ebaõnnestumist; viirutamise ja pritsimine aga võivad kergesti ebaõnnestuda.

4. Pinna katmisel **vesivärvidega** tuleb hoolitseda selle eest, et värv kataks pinda ühtlaselt ja et paber ei tõmbuks värvi kuivades kortsu. Tähtis on, et värvimisele tulev paberipind oleks täiesti puhas, igal juhul mitte rasvane. Värvimisele tulevat pinda on soovitatav enne värvimist pintsliga puhta veega üle tõmmata, sest niisket paberit on hõlpsam vesivärviga ühtlaselt katta. Värv tuleb korralikult lahustada, et lahusesse ei jääks vähimaidki värvitükke; ka pintslitüükast tuleb kõik värvaine lahusesse hõõruda.

Värvimisel ei tohi kahe pintsliäie vahel lasta värvi kuivada sellelt rindelt, kust värvimine jätkub; seepärast ei kulutata ühtegi pintsli-
tält lõpuni ära, vaid jäetakse sellest varuks ette paras «värvivall»,
millega uut pintsliäit liites alles haaratakse värvi alla järgmine
pinnaosa. Paberi kortsutõmbumise võimalus värvi kuivamisel on
igal juhul välditud, kui paber on joonestuslauale kõigist äärtest
kleebitud ja enne kleepimist niisutatud. Paremad joonestuspaberi
sordid ei tõmbu kortsu ka siis, kui värvimine toimub lahtisel lehel.
Alati on aga võimalik enne värvimist kindlaks teha, kuivõrd joo-
nise paber vesivärvide kasutamisel kortsus ja kuidas ta üldse vesi-
värvi «vastu võtab», s. t. kuivõrd puhtaid tulemusi ta võimaldab,
kui muid tegureid ei arvestata. Pinda, mida on kohati kaabitud, ei
maksa vesivärviga katma hakata; säärase pinna puhul tuleb valida
kas pritsimine või täpimine.

§ 15. Tušiga katmise järjekord.

Pliiats-eeljoonise katmist tušiga pole otstarbekohane teostada
joonise tekkimise loomulikus järjekorras. Näiteks on lekaalkõverad
tavaliselt joonestusülesande lõpptulemuseks, aga tušiga katmist on
sobiv just nendest alustada. Nimelt kõige rohkem vääratamise
võimalusi esineb lekaaliga töötamisel; vääratusi on aga kõige
mugavam kaapimise abil parandada, kui ligiläheduses ei leidu veel
teisi tušijooni.

Joonise elementide kõige otstarbekohasem tušiga katmise järje-
kord on järgmine: 1) ringikesed nullsirkliga, 2) lekaalkõverad,
3) ringjooned ja kaared, 4) sirgjooned, 5) mitmesugused lisandid
(nooded, mõõtjooned, mõõtarsvud jm.), 6) pinnakatmised, 7) kirjad.

Reeglina tuleks jätta meelde, et alati tõmmatakse tušis välja
enne kõverjooned ja siis alles nende puutujad.

Enne pinnakatmist tuleb joonis pliiatsijoonest puhastada.

§ 16. Joonise kavandamine ja käsitsi skitseerimine.

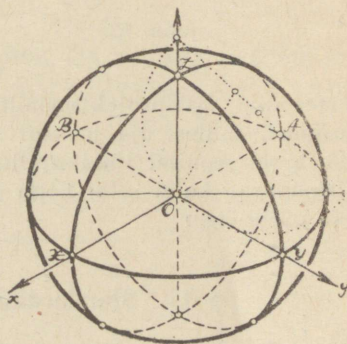
Kui andmed joonise valmistamiseks pole täpselt ette antud,
nagu see ongi kombeks õpijooniste puhul nii geomeetrilises joones-
tamises kui ka kujutatavas geomeetrias, siis võib joonestaja valida

andmed vabalt. Joonise jaoks sobivate andmete otsingul peab joonestaja juhinduma soovist saada ülevaatlik ja nägus joonis tasakaalukate proportsioonidega, heas paigutuses ja kasutatavale formaadile vastavas suuruses. Huupi valitud andmeist lähtudes ei võlota kõigi nende suurte nõuete rahuldamist korraga.

Kui joonis on teostuselt niivõrd ulatuslik, et kõik vajalikud sammud andmeist tulemuseni jõudmiseks pole korraga haaratavad, siis tuleb esialgu valida andmed küll mõnevõrra huupi ja nende varal teha käsitsi skitsi kogu joonisest. Skitsi valmistamisel selgub ühtlasi andmete sobivuse küsimus ja mittedobivuse korral nende muutmise vajalik suund. Sageli on vaja teha õige mitu skitsi, enne kui leitakse igati sobivad andmed.

Vabal käel tehtavad skitsid arendavad tublisti joonestaja käe- osavust ja silmamõõtu. Skitsist, mis on tehtud niivõrd ebatäpselt ja lohakalt, et sellest ei saa midagi välja lugeda andmete sobivuse ja kujutatava eseme proportsioonide kohta, pole mingit kasu. Seepärast tuleb ka vabal käel skitseerides taotella võimalikult suurt täpsust, samuti nagu töötamisel joonestusvahenditega; joonise olulised elemendid —

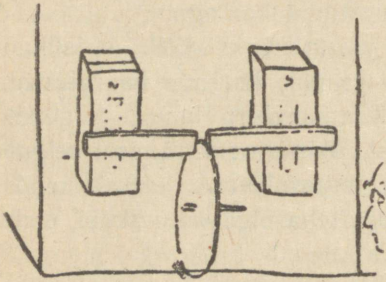
sirged, paralleelsus, täisnurgad, ringjooned, ellipsid ja muud kõverad — püütagu esitada niivõrd korrektseina, et ükski skitsi vaatleja ei saaks neid muuks pidada, kui ainult selleks, mis nad olema peavad. Järjekindla harjutamisega võib joonestaja saavutada vabal käel skitseerimise alal niivõrd kõrge taseme, et tema skitsid jäta- vad niisama hea mulje kui pärisjoonised. Üht keskmise väärtusega skitsi näitab joonis 31; see on käesoleva raamatu autori poolt ühe klišeeprojektiooni kavandamisel käsitsi valmistatud skits.¹



Joon. 31.

¹ Klišeeprojektiooni valmistamiseks tuli esialgne pliiatsiskits katta tušiga, mis- tõttu skitsi ilme kahjuks tunduvalt muutus.

Tugev skitseerimisvõime on eriti vajalik masinakonstruktooreile ja arhitektidele, kuna neil on tähtis oma loovas mõtlemises kujunevaid paljusid häid ideid kritiseerida ja sobivuse korral edasi arendada või detailiseerida, mis toimub kõige kiiremalt ja muga-
vamalt just vabakäe-skitside abil. Endastmõistetavalt on käsitsi skitseerimise oskus tarvilik ka igale eesrindlikule töö-
lisele-stahhaanovlasele ja ratsionaliseerijale.



Joon. 52.

joonestatud kaldprojektsioonilist skitsi tema nn. magneto-elektrilisest masinast, millest aja jooksul arenes dünamomasin. Erilist tähelepanu väärib sel joonisel ringikujulise ketta kujutis oma korrektse elliptilise piirjoonega, kuigi selle ketta kujutis kujutava geomeetria seisukohalt pole päris õige.

Pole mitte juhus, et peaaegu kõigil suuritel leiduritel on olnud tugev käsitsi skitseerimise võime. Joonis 52 näitab kuulsa leiduri *Michael Faraday'* (1791—1867) käega

§ 17. Standardkiri. Joonise kirjanurga sisu.

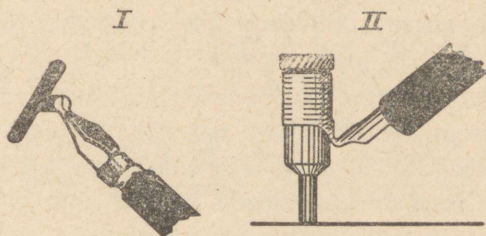
1. Ilusaimaks ehteks joonisele on tema juurde kuuluv kiri. Et vältida suurt mitmekesisust joonistel vajalike kirjutiste kirjatüüpides, on ametlikult poolt töötatud välja lihtne ja selge nn. **standardkiri** (OST 7535), mille kasutamine tehnilistel joonistel on tehtud nõutavaks.

Et kirja juures vajalik kiirus ja kindel käsi saavutatakse alles peale pikemaajalist harjutamist, on tarvilik standardkirja õppimisega ja harjutamisega alata juba geomeetrilise joonestamise, kui joonestamise algkursuse juures.

Standardkirja kirjutamise hõlbustamiseks on valmistatud ka vastavaid šabloone — tähtede-kujuliste aukudega tselluloidist või papist plaate. Nende abil kirjutades libistatakse sellekohast erilist sulge tähekujulise augu ääre järgi. Säärane mehaaniline kiri on vahest küll ühtlasem, igal juhul aga elutum kui vabal käel kirjutatud kiri; sest kuigi

käega kirjutades alistatakse kiri kõigile norminõudeile, ilmutab see ometi vähesel määral ka kirjutaja omapära ja mõjub seepärast soojemalt, elavamalt ja kunstipärasemalt kui šabloonkiri.

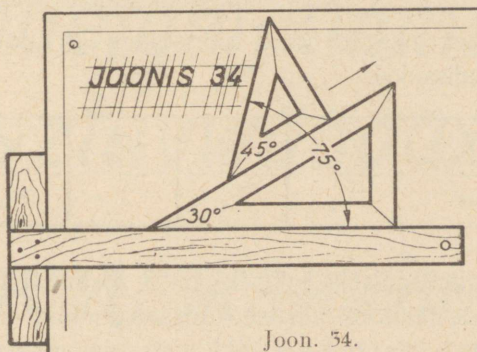
Standardkirja võib kirjutada kas suur- või väiketähtedega; harilikult pealkirjad kirjutatakse suurtähtedega. Kirjutamisvahen-



Joon. 33.

dina kasutatakse peamiselt redissulge (joon. 33, I), aga hea eduga võib kasutada ka mitmeid muid vahendeid, näiteks selleks eriti valmistatud torukesi, kas metallist või klaasist (joon. 33, II).

Standardkirja kohta kehtivad järgmised normid ja nõuded. Kirja kaldenurk olgu 75° . See nurk on hõlpsasti saavutatav kahe



Joon. 34.

joonestuskolmnurga teravnurkade 30° ja 45° liitmise teel (joon. 34; joonisel on näha ka kirja «püstkriipsude» tõmbamiseks sobivaim kolmnurkade ja nurkjoonlaua rakendus joonestuslaual).

Suurtähtede kõrgus (tähistame seda edaspidi tähega h) võib olla

$1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, 5, 7, 10, 14 või 20 mm.

Kirja suurtähtede kõrgust millimeetrites nimetatakse ka vastava kirja numbriks; nii tähendab standardkiri nr. 14 kirja, mille suurtähtede kõrgus on 14 mm.

Väiketähtede (näiteks *a*, *m*) kõrgus on $\frac{2}{3} h$. Tähed *f*, *g*, *j*, *p*, *q* ja *y* ulatuvad $\frac{1}{3} h$ võrra rea alusjoonest madalamale, tähed *b*, *d*, *h*, *k*, *l* ja *t* aga on suurtähtedega ühekõrgused; *f*-tähe kõrgus on $1\frac{1}{3} h$.

Ridade vahe (s. o. rea alusjoonest järgmise rea alusjoone) peab olema suurem kui $1\frac{1}{3} h$, sest väiksema reavahe puhul võivad eelmise rea «sabaga» väiketähed järgmise rea kõrgete tähtedega kokku joosta. Normaalseks ridade vaheks võib arvestada $1\frac{1}{2} h$.

Tähtede joonejämedus on normaalselt $\frac{1}{8} h$. Et standardkirja kõigi numbrite jaoks ei valmistata vastavaid, sobiva diameetriga redissulgi, siis võib tähe joonejämedus normaaljämedusest ka erineda; tuleb aga eelistada normaaljämedusest peenemat, mitte jämedamat joont. Redissulgi valmistatakse diameetriga

$\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ ja 3 mm.

Kirjad kõrgusega $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ ja $3\frac{1}{2}$ mm kirjutatakse peensulega.

Järgmine tabel juhatab kätte redissulega kirjutatavate kirjade jaoks sobivad redissuled.

Kirja number	5	7	10	14	20
Redissule jämedus	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2 või $2\frac{1}{2}$

Suurtähtede normaalseks laiuks on $\frac{2}{3} h$; ainult tähed *M* ja *W* on laiemad: nende laius on võrdne kõrgusega; tähe normaallaiusest kitsamad on tähed *I* ja *J*. Ka *L*-täht võib olla normaalsest kitsam, eriti kui talle järgneb täht *J*.

Tähtede *B*, *E*, *F*, *H*, *P* ja *R* rõhtkriipsud asetsevad normaalselt tähe keskkõrgusjoonel või pisut kõrgemal esimese nelja tähe juures, aga pisut madalamal *P* ja *R* juures, tähtede *A* ja *G* omad aga kolmandikkõrgusel (või *A* oma sellest pisut madalamal ja *G* oma pisut kõrgemal).

№ 10

A B C D E F G H I J K L

M N O P Q R S T U V

W O Ä Ö Ü X Y

Ex bibl. univ. Ia

VII {[(,;?~.:°+!")]}

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

a b c d e f g h i j k l m n o p q r

s t u v w o ä ö ü x y

№ 7

А Б В Г Д Е Ж З И К Л М Н О П

Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Э Ю Я

а б в г д е ж з и к л м н о п

р с т у ф х ц ч ш щ ъ ы э ю я

Tähe *K* ülemine kaldkriips lõpeb tähe kolmandikkõrgusel ja alumine kaldkriips joonestatakse niisuguse kaldega, et tema pikendus ülespoole suunduks läbi püstkriipsu ülemise otspunkti. Viimane tingimus kehtib ka tähe *R* kaldkriipsu kohta. Tähe *M* kaldkriipsud ühinevad tähe kolmandikkõrgusel.

Sõna üksikute tähtede vahele tuleb jätta ruumi nii palju, et pindalad tähegabariitide vahel oleksid enam-vähem võrdsed. Selle saavutamiseks veel mõned juhtnöörid: 1) järjestikuste tähtede püstriibade vahe jäetakse kõige suuremaks sel juhul, kui seda vahet mõlemalt poolt piiravad normaalkaldelised kriipsud (näit. *HE*); 2) vahe jäetakse väiksem, kui seda piirab ühelt poolt püstkriips ja teiselt poolt kas kaldkriips või kaar (näit. *AH, DE*); 3) vahe jäetakse kõige väiksem, kui ta kummaltki poolt on piiratud kas kaarega või kaldkriipsuga (näit. *DO, AA*). Kombinatsioonide *AT, TA, VA, LT* ja *LV* juures võib see vahe olla ka null või koguni negatiivne, s. t. näit. *A* võib ulatuda *T* rõhtkriipsu alla.

Sõnade vaheks sobib kõige paremini ühe normaaltähe laius.

Araabia numbrid ei vaja erilisi selgitusi. Rooma numbrid kombineeruvad tähtedest *I, V, X, L, C* ja *M*.

Enne kirjutamisele asumist tõmmatakse ridu märkivad sirged ja nende vahele tähtede $\frac{1}{3}$ -, $\frac{1}{2}$ - ja $\frac{2}{3}$ -kõrguse jooned ning hulk õige kaldega «püstjooni». Peale selle toimub teksti sõnade ja tähtede paigutamine ridadesse esialgu pliiatsiga. Alles peale nägusa ja ühtlase paigutuse saavutamist kirjutatakse kiri välja tušiga.

Siin antud üksikasjaline kirjeldus ladina tähestiku kohta on kergeti ülekantav ka vene tähestikule.

Standardkirja õppides tuleb püüda piinliku hoolega jäljendada eeskuju-tähtede vormi, et kord kindlasti kätteõpitud kiri ei sisaldaks normidest kõrvalekalduvaid omapäratsemise elemente, vaid oleks tõesti ühtne ja üldkasutatav kiri — *s t a n d a r d k i r i*.

2. Ametlikel tehnilistel joonistel paigutatakse joonise kohta käivad olulised andmed nn. **kirjanurka**, milleks nimetatakse joonise formaadile sobiva suurusega ja kokkulepitud jaotusega riskülikut, paigutatud joonise parempoolsesse alumisse nurka. Kirjanurk peab sisaldama lahtreid vähemalt järgmiste andmete jaoks.

- 1) Mõõtkava.
 - 2) Joonisel kujutatud eseme nimetus, arv ja materjal.
 - 3) Joonise valmistada lasknud asutise nimetus.
 - 4) Joonise valmistanud isiku nimi ja joonise valmimise kuupäev.
 - 5) Joonist kontrollinud isiku nimi ja kontrollimise kuupäev.
 - 6) Joonise number (kirjanurga alumises parempoolses nurgas).
- Joonistel ühest ja samast seeriast olgu kirjanurga kujundus kõigil täpselt ühesugune, koostatud vastavalt seeria üldiseloomule.

§ 18. Mõõtkava. Mõõtjoonlaud ja mall. Eseme mõõdete märkimine joonisele.

1. Kui joonisel pole võimalik või pole otstarbekohane kujutada eset tema loomulikus suuruses, siis kujutatakse teda sõltuvalt eseme tegelikest mõõdetest kas vähendatult või suurendatult.

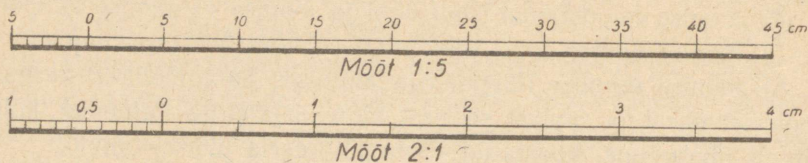
Mõõtkava (ehk mastaap) tähendab joonisel kasutatud suurenduse või vähenduse määratlust.

Arvmõõt (ehk mõõdusuhe) on mõõtkava numbriline avaldamisvorm; see on kahe arvu suhe, milledest esimene tähendab mingit lõigupikkust joonisel ja teine sellele vastavat tõelist lõigupikkust esemel, kusjuures on eeldatud, et pikkus pole moondunud sõltuvalt kujutamisviisist (s. t. kasutatud projektsiooni liigist ja kujutatava eseme asendist joonisepinna suhtes). Näiteks arvmõõt 3:100 tähendab seda, et tõelisuses esinevat meetrilist pikkust (100 sm) kujutatakse joonisel pikkusega 3 sm; sel juhtumil joonis kujutab eset $33\frac{1}{3}$ korda vähendatult.

Lihtsuse mõttes valitakse suurenduse või vähenduse kordsust näitav arv võimalikult täisarv ja avaldatakse arvmõõt nii, et tema kirjutis sisaldab seda kordsusarvu; sel korral arvmõõdu kirjutis vähenduse puhul algab ja suurenduse puhul lõpeb arvuga 1. Näiteks arvmõõdust 1:50 nähtub, et tegemist on 50-kordse vähendusega, aga arvmõõdust 10:1 selgub, et tegemist on 10-kordse suurendusega.

Joonmõõt on mõõtkava geomeetiline avaldamisvorm; see tähendab joonisel kujutatud skaalat, millel pikkusühikud on tõeliste võrreldes niimitu korda lühemad või pikemad, kuimitme-

kordse vähendusega või suurendusega on tegemist. Joonisel 35 on esitatud arvmõõtudele 1:5 ja 2:1 vastavad joonmõõdud. (Vaata ka § 25, art. 2.)



Joon. 35.

Tehnilise sisuga ametlikel joonistel on lubatud kasutada ainult järgmisi mõõtkavasid (OST 7533).

Suurendused: 2 : 1 — 5 : 1 — 10 : 1

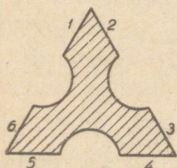
M 1 : 1 ← Loomulik suurus

Vähendused: $\left\{ \begin{array}{llll} 1 : 2 & (1 : 2,5) & 1 : 5 & 1 : 10 \\ 1 : 20 & (1 : 25) & 1 : 50 & (1 : 75) & 1 : 100 \\ 1 : 200 & (1 : 250) & 1 : 500 & & 1 : 1000 \end{array} \right.$

Sulgudesse paigutatud arvmõõtudele vastavaid vähendusi pole soovitatav kasutada.

Sõnad «mõõtkava», «arvmõõt» ja «joonmõõt» lühendatakse keeles tavaliselt sõnaks «mõõt»; nende ühiseks sümboliks on aga M (ilma punktita).

2. **Mõõtjoonlaud**, mida saaks edukalt kasutada erilist täpsust nõudvate jooniste valmistamisel, peab olema 1) vähemalt 25 sm pikk, 2) varustatud täpse millimeeter-skaalaga ja 3) niisuguse ehitusega, et tema jaotuskriipsud jooksevad vastu joonise pinda, kui joonlaud lamab joonisel; seejuures skaala peab olema joonestajale ka hästi nähtav.



Joon. 36.

Kolmandat nõuet rahuldavad hästi joonlauad, mille otsvaateid näitab joonis 36. Esimene tüüp võimaldab joonlauale paigutada 2 skaalat, teine aga tervelt 6 skaalat. Kui üks neist kuuest on millimeeter-skaala, siis ülejäänud viis võivad

olla mitmesugustele erinevatele mõõtkavadele vastavad joonmööddud.

Normaalpikkusega (27 sm) arvutuslükati kasutamine joonestamisel pole kuigi mugav tema mõõt skaala liiga suure kallakuse tõttu ja käepideme puudumise tõttu.

Spetsiaalset mõõtjoonlauda võib hästi asendada mõõt skaalaga varustatud tselluloid-kolmnurk (või -joonlaud), kui selle skaala on paigutatud nii, et see mõõtmisel jääb vastu joonise pinda; joonestaja jälgib sel korral skaalat läbi kolmnurga tselluloidkeha. Tselluloid-kolmnurga skaala täpsust on vaja kontrollida, võrreldes teda mõne usutava skaalaga, näiteks arvutuslükati skaalaga.

Mall (ehk transportiir) võimaldab kanda joonisele etteantud suurusega nurki ja mõõta või kontrollida joonisel leiduvaid nurki. Parimaks malli materjaliks on tselluloid. Skaala olgu paigutatud tselluloidmalli «alumisele» küljele, samuti nagu skaalad tselluloid-kolmnurkadelgi.

Nurki, mida on võimalik joonestada joonestuskolmnurkade või lihtsate geomeetriliste konstruktsioonide abil (15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 105° , 120°), ei joonestata kunagi malli abil.

Geomeetrilise joonestamise ja kujutava geomeetria kursuses saab vaevalt tekkida tarvidus malli järele.

3. Eseme mõõdete märkimine tehnilistele joonistele toimugu järgmiste juhiste järgi.

Möödded joonisel peavad näitama kujutatud eseme tegelikke mõõtteid, mitte aga joonisel esineva eseme kujutise mõõtteid. Kõik mõõdded peavad olema mõõtühiku mõttes samanimelised. Joonisel ei märgita mõõtarvude juurde mõõtühikut, kuna mõõtkava niikuinii näitab, millise ühikuga on mõõtmised toimetatud. Kui mõõtkava puudub, siis mõõdded peavad olema antud millimeetrites.

Mõõtarvused ei tohi kirjutada joonisel esinevate kontuurjoonte peale ega juurde, vaid nn. **mõõtjoontele**; viimased olgu paigutatud võimalikult joonise vabale pinnale ja sobivasse kaugustesse kontuurjoontest; nad lõppegu oma mõlemas otsas kitsa noolega. Mõõtjoon tõmmatakse niisuguse sihiga, milles eseme vastav mõõtmine peab toimuma; ta lõpeb kas kujutise kontuurjoontel või nn.

distsantsjoontel, mis tõmmatakse läbi nende punktide, millede vahelist kaugust mõõdetakse, risti vastava kauguslõiguga (ehk mõõtmisihiga). Kontuurjoonte või distantsjoonte (kui paralleelide) vaheline konstantne kaugus kujutabki graafiliselt eseme vastavat mõõdet. Distsantsjooned ulatugu mõõtjoone nooleotstest mööda 1 kuni 2 mm.

Mõõtarvud kirjutatakse mõõtjoonte peale või kohale, võimalikult nende joonte keskkoha, reasihiga piki mõõtjoont ja järgmiste kirjutamissuundadega: püstsihis — alt üles, rõhtsihis — vasakult paremale, kaldsihis — alt vasakult üles paremale või ülalt vasakult alla paremale. Mõõtjoone peale kirjutamisel katkestatakse joon keskelt nii, et arvu kirjutamiseks jääb parasjagu ruumi. Viirutuse peale paigutatava mõõtarvu jaoks tuleb viirutise sisse jätta paraja suurusega valge kandiline väli.

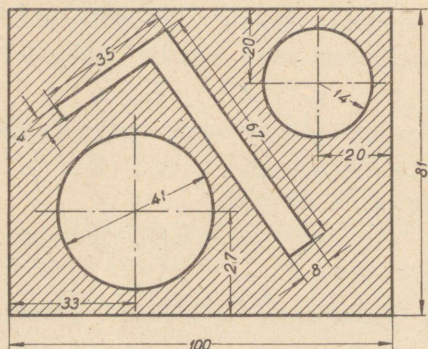
Kui mõõtarv koos mõõtjoonega ei mahu lahedasti distantsjoonte vahele, siis joonestatakse mõõtjoon kahe noole näol distantsjoontest väljapoole. Kui distantsjoonte vahel pole ruumi isegi mitte mõõtarvu jaoks, siis kirjutatakse mõõtarv kuhugi

ligilähedusse ja ühendatakse ta sirge «viitejoone» abil oma õige asukohaga.

Ringi iga raadiust, mis ei ühti telgjoonega, võib kasutada ühtlasi raadiuse mõõtjoonena; seejuures noolt ringi keskpunkti juurde ei joonestata. Kasutades mõõtjooneks ringi diameetrit, ei saa mõõtarvu paigutada mõõtjoone keskkoha (ringi keskpunkti), vaid sellest ühele või teisele poole.

Joonisel 37 kujutatud aukudega plaadi mõõted on kantud joonisele kõigi nende reeglite kohaselt; joonis on valmistatud mõõdus 1 : 2.

Joonisel 37 kujutatud aukudega plaadi mõõted on kantud joonisele kõigi nende reeglite kohaselt; joonis on valmistatud mõõdus 1 : 2.



Joon. 37.

Märkused.

1) Tähed, mida joonisel kasutatakse kujutise elementide märkimiseks, kirjutatakse joonisele oma loomulikus asendis.

2) Eespool toodud nõudeid ei kohaldata õpperaamatute joonistele (välja arvatud tehnilist joonestamist käsitlevad õpikud). Ka käesolevas õpikus pole mõõtarmude või -sümbolite märkimist teostatud vastavalt neile juhiseile neis kohtades, kus sellega osutus võimalikuks joonise ülevaatlikkust tõsta.

§ 19. Joonestustöö täpsuse küsimusi. Nõuandeid joonestajale.

1. Joonestustöö ei saa kunagi olla absoluutselt täpne, sest juba joonestusvahendid ise pole seda ja ka inimese silma eristusvõime on piiratud; samuti ka käe ebakindlus joonimisel põhjustab paratamatuid vigu. Väga korrektseid riistu kasutades ja äärmise hoolikusega töötades saab suruda joonestusvead küll teatud piirini alla, aga päriselt kaotada neid ei saa; õigupoolest pole see vajalikki, sest joonisel kujutatavad konkreetseid esemed (masinaosad, hooned jne.) ise pole tavaliselt mõõdete poolest absoluutselt täpsed.

Suhteliselt on joonis alati seda ebatäpsem, mida väiksem ta on. Järelikult — paratamatute joonestusvigade mõju vähendamiseks on vaid vaja üle minna mõõtkavale, mis võimaldab teha suurema joonise.

Paratamatud suhtelised joonestusvead¹ peaksid igal juhul jääma keskmiselt väiksemaks kui 1%; joonestamise üksiksammude juures on täpsus sellest tavaliselt suurem, aga mitme sammu astumise järel võib tulemuse viga juba küündida sellest piirist üle — joonestusvigade kuhjumise võimaluse tõttu.

Paratamatute joonestusvigade olemasolus ja mõjus veendumiseks olgu soovitatud teostada järgmine katse. Määrame mingi tādusa kõvera, näit. ellipsi punkte mingi konstruktsiooniga — väga tihedasti, keskmiselt igale millimeetrile ühe punkti, suurima võimaliku täpsusega. Siis vaadates piki saadud punktirida ei näe me

¹ Näiteks lõigupikkuse suhtelise vea all tuleb mõista õigest pikkusest erinevuse ja õige pikkuse suhet, väljendatud %-des. Kui joonisele kantakse näiteks vajaliku 10 sm pikkuse lõigu asemel lõik pikkusega 10,1 sm, siis suhteline viga on $0,1 : 10 = 0,01 = 1\%$.

oodatud kõverat, vaid korrapäratult hüplevat siksakki. On ilmne, et punktide rivikorra on rikkunud nimelt joonestusvead. Joonestaja kohuseks on siin nüüd rivikord jälle sisse seada; ta teeb seda tõmmates punktireast läbi l a d u s a joone, mitte hoolides sellest, et see joon läheb mõnedest konstruktiivselt leitud punktidest pisut mööda.

Järeldusena sellest katsest tuleb joonestustehnilises mõttes lugeda vääraks tavaline arvamus, et kõverat saab joonestada välja seda täpsemalt, mida rohkem on leitud tema punkte; see arvamus, nagu nägime, on õige ainult teatud piirini. Tuntud kujuga kõverate (näiteks koonuslõigete) puhul oleks õigem jääda koguni vastupidise põhimõtte alusele: mida väiksema arvu punktidega osutub võimalikuks kõverat joonimiseks küllaldaselt iseloomustada, seda parem. Näiteks ellipsi veerandi joonestamiseks piisab juba ainult kahest sobivalt valitud punktist haripunktidele lisaks. Täiesti tundmata kujuga kõverate puhul on muidugi tarvilik leida punkte tihedamalt.

2. Paratamatute joonestusvigade vähendamiseks on vaja silmas pidada järgmisi asjaolusid ja nõuandeid.

1) Iga uus leitud punkt tuleb otsekohe joonisel fikseerida teraviku torkega (paberist mitte läbi torgates).

2) Mingit lõigupikkust korduvalt joonisel kasutades tuleb ta sirklisse võtta kogu aeg ühelt ja samalt kohalt, nimelt lähtelõigult, mitte aga vahepeal joonisele kantud lõikudelt, milledest igaüks on juba seotud oma joonestusveaga. Otstarbekohane on niisugust lõigupikkust säilitada kruvisirkliis ja viimasega teostada ka kõik vajalikud pealekanded joonisele.

3) Kaks punkti määravad joonestustehnilises mõttes sirgjoone seda kindlamini, mida suurem on nendevaheline kaugus. Seejärel tuleb võimalikult vältida suhteliselt väga lähedaste punktide kasutamist oluliste sirgete määramiseks.

4) Joonise kõige olulisemad, andmeist tuletatavad punktid leitakse võimalikult kahe erineva, seega ühtlasi teineteist kontrolliva konstruktsiooni kaudu.

5) Tuleb igati püüda vältida nn. «halb» lõikumisi, s. t. lõikumisi väga väikese nurga all. Joonte lõikumine on nimelt seda

«parem» (s. t. täpsem), mida vähem erineb lõikuvate joonte vahe-
line nurk täisnurgast; lõikumine nurgi 90° on joonestustehnilises
mõttes «parim» lõikumine. Halva lõikumise kaudu saadud punkti
asukohta ei või kunagi usaldada, kuna vähimigi ebatäpsus lõiku-
vate joonte juures muudab seda asukohta tunduvalt. Kui kahest
sisuliselt samale tulemusele viivast konstruktsioonist üks sisaldab
halvemaid lõikumisi kui teine, siis muidugi tuleb rohkem usaldada
seda teist.

3. Joonestustehniliste küsimuste lõpetuseks olgu veel soovitatud
joonestamisel alati silmas pidada järgmisi asjalikke nõuandeid.

- 1) Muretseda või valmistada ise endale kõik joonestustööd täpsusta-
vad, hõlbustavad ja kiirendavad abinõud.
- 2) Mitte töötada korrastamata joonestusvahenditega, vaid seada nad
otsekohe parimasse töökorra.
- 3) Teritada nimelt ise oma joonsuled.
- 4) Püüda joonestada peamiselt päeval, loomuliku valgustuse juures.
Õösel töötades meeles pidada, et joonestustöö jaoks küllaldase
kunstliku valgustuse annavad pirnid võimsusega 75 kuni 100 W
laualambis.
- 5) Harjuda töötama alati ülima täpsusega; töötamisel kontrollida igat
tehtud sammu ja kaaluda igat järgmist sammu. Joonestades aeg-
laselt, kuid algusest peale õigesti, jõutakse töö õnnelikult lõpe-
tada harilikult kiiremini kui töötades suure kiirusega. Ei tohi
unustada, et mõni ruttamisest tingitud tühine viga võib nõuda
mõnikord kogu töö ümbertegemist.
- 6) Töö lõpetamisel mitte unustada metallriistu enne kõrvalepanemist
hoolikalt puhastamast.
- 7) Mitterahuldavate töötulemuste puhul otsida põhjusi kõigepealt
just oma tööviisides. Igatahes pole sel puhul süüdistada
ainult oma joonestusvahendeid.

Teine osa.

GEOMEETRILINE JOONESTAMINE.

Geomeetriline joonestamine tähendab tasapinnaliste geomeetriliste kujundite võimalikult täpset esitamist joonestusvahendite abil mingil kujutamispinnal, tavaliselt paberil. Geomeetrilise joonestamise õppimise eesmärk on kahesugune: 1) mitmesuguste rakenduslikult tähtsate tasapinnaliste geomeetriliste kujundite tundmaõppimine nende definitsioonide ja omaduste kaudu; 2) joonestusoskuse ja -tehnika arendamine tasemeni, mis võiks hiljem olla aluseks kujutava geomeetria kursuses esinevate probleemide praktilisel läbitöötamisel, ning ka mitmesuguste erialaliste joonestamiste (näit. tehnilise joonestamise, plaanistamise ja kaardistamise) õppimisel.

I. Mitmesuguseid konstruktsioone.

§ 20. Geomeetrilised põhikonstruktsioonid.

Geomeetriline konstruktsioonülesanne tähendab niisugust ülesannet, mille lahendamine sisaldab ainult joonestamist, kusjuures joonimist juhtivate vahenditena tohib kasutada ainult sirklit ja joonlauda. Kui neile tingimustele alistatud lahendusviis annab ülesande lahendi mõtteliselt absoluutselt täpselt, siis on tegemist täppiskonstruktsiooniga; annab ta aga lahendi mõtteliselt mingi veaga, siis on tegemist lähenduskonstruktsiooniga. Joonestustehnilises mõttes ei tule täppiskonstruktsioone hinnata lähenduskonstruktsioonidest paremaks, kui aga viimaste

puhul suhteline viga on väiksem paratamatuist joonestusvigadest. Mõningaid lähenduskonstruktsioone õpime tundma §-s 27 ja 33.

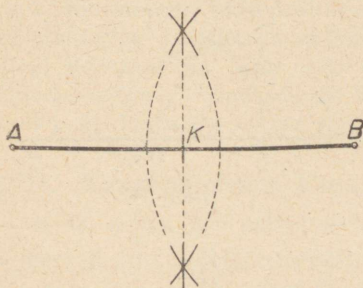
Joonestamisel kasutatakse ainult neid täppiskonstruktsioone, mis annavad ülesande lahendi kätte kiiremini kui muud lahendamisviisid (rööplüke, proovimine). See aga ei tähenda seda, et joonestaja ei tarvitse muid konstruktsioone üldse tunda; mõnel juhtumil võib neid ikkagi vaja tulla.

Edaspidi mõistame sõna «konstruktsioon» all harilikult ikka-geomeetrilist täppiskonstruktsiooni.

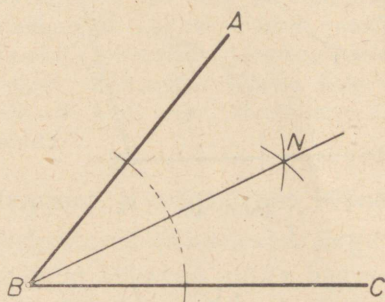
Järgnevad konstruktsioonülesanded esitame siin küll sõnastatult ja jooniseina lahendatult, kuid ilma täielike selgitusteta, eeldades, et need on lugejale juba hästi tuttavad kooligeomeetria planimeetria kursusest.

Ülesanne 1. Lõigu poolitamine. Määrata antud lõigu AB keskpunkt K .

(Lahendus joonisel 38.)



Joon. 38.



Joon. 39.

See äärmiselt lihtne konstruktsioon on õieti väga viljakas: peale lõigu keskpunkti määrab see ka lõigu keskristsirge. Pealegi keskristsirge saamiseks pole sugugi oluline, et antud lõik ise oleks üleni välja joonestatud; piisab ainult tema otspunktidest.

Ülesanne 2. Nurga poolitamine. Leida antud nurga ABC puhul punkt N nii, et sirge BN oleks selle nurga poolitaja.

(Lahendus joonisel 39.)

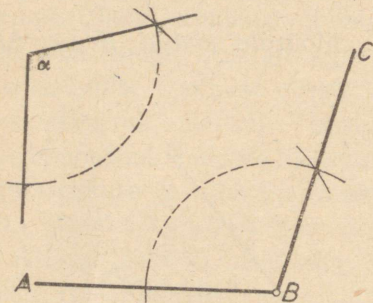
Ülesanne 3. Nurga ülekanndmine. Joonestada antud nurga α suurune nurk ABC antud tipuga B ja haaraga AB .

Selle ülesande lahendus (joon. 40) põhjendub tuntud tõsiasiaga, et sama raadiusega ringides võrdseile kesknurkadele vastavad võrdsed kaared ja ühtlasi ka võrdsed kõõlud.

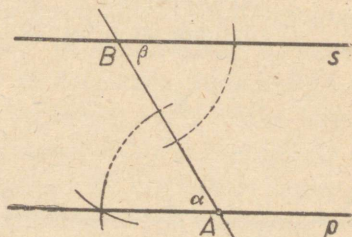
Ülesanne 4. Paralleelsirge tõmbamine. Tõmmata antud sirgega s paralleelne sirge p läbi antud punkti A .

(Lahendus joonisel 41.)

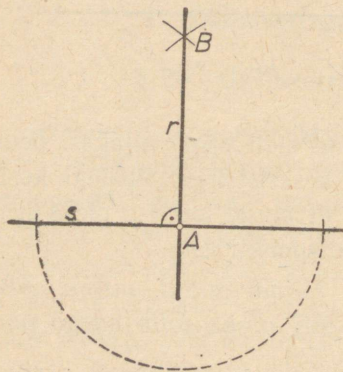
Siin leiab kasutamist nurga ülekanndmise konstruktsioon ja üks tuntud küllaldane tingimus sirgete paralleelsuseks: sirged on paralleelsed, kui neid mingi sirgega (joonisel sirgega AB) lõigates tekiavad võrdsed põiknurgad (joonisel on võetud $\alpha = \beta$)



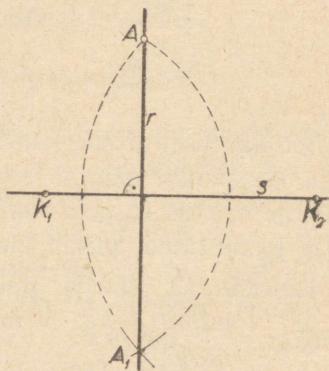
Joon. 40.



Joon. 41.



Joon. 42.



Joon. 43.

Ulesanne 5. Ristsirge tõmbamine. Tõmmata antud sirgele s ristsirge r läbi antud punkti A , mis

(I) asetseb antud sirgel s (lahendus joonisel 42);

(II) asetseb väljaspool antud sirget s (lahendus joonisel 43).

Juhtumid I ja II on lahenduse poolest erinevad. Esimesel juhtumil märgime esmalt antud sirgel lõigu, mille keskpunktiks on antud punkt A , ja määrame siis selle lõigu keskristsirge ühe punkti B ; otsitav ristsirge $r = AB$.

Teisel juhtumil leiame sirge s kui telje suhtes punkti A sümmeetrilise paariku (A_1); ristsirge $r = AA_1$. Seejuures tarvitavate kaarte keskpunktid K_1 ja K_2 võib võtta vabalt sirgel s (joon. 43).

Harjutusülesanded.

1) Teatavasti kolmnurga siseringi keskpunktiks on nurgapoolitajate lõikepunkt ja välisringi keskpunktiks on külgede keskristsirgete lõikepunkt. Joonestada nürinurkne kolmnurk ühes oma sise- ja välisringiga.

2) Kolmnurga küljepoolitajad (mediaanid) lõikuvad ühes punktis; see punkt on kolmnurga raskuskeskmeks. Joonestada joonestuspaberile mingi kolmnurk ja leida selle raskuskeske. Kontrolliks lõigata kolmnurk paberist välja ja riputada raskuskeskmest niidi otsa: kolmnurga tasapind peab rippudes võtma rõhtsa asendi.

§ 21. Konstruktsioone lõigu jaotamisest ja võrdelistest lõikudest.

Kõik selles §-s esitatud konstruktsioonid põhjenevad järgmisel teoreemil (nn. kiirteteoreem): paralleelid lõikavad nurga haaradest ära lõigud, mis on võrdelised nende lõikudega, mis nurga haarad lõikavad välja paralleelidest. Näiteks jooniselt 45 võime selle põhjal kirjutada:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{CG}{BH} = \frac{AG}{AH}.$$

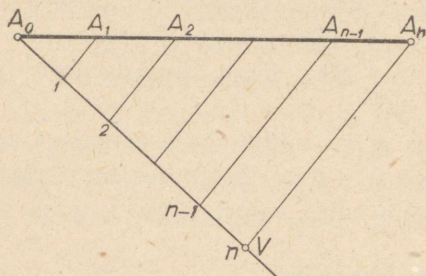
Ulesanne 6. Lõigu jaotamine võrdseteks osadeks. Antud lõik

$A_0 A_n$ jaotada n võrdseks osaks.

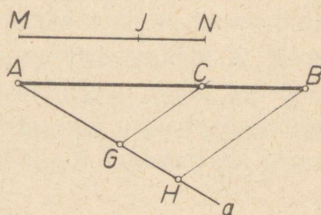
Punktist A_0 vabalt tõmmatud kiirele kanname vaba pikkusega lõigu n korda järjest, alates punktist A_0 , ja ühendame niiviisi saadud viimase punkti V punktiga A_n (joon. 44; $n = 5$); läbi punktide 1, 2, 3 jne. sirge VA_n paralleele tõmmates leiamegi sirgel $A_0 A_n$ kõik otsitavad jaotuspunktid A_1, A_2, \dots, A_{n-1} .

Seda konstruktsiooni rakendades on paratamatud joonestusvead seda väiksemad, mida vähem erineb lõigu AV pikkus antud lõigu pikkusest.

Kui $n=2$, siis on muidugi otstarbekohasem rakendada lõigu poolitamise konstruktsiooni (§ 20, ülesanne 1). Kui n väärtuseks



Joon. 44.



Joon. 45.

on arvu 2 mingi täisaste (näit. 4, 8, 16 jne.), siis on võimalik lõigu jaotamist teostada ka rakendades korduvalt lõigu poolitamise konstruktsiooni. Samadel n väärtustel on teostatav ka nurga võrdseteks osadeks jaotamine, rakendades korduvalt nurga poolitamise konstruktsiooni (§ 20, ülesanne 2).

Ülesanne 7. Lõigu jaotamine antud suhtes. Antud on lõik MN jaotuspunktiga J ja lõik AB ; leida lõigul AB punkt C nii, et $AC : AB = MJ : MN$.

Lõigu AB otspunktist A tõmbame vaba sihiga kiire a ja kanname sellele lõigud $AG = MJ$ ja $AH = MN$ (joon. 45). Siis sirge HB paralleel läbi punkti G lõikab sirget AB otsitavas punktis C .

Kui lõigu jaotussuhe on ette antud numbriliselt, siis toimub jaotuspunkti leidmine ülesande nr. 6 kohaselt. Näiteks kui nõutakse lõigul AB leida punkt C nii, et $AC : CB = \frac{3}{4}$, siis tuleb lõik AB jaotada seitsmeks võrdseks osaks ja märkida kolmanda jaotise lõupunkt otsitavaks punktiks C .

Ülesande nr. 7 konstruktiivne lahendus (joon. 45) on joonestustehniliselt kõige täpsem, kui kolmnurk ABH on täisnurkne; täisnurk peaks olema tipu H juures, kui $MN < AB$, ja tipu B juures, kui $MN > AB$. Sel korral saadakse jaotuspunkt kätte „parimate“ lõikumiste kaudu. Seda tuleks arvesse võtta kiire a sihi valikul; muidugi pole tähtis otsida see-

juures sihti, mille puhul kolmnurk ABH on täpselt täisnurkne; piisab sellest, kui ta on täisnurkse kolmnurga lähedane.

Ülesanne 8. Neljanda võrdelise leidmine. Antud kolme lõigu a , b ja c järgi konstrueerida neljas lõik x nii, et $a : b = x : c$.

Konstruksioon on teostatav samal viisil, nagu eelmise ülesande lahendamisel (joon. 45); seal tuleks vaid võtta $AG = a$, $AH = b$ ja $AB = c$; siis $x = AC$.

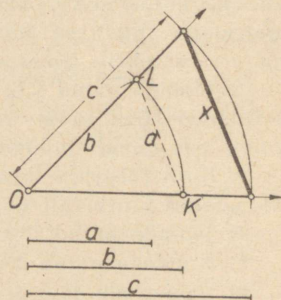
Joonestustehnilistel kaalutlustel tuleb aga siin eelistada järgmist konstruksiooni, kuigi see pole igasugustel andmetel teostatav.

Joonestame ringjoone kaare raadiusega b ja märgime sellele kõõlu $KL = a$ (joon. 46); tõmbame keskpunktist O kiired läbi punktide K ja L ; siis kaar raadiusega c ümber O lõikab kiiri otsitava lõigu x otspunktides. On näha, et konstruksioon on teostatav ainult siis, kui $a < 2b$.

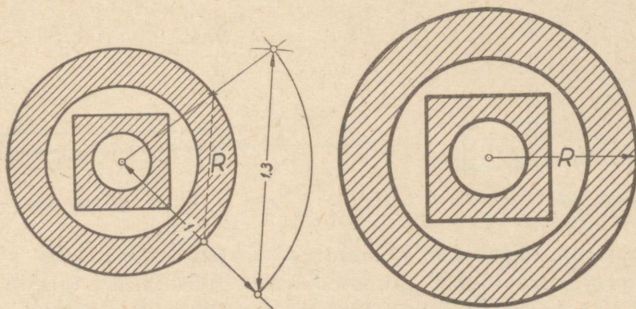
See konstruksioon võimaldab mugavasti teostada antud kujundi suurendamist (kuni 2 korda) või vähendamist (kui tahes palju kordi), kui kujundi mõõted numbriliselt pole teada ja neid ei tahetagi leida. Olgu näiteks vaja joonestada joonisel 47 vasakul esinev kujund 1,5 korda suurendatult; sel korral suurenduse mistahes lõigu pikkuse x ja originaali vastava lõigu pikkuse p suhe peab olema 1,5; seega saame võrde

$$1,5 : 1 = x : p,$$

mille vasak pool tähendab uue joonise arvmõõtu antud joonise suhtes. Valmistanud joonise 46 eeskujul abijoonise, saab selle najal hõlpsasti



Joon. 46.



Joon. 47.

leida kõik vajalikud pikkused suurenduse joonestamiseks. Võtte eriline väärtus seisab selles, et mõõdete teisendamine toimub üheainsa joonestusriista, nimelt mõõtesirkli abil. Joonisel 47 on paigutatud abijoonis otsekohe originaali peale — puhtpraktilistel kaalutlustel.

Harjutusülesanded.

1) Lõigu jaotamist kolmeks võrdseks osaks võib teostada ka tõsiasi põhjal, et rööpküliku tipust tõmmatud küljepoolitaja eraldab diagonaalist ühe kolmandiku. Kuidas on kõige sobivam teostada vastavat konstruktsiooni? Kas see konstruktsioon sisuliselt erineb konstruktsioonist, mis esines tekstis ülesande nr. 6 lahendusena?

2) Jaotada antud lõik konstruktiivselt 4-ks võrdseks osaks 1) korduva poolitamise teel ja 2) üldist lõigujaotamise konstruktsiooni kasutades. Kumb viis annab tulemuse kiiremalt?

3) Konstrueerida täisnurk ja tuletada sellest nurk suurusega $11^{\circ}15'$, rakendades korduvalt nurga poolitamise konstruktsiooni.

4) Jaotada antud lõik osadeks, mis suhtuvad nagu 2 : 3.

5) Eraldada antud lõigust tema osa osamääraga $\frac{4}{7}$.

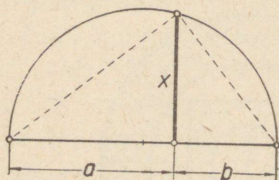
6) Joonestada joonisel 47 paremal esinev kujund 1,4 korda vähendatult.

7) Valmistada käesoleva õpiku joonise 58 suurendus mõõtkavaga 3 : 2.

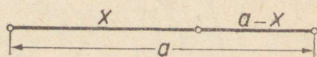
8) Valmistada joonise 59 vähendus mõõtkavaga 7 : 8.

§ 22. Keskmise võrdelise leidmine. Kuldlõige.

Ülesanne 9. Antud lõikude a ja b järgi konstrueerida nende keskmine võrdeline (s. t. leida kolmas lõik x nii, et $a : x = x : b$ ehk $x^2 = ab$ ehk $x = \sqrt{ab}$).



Joon. 48.



Joon. 49.

Teatavasti on täisnurkse kolmnurga kõrgus keskmiseks võrdeliseks kaatetite projektsioonidele (hüpotenuusil). Järelikult tuleks ülesande lahendamiseks konstrueerida täisnurkne kolmnurk andmeil: kaatetite projektsioonid a ja b (joon. 48); lahendiks x osutub siis selle täisnurkse

kolmnurga kõrgus. Sobiva täisnurkse kolmnurga saamiseks rakendatakse Thalese teoreemi (§ 25, teoreem 4). Kolmnurga kaateteid (joonisel kriipsjoonega) ei tarvitse joonestada.

Keskmise võrdelise konstruktsiooni rakendatakse nn. graafilisel ruutjuurimisel: juuritav esitatakse kahe (võimalikult lihtsa) teguri korrutisena ja leitakse juur kui tegurite keskmine võrdeline; numbrilised andmed asendatakse seejuures vastavate lõigupikkustega, kasutades mistahes ühist mõõtühikut.

Ülesanne 10. Jaotada antud lõik kuldloikes (s. t. jaotada lõik kaheks osaks nii, et pikem osa oleks lühema osa ja terve lõigu keskmiseks võrdeliseks).

Tähistanud antud lõigu a pikema kuldloikelise osa tähega x , võime kirjutada (joon. 49):

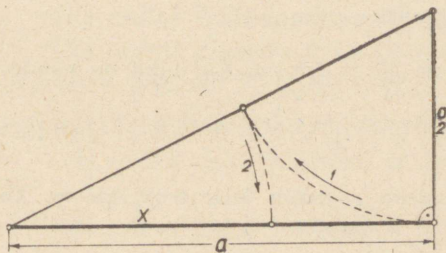
$$x^2 = a(a - x)$$

$$\text{ehk } x^2 + ax - a^2 = 0,$$

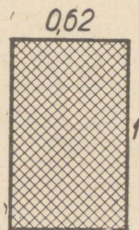
$$\text{kust } x = -\frac{a}{2} + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + a^2}$$

$$\text{ehk } x = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \frac{a}{2}.$$

Saadud avaldisest loeme välja konstruktsiooni lõigu x jaoks. Ruutjuur selles tähendab hüpotenuusi kolmnurgas, mille kaatetiteks on a ja $\frac{a}{2}$; lahutanud sellest hüpotenuusist kaateti $\frac{a}{2}$, jääb üle otsitav lõik x . Konstruktsiooni teostust näitab joonis 50.



Joon. 50.

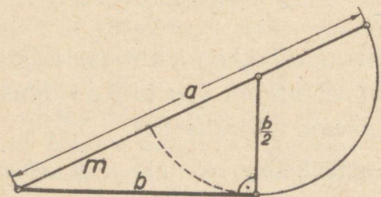


Joon. 51.

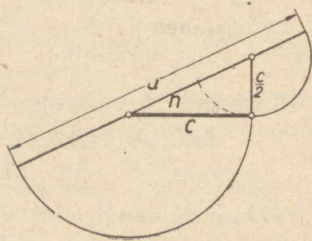
Omaval ajal peeti nägusaimaks säärase kujuga ristkülikut, mille pikuseks ja laiuks on lõigu kuldloikelised osad (joon. 51). Säärane kuju püüti anda näiteks maja akendele, raamatutele ja paljudele muu-

dele ristküliku-kujulistele esemetele. Praegugi veel loetakse raamatu-
lehe trükivälja ideaalseks kujuks kuldlõikelist ristkülikut.

Kuldlõikelise ristküliku laiuse ja pikkuse suhe on $\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)$ ehk
ümmarguselt 0,618. Praktiliseks tarvitamiseks on küllaldane pidada
meeles, et kuldlõikelise ristküliku laius moodustab 62% pikkusest.



Joon. 52.



Joon. 53.

Algebraliselt on kerge tõestada, et kuldlõikes jaotatud lõigu pikemat
osa uuesti kuldlõikes jaotades saadakse uueks pikemaks osaks endine
lühem osa. See asjaolu võimaldab konstrueerida lõiku tema antud ühe
kuldlõikelise osa järgi. Joonisel 52 tuletatakse lõik a tema antud pikema
kuldlõikelise osa b järgi: $a = b + m$, kus m on lõigu b pikem kuldlõike-
line osa. Joonisel 53 tuletatakse lõik a tema antud lühema kuldlõikelise
osa c järgi: $a = c + (n + c)$, kus n on lõigu c pikem kuldlõikeline osa

Kuldlõiget rakendame hiljem korrapärase viisnurga ja kümnenurga
konstrueerimisel.

Harjutusülesanded.

- 1) Kahe lõigu pikkused on 2,7 ja 5,3 sm. Kui pikk on nende lõikude
keskmine võrdeline?
- 2) Leida graafiliselt $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, $\sqrt{6}$, $\sqrt{7}$, $\sqrt{8}$ ja $\sqrt{10}$ lähis-
väärtused.
- 3) Kontrollida, kas käesoleva raamatu lehe trükivälja on kuldlõike-
line ristkülik.

§ 23. Kolmnurga konstruksioone.

Kolmnurk on teatavasti määratud üldiselt oma kolme sobivalt
valitud elemendiga, täisnurkne kolmnurk ja võrdhaarne kolmnurk
aga juba oma kahe sobivalt valitud elemendiga.

Ulesanne 11. Konstrueerida täisnurkne kolmnurk

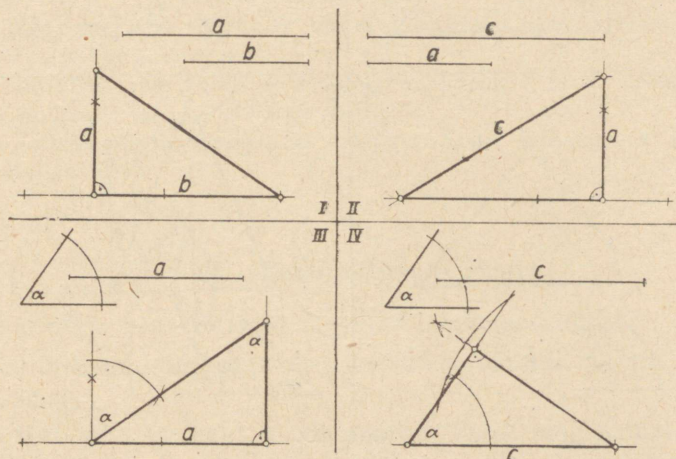
(I) antud kaatetitega a ja b ;

(II) antud hüpoteenusiga c ja kaatetitega a ;

(III) antud kaatetiga a ja selle kaateti vastasnurgaga α ;

(IV) antud hüpoteenusiga c ja teravnurgaga α .

(Lahendused joonisel 54, I kuni IV.)



Joon. 54.

Ulesanne 12. Konstrueerida võrdhaarne kolmnurk

(I) antud alusega a ja haaraga b ;

(II) antud alusega a ja alusnurgaga β ;

(III) antud haaraga b ja alusnurgaga β ;

(IV) antud alusega a ja tipunurgaga α .

(Lahendused joonisel 55, I kuni IV.)

Ulesanne 13. Konstrueerida kolmnurk

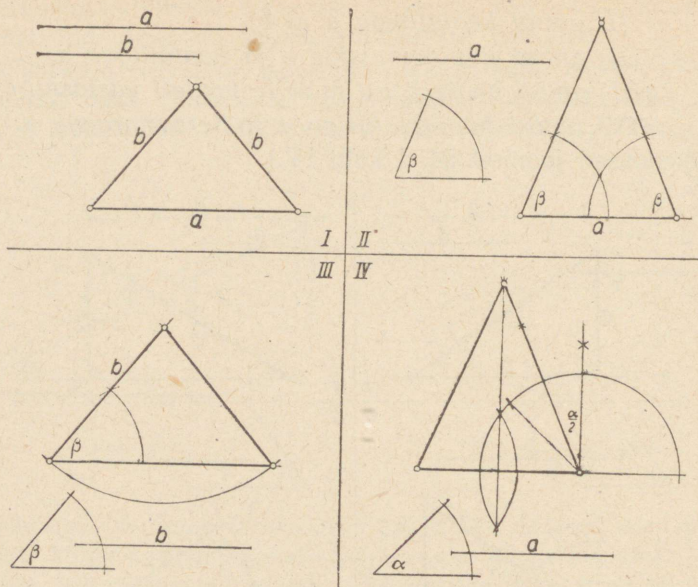
(I) antud ühe küljega a ning selle lähisnurkadega β ja γ ;

(II) antud kahe küljega a ja b ning nende vahelnurgaga γ ;

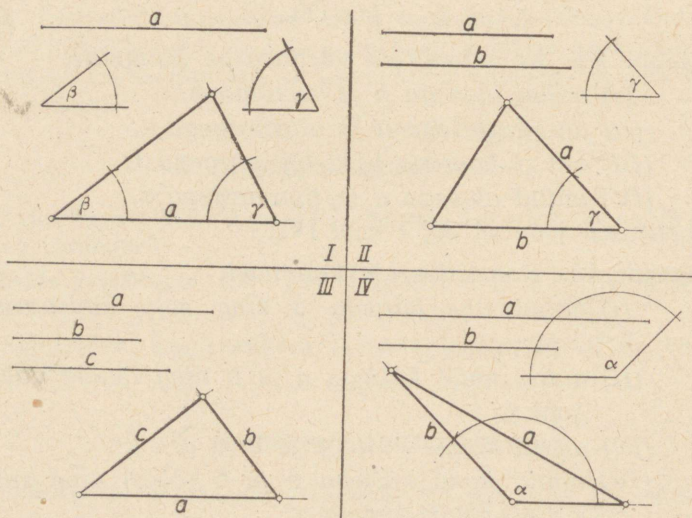
(III) antud kolme küljega a , b ja c ;

(IV) antud kahe küljega a ja b ($a > b$) ning suurema külje vastasnurgaga α .

(Lahendused joonisel 56, I kuni IV.)



Joon. 55.



Joon. 56.

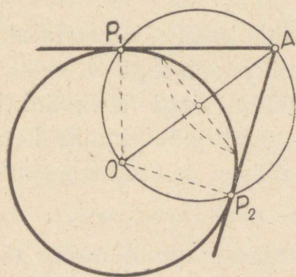
Harjutusülesanded.

- 1) Konstrueerida täisnurkne kolmnurk antud kaatetiga a ja täisnurga tipust tõmmatud kõrgusega h .
- 2) Konstrueerida võrdhaarne kolmnurk antud kõrgusega h ja tipunurgaga α .
- 3) Konstrueerida võrdhaarne täisnurkne kolmnurk antud hüpotenuusiga c .
- 4) Konstrueerida rööpkülik antud lähiskülgedega a ja b ja nende vahelise nurgaga φ .
- 5) Konstrueerida romb antud diagonaalidega f ja g . (Rombi diagonaalid on teatavasti teineteisega risti.)
- 6) Konstrueerida võrdhaarne trapets antud alustega a ja b ning diagonaaliga d .

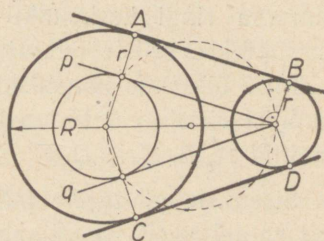
§ 24. Konstruksioone ringist.

Joonestaja peab tundma järgmisi teoreeme ringist.

- 1) Võrdsetele kesknurkadele vastavad võrdsed kaared ja võrdsed kõõlud.
- 2) Kesknurk on kaks korda suurem ühele ning samale kaarele toetuvast piirdeurgast.
- 3) Ühele ning samale kaarele toetuvad piirdeurgad on võrdsed.
- 4) Diameetritele toetuv piirdeurk on täisnurk (Thalese teoreem).
- 5) Kõõlu keskristsirge läbib ringi keskpunkti.
- 6) Puutuja on risti puutepunkti suunduva raadiusega.



Joon. 57.



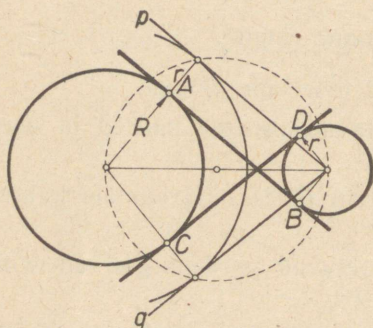
Joon. 58.

Ülesanne 14. *Konstrueerida ringjoonele puutuja läbi väljaspool ringi asetseva punkti A .*

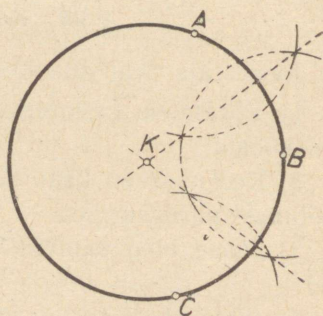
Ringjoon diameetriga OA lõikab antud ringjoont punktides P_1 ja P_2 (joon. 57); kumbki neist punktidest sobib võtta otsitavaks puutepunktiks (teoreemid 4 ja 6), järelikult ülesandel on kaks lahendit: sirged AP_1 ja AP_2 ; seejuures lõigud AP_1 ja AP_2 on võrdsed.

Ülesanne 15. *Konstrueerida kahele antud ringjoonele (suuremal raadius R , väiksemal r)*

- (I) *ühised välimised puutujad* (lahendus joonisel 58);
 (II) *ühised sisemised puutujad* (lahendus joonisel 59).



Joon. 59.



Joon. 60.

Välimiste puutujate puutepunktide leidmiseks joonestatakse suurema ringi keskpunkti ümber ringjoon raadiusega $R - r$ ja tõmmatakse sellele puutujad p ja q väiksema ringi keskpunktist (eelmise ülesande konstruktsiooniga). Neile puutujaile ringide keskpunktist ristsirgeid tõmmates saadaksegi ühiste puutujate puutepunktid A , B , C ja D .

Sisemiste puutujate puutepunktide leidmine toimub muidu täpselt samal viisil, ainult abiringjoon tuleb nüüd võtta raadiusega $R + r$.

Ülesanne 16. *Konstrueerida antud ringjoone (või kaare) keskpunkt, kui viimane pole antud koos ringjoonega.*

Viienda teoreemi põhjal läbib iga kõõlu keskristsirge ringi keskpunkti. Kahe kõõlu keskristsirgete lõikepunktina ongi leitav ringjoone või tema kaare keskpunkt. Kõõlud võib võtta ühise otspunktiga (AB ja BC joonisel 60) ja konstrueerida nende keskrist-sirged lõigu poolitamise konstruktsiooniga (§ 22, ülesanne 1), see-juures kõõlusid endid joonestamata jättes.

Harjutusülesanded.

1) Kas kahel ringjoonel on ühiseid puutujaid, kui üks ringjoon on üleni teise sees? Mitu ühist puutujat on kahel teineteist puudutaval ringjoonel, kui a) üks ringjoon on teise sees, b) kui kumbki pole teise sees? Mitu ühist puutujat on kahel teineteist lõikaval ringjoonel?

2) Mis tingimusi peavad täitma kolm üksteist puudutavat ringjoont, et neil oleks kaks ühist puutujat? [Vastus: 1) keskpunktid peavad olema ühel sirgel ja 2) keskmise ringi raadius peab olema äärmiste ringide raadiuste keskmine võrdeline.] Vastavat joonist kasutades tuletada vastuses antud teine tingimus.

§ 25. Proovimise meetod.

1. Eelmistes paragrahvides antud geomeetristest täppiskonstruktsioonidest harilikult ei tarvitata tegeliku joonestustöö juures neid, mida saab hõlpsamini teostada kas mehaaniliste võtetega (rööplüke) või nn. proovimise teel. Rööplükke abil teostatakse joonestamisel kõige sagedamini esinevaid põhikonstruktsioone — paralleelide ja ristsirgete tõmbamisi; proovimise teel aga lahendatakse harilikult kõik lõigu (või ringikaare) võrdseteks osadeks jaotamised, eriti lõigu (või ringikaare) poolitamised, samuti antud ringjoonele puutuja tõmbamised väljaspool ringjoont asetsevast punktist.

Lõigu jaotamine n võrdseks osaks toimub proovimise teel järgmiselt. Silma järgi hinnates võetakse antud lõigust ligikaudu $\frac{1}{n}$ osa sirkli sammuks ja, alates lõigu ühest otspunktist, kantakse see n korda järjest antud lõigu peale. Puudutulek või ülejääk näitab silmaga otsustamisel tehtud vea n -kordset. Võtnud sellest silma järgi jälle $\frac{1}{n}$ osa,

saame vajaliku paranduse, mille tegemisel sirkli teist otsa jooniselt üles ei tõsteta. Kui n on 2, 3 või 4, siis juba esimene parandamine võib anda soovitava tulemuse. Vastasel korral aga korratakse sama võtet kuni rahuldava tulemuse saamiseni. Tähtis on, et tulemus saadaks kätte ainult üksi sirkli kasutades.

Lõigu poolitamisel on otstarbekohane toimida pisut teisiti. Silma järgi võimalikult täpselt hinnatud pool antud lõigust võetakse raadiuseks joonsirkli ja tõmmatakse selle raadiusega kaarekesed lõigu mõlema otspunkti ümber. Nende kaarekeste vahele jääva õige lühikese lõigukese keskpunkt (silma järgi hinnates) märgitakse sirkli teraviku torkega ühtlasi antud lõigu keskpunktiks. Muidugi on siin täiesti ükskõik, kas esialgu silma järgi sirkli võetud poollõigu ligikaudne pikkus osutub õigest pikkusest suuremaks või väiksemaks. Küll aga on tulemus seda täpsem, mida täpsemalt hinnati silma järgi lõigu poolpikkust. Järelikult proovimise meetodi eduka rakendamise eelduseks on ka joonestaja hea silmamõõt.

Kui joonestajal on küllalt hea silmamõõt ka nurkade suuruse (eriti täisnurga) hindamiseks, siis võib ta rahulikult mõõta sirkliga ka punkti kaugust sirgest, samuti paralleelsirgete vahelist kaugust, otseselt, ilma ristsirget tõmbamata. Proovimine seejuures seisab selles, et mõõdetava lõigu teine otspunkt, mis pole täpselt teada, tuleb leida. Säärastel mõõtmistel harilikult proovitakse mõõtesirkliga tõmmata lõigu antud otspunkti ümber kaari, parandades raadiust seni, kuni saadakse antud sirget puudutav kaar.

2. Punkti kaugust sirgest proovimisega mõõtes on otstarbekohane teostada neljanda võrdelise leidmist teisiti, kui seda tegime eespool (§ 23, ülesanne 8); joonestusvahendina kasutame seejuures ainult üksi sirkli. Võtet tarvitatakse nimelt jooniste vähendamisel. Olgu näiteks vaja antud joonis joonestada originaali suhtes mõõtkavaga 2:3, s. t. kõik originaalilt sirkli võetavad lõigud, üldiselt pikkusega p , on vaja lühendada vastavateks pikkusteks x nii, et

$$2 : 3 = x : p.$$

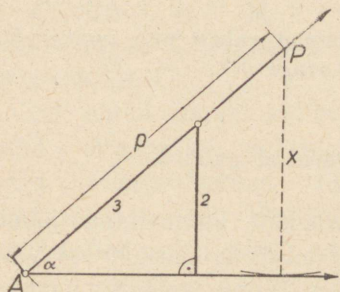
Joonestame täisnurkse kolmnurga püstkaatetiga 2 ühikut ja hüpotenuusiga 3 ühikut (§ 25, ülesanne 11; joon. 61). Originaalilt võetud pikkus p kantakse nüüd nurga α kaldhaarale tipust A alates ja mõõdetakse lõigu lõpupunkti P kaugus rõthhaarast proovimise teel; nii saadaksegi sirkli sobiva pikkusega lõik x , mis tuleb kanda vähendusele.

Paljude antud pikkuste vähendamine samas suhtes osutub selle võttega erakordselt kiireks, kuna iga mõõte muutmine toimub vaid käe üheainsa liigutusega: hoides sirkli üht teravikku paigal punktis P , viiakse teine teravik punktist A sobivasse punkti rõhtteljel. Täisnurga

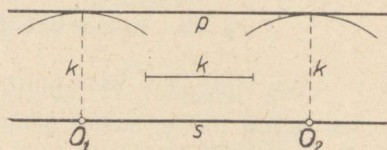
hindamisel tehtav väike viga mõjutab tulemust kaduvvähel, igatahes vähem kui paratamatud joonestusvead.

Et vähenduse arvmõõt (antud juhul 2:3), samuti iga vähendatud ja vastava antud pikkuse suhe tähendab siin nurga x siinust, kutsutakse selle võtte rakendusjoonist ka **siinuse mõõduks**. Vähenduse puhul on siinuse mõõt joonmõõdu kõrval mõõtkava teiseks geomeetriliseks avaldamisvormiks. Tähtis on, et vähendamist saab selle abil teostada originaali mõõtarsusid tundmata.

3. Ringjoonele (või ka mistahes kõverale) puutuja tõmbamine väljaspool joont asetsevast punktist osutub sisuliselt proovimiseks, kui puutuja tõmbamiseks seatakse joonlaud lihtsalt läbi antud punkti ja kõverjoont puudutavasse asendisse, nagu seda joonestamisel tavaliselt tehak-



Joon. 61.



Joon. 62.

segi; kui soovitakse ka puutepunkti, siis ringjoone puhul leitakse see puutuja ristraadiuse abil (rööplükke vahendusel). Samuti kahe ringjoone ühised puutujad joonestatakse tavaliselt otsekohe, s. t. tegelikult proovimise teel.

Antud sirgele s antud kaugusega k paralleelsirget p tõmmates toimib joonestaja harilikult nii: sirge s mingi punkti ümber tõmmatakse kaar raadiusega k ja rööplükke abil tõmmatakse sellele kaarele antud sirgega paralleelne puutuja p ; kui aga ei taheta rakendada rööplüket, siis joonestatakse kaks kaart, mis asetsevad teineteisest võimalikult kaugel, ja tõmmatakse nende ühine puutuja p (joon. 62; kaarte keskpunktid on O_1 ja O_2).

4. Proovimine ületab mitmeidki geomeetrilisi konstruktsioone mitte üksnes töö kiiruselt, vaid ka täpsuselt. Täpsuse mõttes on konstruktsioon ja proovimine oluliselt erinevad: konstruktsioonis muutub lahendi täpsus paratamatute joonestusvigade tõttu iga sammuga ikka küsitavamaks; proovimisel aga muutub lahend teatud piirini samm-sammult ikka kindlamaks.

Konstruksiooniga saadud tulemusi kontrollitakse ja parandatakse harilikult just proovimise teel. Proovimismeetodit tuleb tegelikul joonestamisel lausa soovitada; geomeetriat sisuliselt õppides aga on tema kasutamine keelatud. Just proovimise kaudu arendab joonestaja kõige rohkem oma silmamõõtu ja käeosavust.

Harjutusiiesanded.

1) Jaotada kahest antud lõigust üks kolmeks võrdseks osaks konstruktiivselt ja teine proovimise teel. Kumb võte annab tulemuse kiiremini?

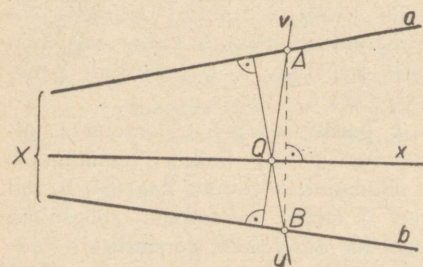
2) Miks siinusmõõtu ei saa kasutada ka suurendamisel, rakendades teda n. ö. tagurpidi?

3) Joonestada mingi lõik ja märkida sellel vabalt neli punkti. Saadud kujundist joonestada vähendus mõõtkavaga 5:7.

§ 26. Konstruksioone piiratud paberil.

1. Võib juhtuda, et kõigiti otstarbekalt kavandatud joonise teostus satub mõne olulise punktiga jooniselehe piirkonnast välja. Nimetame sääraseid punkte edaspidi joonise välispunktideks. Konstruksioone, mis võimaldavad joonise välispunkte

kasutada ilma lisapaberit tarvitusele võtmata, nimetatakse **konstruksioonideks piiratud paberil**. Viimaseid mitte tundes aitab joonestaja end tavaliselt hädast välja lisapaberi abil, püüdes joonise välispunktid sellele. Lisapaberiga aga ei saa alati olukorda päästa, sest välispunkt võib olla nii kaugel, et pole lihtsalt käepärast ei vajaliku ulatusega



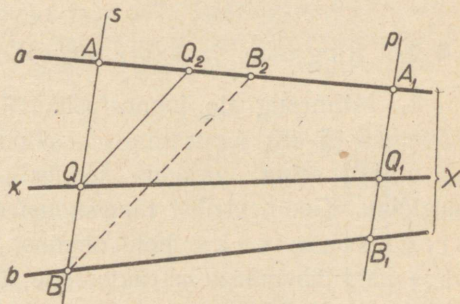
Joon. 63.

lisapaberit; ei vastavat tasapinnalist alust ega vajaliku pikkusega joonlauda. Kui otsustatakse mõnikord siiski lisapaberi kasuks, siis igatahes tuleb see joonestuslaua või jooniselehe külge korralikult kinnitada, sest lahtine lisaleht osutub harilikult ebatäpsuste allikaks.

Ülesanne 17. Läbi antud punkti Q tõmmata sirge x , mis suunduks läbi sirgete a ja b lõikepunkti X , kui viimane osutub joonise välispunktiks.

Esimene lahendus. Tõmbame läbi punkti Q sirge $u \perp a$ ja sirge $v \perp b$ (joon. 63); olgu sirgete u ja b lõikepunkt B ning v ja a lõikepunkt A ; otsitav sirge x tõmmatakse siis läbi punkti Q risti sirgega AB (rööplüket kasutades võib sirge AB jääda joonestamata). Põhjenduseks on vaid vaja tähele panna, et sirged u , v ja x on kolmnurga ABX kõrgussirged lõikepunktiga Q .

Kui antud punkt asetseb antud sirgetega määratud nurga välispiirkonnas, siis konstruktsioon jääb sisuliselt samaks. Sel puhul tuleks joonist 63 tõlgendada nii, et a (või b) ja x on antud sirged, B (või A) antud punkt ja b (või a) nõutud sirge.

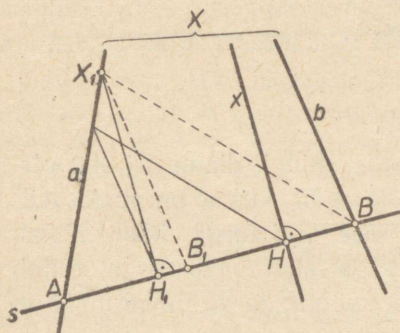


Joon. 64.

Teine lahendus. Tõmbame sirgeid a ja b (võimalikult suure nurga all) lõikava sirge s läbi antud punkti Q ja sirgele s (võimalikult kaugel) paralleeli p (joon. 64). Lõigaku esimene sirgeid a ja b punktides A ja B , teine aga punktides A_1 ja B_1 . Jaotades nüüd lõigu A_1B_1 punktiga Q_1 samas suhtes nagu punkt Q jaotab lõiku AB (vt. § 23, ülesanne 7), osutub sirge QQ_1 just otsitavaks sirgeks x . Joonisel 63 on jaotamiseks tõstetud lõik A_1B_1 asendisse AB_2 ja peale jaotamist võetud $A_1Q_1 = AQ_2$.

Esimese lahenduse lõpus leiduv märkus on sõnasõnalt ülekantav ka siia.

Ülesanne 18. Antud sirgele s tõmmata ristsirge x läbi sirgete a ja b lõikepunkti X , kui viimane osutub joonise välispunktiks.

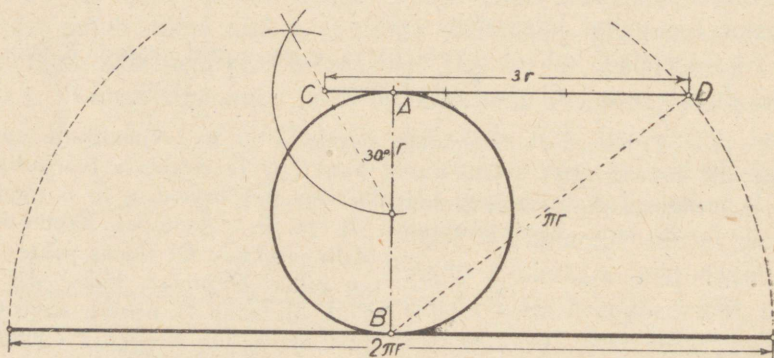


Joon. 65.

Lõigaku sirge s sirgeid a ja b punktides A ja B (eeldades, et viimased pole välispunktid). Märgime sirgel a vabalt punkti X_1 ja tõmbame sirge $X_1B_1 \parallel b$ (joon. 65). Sel korral kolmnurk AB_1X_1 on sarnane kolmnurgaga ABX ja nende vastavad joone-elementid on võrdelised. Samasuguses suhtes, kui kolmnurga AB_1X_1 kõrguse aluspunkt H_1 jaotab aluse AB_1 , peab ka kolmnurga ABX kõrguse x aluspunkt H jaotama aluse AB . Punkt H leitakse rakendades kaks korda järjest lõigu jaotamist antud suhtes (§ 23, ülesanne 7).

§ 27. Ringjoone ja kaare sirgestamise lähenduskonstruktsioone.

1. Mitmesuguste joonestuslike ülesannete juures [näit. veerekõverate (§ 48) joonestamisel, silindri pinnalaotuse valmistamisel ja mujal] esineb vajadus joonestada ringi ümbermõõdu-pikkust sirglõiku. Geomeetrilist täppiskonstruktsiooni selleks, nn. ringjoone sirgestamiseks pole olemas, küll on aga leiutatud selleks väga häid lähenduskonstruktsioone; üht lihtsamat ja täpsemat neist esitab joonis 66.

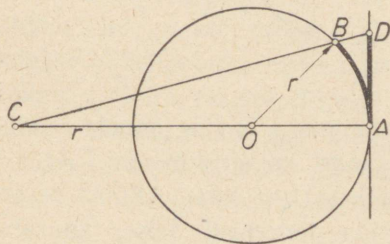


Joon. 66.

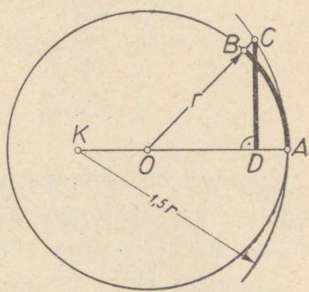
Tõmbame ringjoonele puutuja tema mingi diameetri AB otspunktist A ja kanname sellele lõigu $CD = 3r$, kus C on punkt, milles lähtediameetri külge ehitatud 30° -lise kesknurga haar lõikab seda puutuajat. Sel korral lõik BD väga suure täpsusega esitab raadiuse π -kordset ehk ringi poolümbermõõtu; terve ümbermõõt on selle kahekordne.

Muidugi võib joonestamise juures ringjoone sirgestamise ülesannet lahendada ka mõõtmise ja arvutamise teel, sest übermõõt võrdub teatavasti läbimõõdu ja arvu π korrutisega; $\pi = 3,1416$. Konstruktiivsel teel aga saadakse vastus märksa kiiremini kui mõõtmise-arvutamise teel.

Arvutus näitab, et kirjeldatud viisil konstrueeritud lõik on ringi õigest übermõõdust lühem ainult 0,0001 raadiuse võrra. Seega näiteks 1 mm-lise vea saamiseks joonisel oleks vaja selle konstruktsiooniga sirgestada ringjoon raadiusega 10 m! See suur täpsus õigustab lugema seda konstruktsiooni praktiliselt täiesti täpseks (paratamatud joonestusvead ületavad seda viga tervelt 100-kordselt).



Joon. 67.



Joon. 68.

2. Ringjoone kaare sirgestamiseks anname kaks erinevat lähenduskonstruktsiooni.

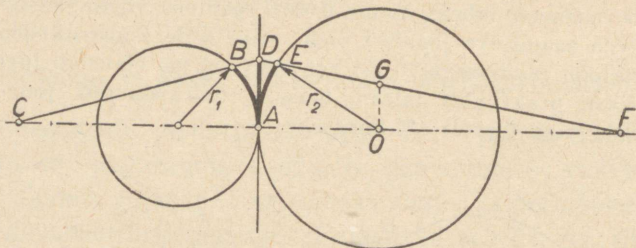
Esimeses konstruktsioonis tõmmatakse sirgestatava kaare AB otspunktist A ringjoonele puutuja ja diameeter (joon. 67); viimast raadiuse võrra pikendades jõutakse punkti C . Sirge CB lõigaku puutujat punktis D ; lõik AD esindabki kaare AB pikkust.

Teises konstruktsioonis tõmmatakse abiringjoon raadiusega $AK=1,5r$ nii, et see puudutaks antud ringjoont kaare AB otspunktis A (joon. 68). Sirge OB lõigaku abiringjoont punktis C ; selle kaugus sirgest KA esindabki kaare AB pikkust.

Kaarele vastava kesknurga suurenedes kahaneb mõlema lähenduskonstruktsiooni täpsus. 45° -lise nurga puhul on relatiivne viga esimesel konstruktsioonil 0,2% ja teisel 0,6%, seega mõlemal veel paratamatute joonestusvigade piires. Esimene konstruktsioon on teisest küll täpsem (ta võimaldab minna kuni kesknurgani 60°), aga ta nõuab see-eest laiuti kaks korda rohkem ruumi kui teine.

Kaartest, mis on suuremad kui 45° , sirgestatakse tavaliselt pool või neljandik ja mitmekordistatakse vastavalt tulemust.

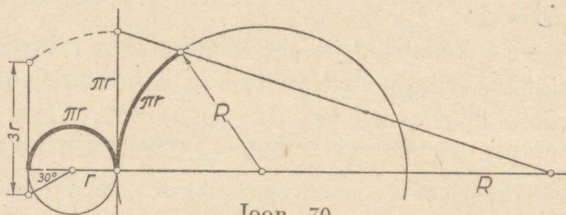
3. Eelmises artiklis antud konstruktsioonid võimaldavad ühe ringjoone kaart üle kanda teisele, erineva raadiusega ringjoonele. See osutub vajalikuks näiteks epi- ja hüpotšükloidide joonestamisel (§§ 50 ja 52), kus ringid pannakse veerema ringidel.



Joon. 69.

Joonisel 69 kantakse kaar AB raadiusega r_1 ringjoonele raadiusega r_2 , kasutades eelmise artikli esimest konstruktsiooni: $AC = 3r_1$ ja $AF = 3r_2$; kaar $AB =$ lõik $AD =$ kaar AE .

Soovides ringi ümbermõõtu kerida tervenist teise, suurema ringjoone peale, kantakse üle väiksema ringi pool ümbermõõtu ühekorruga, rakendades ühelt poolt ringjoone, teiselt poolt kaare sirgestamise lähenduskonstruktsiooni (joon. 70).



Joon. 70.

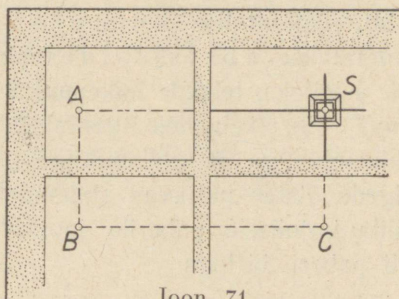
Harjutusülesanded.

1) Teostada joonisel 69 esinev kaare ülekandmine kaarele, rakendades artiklis 2 esitatud teist kaare sirgestamise lähenduskonstruktsiooni.

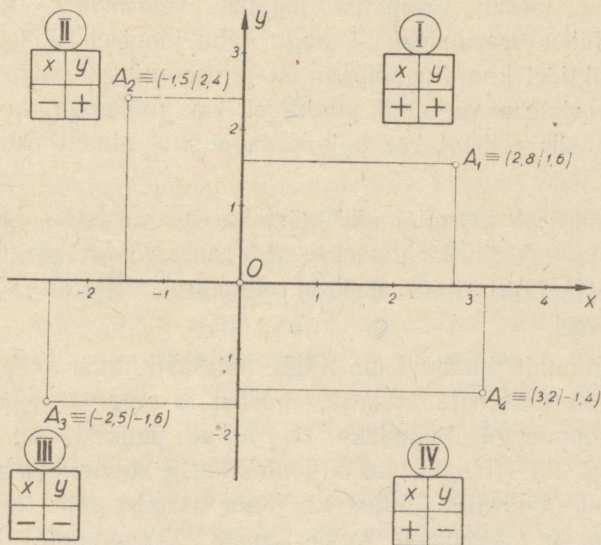
2) Joonestada kaks erineva raadiusega ringjoont ja märkida kummalgi mingi kaar. Määrata nende kaarte pikkuste suhe neid enne sirgestades ja siis mõõtes.

§ 28. Koordinaatide kasutamine. Sirgjoone kaldenurk ja kalle.

1. Oletagem, et väljakule, millest jookseb üle kaks sirget ristuvat teed, kavatsetakse püstitada Isamaasõjas langenute mälestussammas väljakul märgitud kohale S ja samba asukoht soovitakse märkida väljaku plaanile (joon. 71). Missuguseid mõõtmisi on vaja selleks väljakul ette võtta? Ilmselt piisab sellest, kui mõõdetakse samba asukoha kaugus kummastki teest. Plaanil neile kaugustele vastavalt teede paralleelide tõmmates (muidugi arvestades ka plaani mõõtkava) saadakse lõikepunktiks just samba õige asukoht plaanil. Punkti plaanile kandes peab aga olema teada ka, kummal pool ühest ja teisest teest punkt asetseb, sest vastasel korral võiks märkida samba asukohaks plaanil ekslikult ka kohad A , B või C ,



Joon. 71.



Joon. 72.

mis on teedest samadel kaugustel kui samba õige asukoht S . — See näide selgitab nn. koordinaatide kasutamist punkti asukoha määramiseks tasapinnal, ja nimelt samal tasapinnal asetseva ristsirgepaari suhtes.

Ristsirgepaari, mille suhtes määratakse tasapinna punktide asukohti, nimetatakse koordinaatide telgedeks. Üht telge nimetatakse abstsisside ehk x -teljeks, teist ordinaatide ehk y -teljeks, telgede lõikepunkti O aga koordinaatide alguseks (joon. 72). Telgedele kantakse ühesugused mõõtskaalad sobiva pikkusühikuga ja nullpunktiga koordinaatide alguses O ; nooled telgede otstes näitavad skaalanumbrite suurenemise suunda. Ristküliku-kujulisele paberile joonestatakse teljed harilikult paralleelselt paberi äärtega.

Tõmmates tasapinna antud punktist telgede paralleelid kuni telgedeni, saadakse viimastelt skaalalugemitena selle punkti koordinaadid: x -teljelt abstsiss ja y -teljelt ordinaat; esimene näitab punkti kaugust ja poolsust y -telje suhtes ja teine x -telje suhtes. Joonisel 72 on punkti A_1 abstsiss 2,8 ja ordinaat 1,6 ühikut.

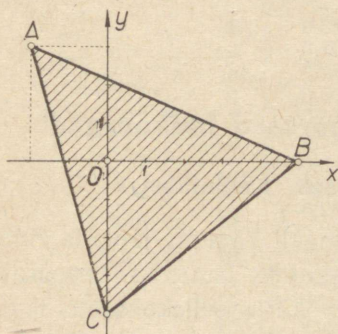
Teljestik jaotab tasapinna neljaks veerandiks; kokkuleppel numereeritakse veerandeid nii, nagu näha joonisel 72. Igas veerandis on punktidel koordinaadipaar isesuguse märgikombinatsiooniga. Et ainult esimese veerandi punktidel on mõlemad koordinaadid positiivsed, siis eelistatakse paigutada punkte nimelt esimesse veerandisse.

Kui punkti A koordinaadid (järjekorras: abstsiss, ordinaat) on näiteks 2 ja -3 , siis kirjutatakse seda nii: $A \equiv (2|-3)$. Oma koordinaadipaariga on punkti asukoht etteantud teljestiku suhtes üheselt määratud.

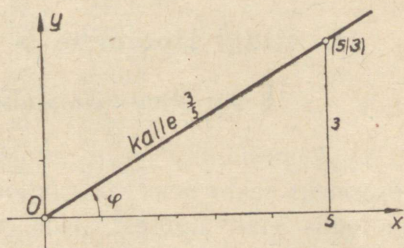
Koordinaatide kaudu saab väga hõlpsasti määratella joonestatavate esemete soovivat kuju, suurust ja paigutust joonisel. Kui näiteks kolmnurga tippudeks on antud punktid $A \equiv (-2|3)$, $B \equiv (5|0)$ ja $C \equiv (0|-4)$, siis on joonisel selle kolmnurga kuju ja suuruse kõrval määratud ühtlasi ka tema asend, mille kirjeldamine nõuaks muidu kindlasti mõnesuguste lisaandmete kasutamist (joon. 73).

Niisugust esemete kujutamise viisi, kus kasutatakse koordinaate eseme punktide vastastikuse asendi määramiseks, nimetatakse **aksonomeetriliseks meetodiks**. Sõna «aksonomeetiline» tähendab eesti keeles «telgi mõõtev». Aksonomeetrilisel meetodil on kujutavas geomeetrias väga oluline tähtsus, geomeetrilise joonestamise juures aga pole tal veel erilist kaalu. — Koordinaatide abil kujundite omadusi uuriv geomeetria haru kannab analüütilise geomeetria nime.

2. Sirgjoon on teatavasti määratud oma kahe punktiga. Võttes vaatluse alla ainult niisugused sirged, mis läbivad koordinaatide alguspunkti, on vaja nende määramiseks anda alguspunktile O



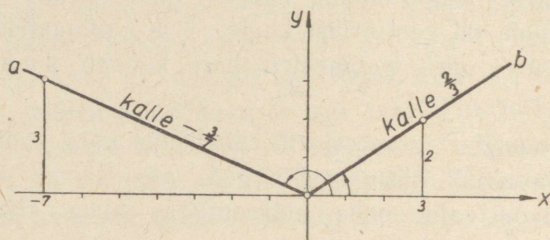
Joon. 75.



Joon. 74.

lisaks veel üksainus punkt oma koordinaatidega. Säärased sirged erinevad üksteisest ainult oma kaldenurga poolest rõhttelje suhtes (kui kaldenurki loetakse x -telje positiivsest suunast vastupäeva kuni 180° -ni, nagu nähtub jooniselt 75). Kaldenurga suurust võiks mõõta kraadides (malli abil), aga niisama hästi iseloomustab kaldenurga suurust sirge mistahes punkti koordinaadipaar. Näiteks sirge, mis läbib alguspunkti ja punkti $(5|3)$, evib rõhttelje suhtes kaldenurka φ , mille suurus võrdub teravnurgaga täisnurkses kolmnurgas kaatetitega 3 ja 5, lühema kaateti vastas (joon. 74). Suhet $3:5$ nimetatakse selle sirge **kaldeks**. Kallet väljendatakse sageli ka protsentides; nii on kalle $3:5 = 0,6$ ehk 60%. Sirget nimetatakse **tõusvaks**, kui selle kalle on positiivne, ja **langevaks**, kui

kalle on negatiivne; joonisel 75 sirge a langeb: tema kalle on $-\frac{3}{7}$; sirge b aga tõuseb: tema kalle on $\frac{2}{3}$. Tundes ka trigonomeetrisi funktsioone, võime sirgjoone kallet nimetada tema kaldenurga tangensiks.



Joon. 75.

II. Ringi jaotamine ja korrapäraseid hulknurgad.

§ 29. Ringi jaotamisest üldiselt. Kõõlutabel.

1. Joonestamise juures esineb õige sageli vajadus jaotada ringi võrdseteks sektoriteks või ringjoont võrdseteks kaarteks. Seepärast on tähtis juba algusest peale harjutada kätte sellekohased õiged ja lihtsaimad võtted. Selleks vajalikud konstruktsioonid esitatakse siin peaaegu ilma põhjendusteta, eeldades, et lugeja suudab neid vajaduse korral ise põhjendada, toetudes läbiõpitud planimeetria kursusele.

Muidugi võib ringjoone jaotamisel geomeetriseliste konstruktsioonide kõrval edukalt rakendada ka paragrahvis 27 selgitatud proovimise meetodit. Eriti viljakaks osutub see siin konstrueerimistulemuste kontrollimisel ja vajaduse korral parandamisel.

Kui ringjoon on jaotatud n võrdseks osaks, siis jaotuspunkte järjestikku kõõludega ühendades saadakse kõõlhulknurgana **korrapärase n -nurk**, mille keskpunktiks jääb ringi keskpunkt. Korrapärase kõõl- n -nurga külge tähistatakse sümboliga a_n .

Korrapärase kõõlhulknurga küljepikkus sõltub lähteringi raadiusest ja külgede arvust n . Soovides korrapärast hulknurka etteantud küljepikkusega, tuleb kas määrata enne ringjoon, millele see

hulknurk jääb kõõlhulknurgaks, või kasutada koguni erikonstruktsioone; vastavaid võtteid käsitleb § 36.

Ringi või ringjoone jaotamise all mõistame edaspidi ikka jaotamist võrdseteks osadeks.

2. Geomeetriliste konstruktsioonide ja proovimise meetodi kõrval võib ringi jaotamist teostada hea eduga ka nn. **kõõlutabeli** abil. Kõõlutabel annab korrapäraste kõõlhulknurkade küljepikkused

Kõõlutabel.

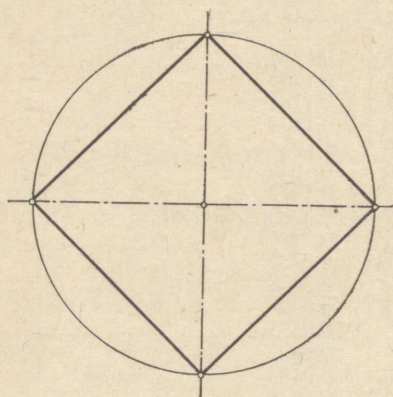
n	a_n	n	a_n
3	0,8660	25	0,1253
4	0,7071	26	0,1205
5	0,5878	27	0,1161
6	0,5000	28	0,1120
7	0,4339	29	0,1081
8	0,3827	30	0,1045
9	0,3420	31	0,1012
10	0,3090	32	0,0980
11	0,2817	35	0,0896
12	0,2588	40	0,0785
13	0,2393	45	0,0698
14	0,2225	50	0,0628
15	0,2079	55	0,0571
16	0,1951	60	0,0523
17	0,1838	65	0,0483
18	0,1737	70	0,0449
19	0,1646	75	0,0419
20	0,1564	80	0,0398
21	0,1490	85	0,0370
22	0,1423	90	0,0349
23	0,1362	95	0,0331
24	0,1305	100	0,0314

eeldusel, et ringi diameeter on ühiku pikkune. Kui ringi diameeter on d ühikut, siis tabelist loetav arv tuleb korrutada teguriga d , et saada antud n puhul sobivat kõõl- n -nurga küljepikkust. Näiteks soovides ringjoont diameetriga 9,5 sm jaotada 11-ks võrdseks kaareks, on igale kaarele vastava kõõlu pikkuseks $9,5 \cdot 0,2817 \approx 1,68$ (sm); arv 0,2817 on võetud juuresolevast kõõlutabelist. Arvutatud kõõlupikkus võetakse mõõtjoonlaualt sirkli sammuks ja teostatakse sellega soovitav ringjoone jaotamine, esmalt muidugi ainult

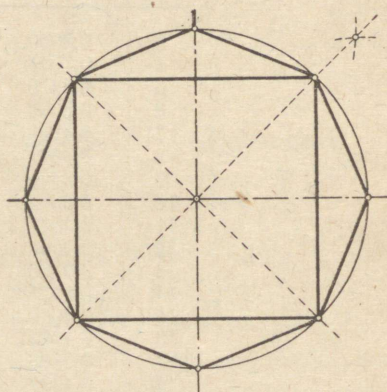
proovides. Õigupoolest annab kõõlutabel sirklisammule proovimiseks ainult ühe väga hea lähisväärtuse; seepärast ei või loota, et kõõlutabeli abil leitud sirklisamm jaotamisel otsekohe täpselt sobiks.

§ 30. Ringi jaotamine kaheks, neljaks, kaheksaks jne.

Ringi jaotamine kaheks võrdseks osaks ehk kaheks poolringiks toimub sirge tõmbamisega läbi ringi keskpunkti.



Joon. 76.



Joon. 77.

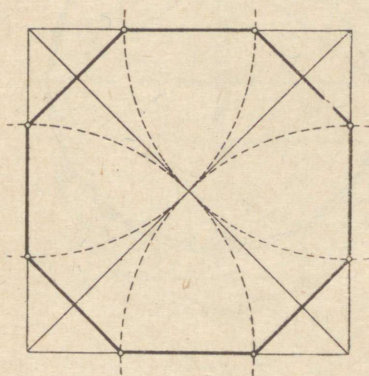
Ringi jaotamine neljaks toimub ühe ristsirgete paari tõmbamisega läbi ringi keskpunkti. Jaotuspunkte ringjoonel järjestikku kõõludega ühendades saadakse korrapärane nelinurk ehk ruut (joon. 76).

Ringi jaotamine kaheksaks toimub kahe ristsirgete paari tõmbamisega läbi keskpunkti, kusjuures teine paar on esimese suhtes pööratud 45° . Nurk suurusega 45° saadakse kas vastava joonestuskolmnurga abil, või esmalt tõmmatud ristdiameetrite vahelist nurka poolitades (joon. 77). Viimati tõmmatud ristdiameetrite otspunktid märgivad ruudu tippe, mille küljed on püst- ja rõhtsihilised.

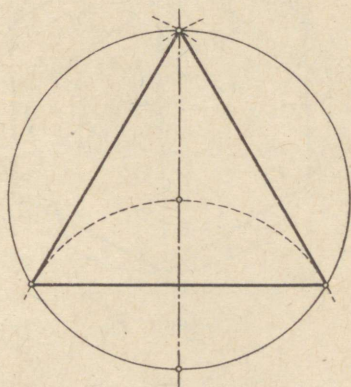
Praktikas esineb sageli vajadus ruudul nurgad ära lõigata nii,

et järele jääks korrapärase kaheksanurk. Selle kaheksanurga tipud leitakse ruudu tippude ümber kaari tõmmates raadiusega, mis võrdub ruudu poole diagonaaliga (joon. 78).

Tõmmates 8-ks jaotatud ringis veel kolmanda ja neljanda ristdiameetrite paari, mis varem saadud 45° -lisi nurki poolitavad, jaotub ring 16-ks.



Joon. 78.



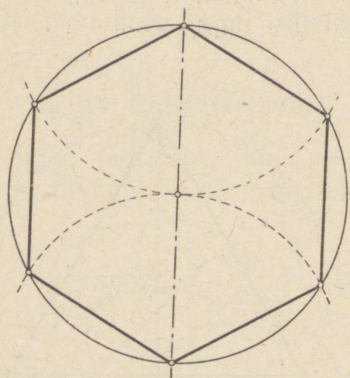
Joon. 79.

Ringi jaotamine rohkem kui 16-ks osaks pole harilikult praktilise joonestamise juures enam tarvilik. Eespool kirjeldatud mõttekäiku jätkates saaks aga teostada veel jaotamist 32-ks, 64-ks jne.

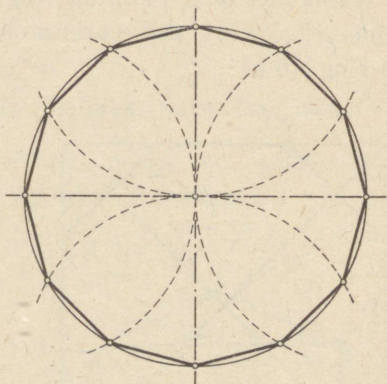
§ 31. Ringi jaotamine kolmeks, kuueks ja kaheteistkümneks.

Ringjoone jaotamine kolmeks toimub ringi raadiuse abil ringi diameetri ühe otspunkti ümber kaart tõmmates. See kaar eraldab ringjoonest ühe kolmandiku; diameetri teine otspunkt poolitab ülejäänud kaks kolmandikku (joon. 79). Saadud jaotuspunkte kõõludega ühendades saadakse korrapärase ehk võrdkülgne kolmnurk. Vastavalt sellele, kas tõmbame kaare ümber püstdiameetri alumise või ülemise otspunkti või ümber rõhtdiameetri vasaku või parema otspunkti, saame kolmnurga tipuga ülal, all, paremal või vasakul.

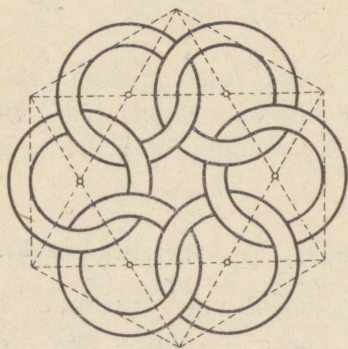
Ringjoone jaotamine kuueks toimub tuntud tõsiasi põhjal, mille kohaselt korrapärase kõõlkuusnurga külj võrdub ringi raadiusega. Joonsirklit kasutades saab ringjoont kuueks jaotada ühe



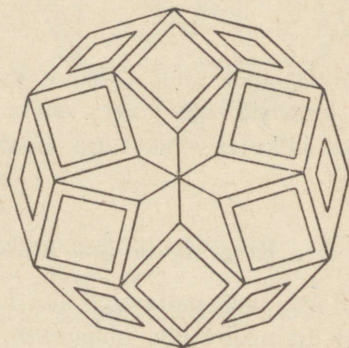
Joon. 80.



Joon. 81.



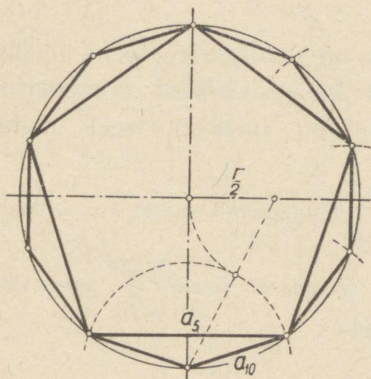
Joon. 82.



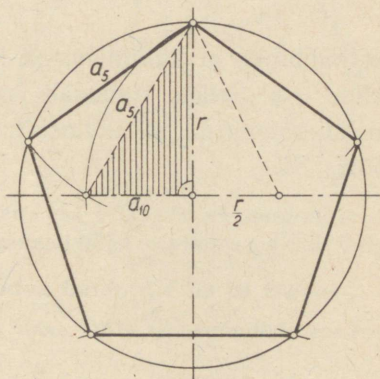
Joon. 85.

diameetri otspunktide ümber ringi raadiusega kaari tõmmates (joon. 80). Soovides saada kuusnurka, millel üks paar külgi on rõhtsad, tuleb kaarte keskpunktidenä kasutada rõhtdiameetri otspunkte.

Ringjoone jaotamine kahe teistkümneks toimub ristdiameetrite paari otspunktide ümber ringi raadiusega kaari tõmmates (joon. 81). Jaotus 12-ks sisaldab ka jaotused kuueks, neljaks ja kolmeks; selleks tuleb vaid jaotuspunkte võtta vastavalt üle ühe, üle kahe või üle kolme.



Joon. 84



Joon. 85.

Ringjoone jaotamist joonsirkliga teostades tõmmatakse jaotavad kaared kohe sama raadiusega, millega tõmmati ringjoon. Joonsirkli asemel mõõtesirklit kasutades märgitakse jaotuspunkte ringjoonele sirkli teraviku torgetega.

Joonistel 82 ja 83 on esitatud paar kaunistust, mis on rajatud ringi 6-ks ja 12-ks jaotamisele.

§ 32. Ringi jaotamine viieks ja kümneks.

Ringjoone tükeldamine kümneks, seejuures ühtlasi ka viieks võrdseks kaareks nõuab kuldlõike konstruktsiooni (§ 22, ülesanne 10).

Tõestame, et korrapärase kõõlkümmenurga külj k on raadiuse r pikem kuldlõikeline osa.

Võrdhaarsel kolmnurgal haaraga r ja alusega k on tipunurk 36° ja alusnurk 72° , sest $360^\circ : 10 = 36^\circ$ ja $(180^\circ - 36^\circ) : 2 = 72^\circ$.

Alusnurga poolitaja eraldab sellest kolmnurgast temaga ilmselt sarnase kolmnurga (viirutatud kolmnurk joonisel 88); järelkult nende kolmnurkade vastavad küljed on võrdelised:

$$\frac{r-k}{k} = \frac{k}{r} \quad \text{ehk} \quad k^2 = r(r-k);$$

siit nähtubki, et kümmenurga külg k on raadiuse r pikem kuldlõikeline osa. Sellele tõsiasi jale rajatud konstruktsiooni korrapärase kõõlkümnenurga ja ühtlasi ka viisnurga joonestamiseks näitab joonis 84.

Tõestame, et $v^2 = r^2 + k^2$, kus r ja k tähendavad sama, mis eespool, aga v on korrapärase kõõlviisnurga külg.

Joonisel 88 on viirutatud kolmnurga kõrguseks ilmselt $\frac{v}{2}$; seega täisnurksest kolmnurgast ABC saab kirjutada:

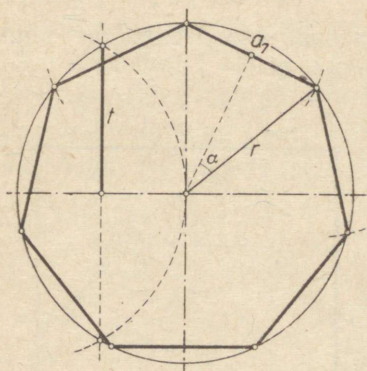
$$\left(\frac{v}{2}\right)^2 + \left(\frac{r-k}{2}\right)^2 = k^2 \quad \text{ehk} \quad v^2 = 3k^2 - r^2 + 2kr.$$

Eespool esitatud kuldlõike tingimusest $k^2 = r(r-k)$ võib tulemusse kirjutada rk asemele $r^2 - k^2$ ja nii saadaksegi $v^2 = r^2 + k^2$, nagu väitsime. Järelkult suurused v , r ja k kõlbavad ühe täisnurkse kolmnurga külgedeks. Selle asjaolu põhjal saab joonestada korrapäraast kõõlviisnurka joonisel 85 näidatud konstruktsiooniga, kus a_{10} ehk k on ilmselt raadiuse pikem kuldlõikeline osa; nimetatud täisnurkne kolmnurk on joonisel viirutatud.

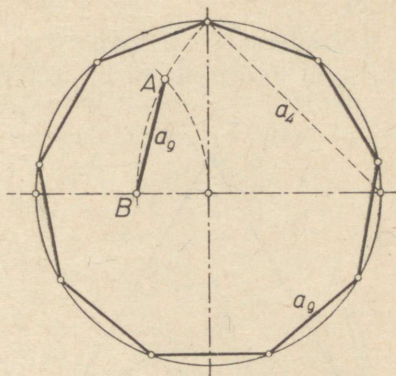
§ 33. Ringi jaotamine seitsmeks ja üheksaks.

Vajadus ringi või ringjoont seitsmeks ja üheksaks võrdseks osaks tükeldada esineb praktikas väga harva. Neid jaotusi pole ka võimalik teostada täppiskonstruktsiooniga; küll aga leidub nende jaoks häid lähenduskonstruktsioone, millede lihtsus ja täpsus õigustab nende esitamist siinkohal. Pealegi saab niiviisi ringi jaotamise käsitus täielik kuni kümneks võrdseks osaks jaotamiseni.

Korrapärase kõõlseitsenurga külg a_7 on pikkuselt hästi lähedane kõõlkiusnurga apoteemile t (joon. 86): kõõlutabelist (§ 29)



Joon. 86.

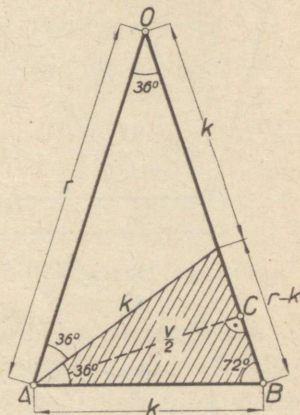
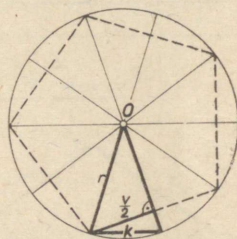


Joon. 87.

leiame, et $a_7 = 0,434$ diameetrit; t väärtus on aga $0,433$ diameetrit. Kasutades teist väärtust esimese asemel teeme suhtelise vea mitte üle $0,3\%$; see viga mahub lahedasti paratamatute joonestusvigade piiridesse.

Ringjoone üheksaks jaotamise lähenduskonstruktsioon pole palju keerulisem. Selleks tõmmatakse ringi diameetri ühe otspunkti ümber kaar ringi raadiusega ja teise otspunkti ümber kaar raadiusega a_4 (joon. 87). Lõigaku teine kaar esimest kaart punktis A ja lähtediameetrit punktis B ; sel korral lõik $AB = a_9$ (suhtelise veaga mitte üle $0,4\%$).

Kuna jaotus üheksaks sisaldab endas ka jaotuse kolmeks, siis harilikult teostatakse jaotust üheksaks nii, et konstruktsiooniga saadud ringjoone kolmandikud jaotatakse mõotesirkliga veel kolmeks — proovimise teel.

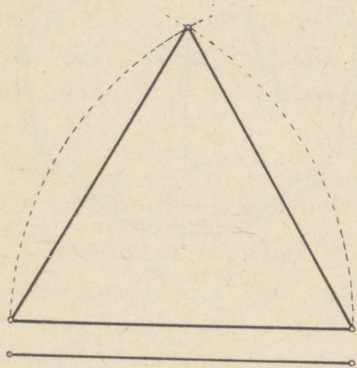


Joon. 88.

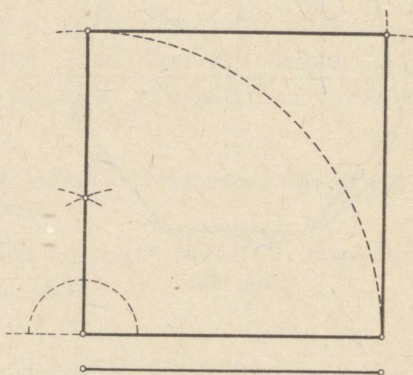
§ 34. Korrapäraste hulknurkade konstrueerimine antud külje järgi.

Võrdkülgse kolmnurga konstruksioon on esitatud joonisel 89.

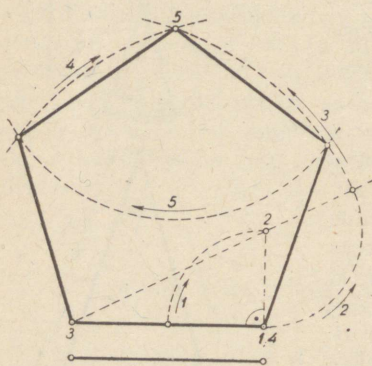
Korrapärase nelinurga ehk ruudu konstruksioon ilma rööplükke kasutamisetä on esitatud joonisel 90.



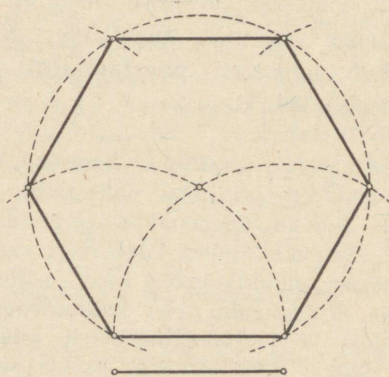
Joon. 89.



Joon. 90.



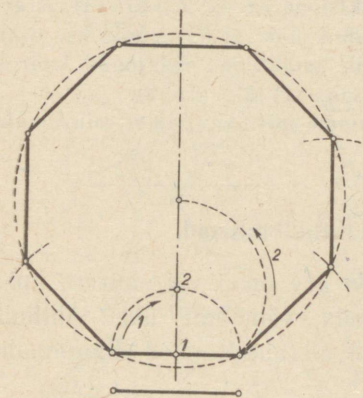
Joon. 91.



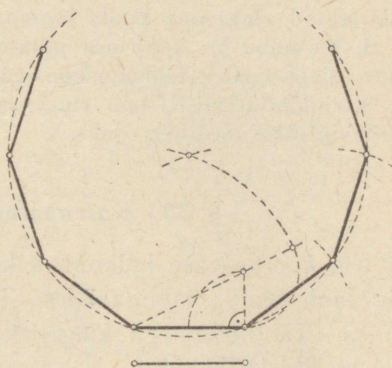
Joon. 92.

Korrapärase viisnurga ehitamine antud külje järgi toimub kuldloike konstruksiooni kasutades. Nimelt on korrapärase viisnurga külg diagonaali pikem kuldloikeline osa, sest on ju korrapärase viisnurga küljest ja kahest diagonaalist koosnev kolmnurk

sarnane kolmnurgaga, mille külgedeks on kümmenurga külg ja kaks raadiust, kuna need on mõlemad võrdhaarsed kolmnurgad tipunurgaga 36° ; kõõlkümnenurga külg aga oli raadiuse pikem kuldlõikeline osa (§ 32). Järelikult, rakendades antud küljele joonisel 52 esitatud konstruktsiooni, saame viisnurga diagonaali. Külje ja diagonaali järgi on aga viisnurga ehitamine lihtne (joon. 91; numbrid märgivad kaari ja nende keskpunkte ning näitavad konstruktsiooni teostamise järjekorda).



Joon. 95.



Joon. 94.

Korrapärase kuusnurga ehitamisel määratakse kõigepealt välisringi keskpunkt (võrdkülgse kolmnurga konstruktsiooni põhjal); siis joonestatakse ringjoon ja jaotatakse tuntud viisil kuueks; tulemuse saame kõõlkuusnurgana (joon. 92).

Korrapärase kaheksanurga ehitamisel määratakse kõigepealt välisringi keskpunkt. Selleks on vaja antud küljele kui alusele ehitada võrdhaarne kolmnurk tipunurgaga 45° . Vastav konstruktsioon on esitatud joonisel 93; selles leiavad kasutamist tuntud tõsiasiad, et piirdenurk on pool samale kaarele toetuvast keskurgast ja et diameetrile toetuv piirdenurk on täisnurk.

Korrapärase kümnenurga külg on välisringjoone raadiuse pikem kuldlõikeline osa. Konstruktsiooniga joonisel 52 saadakse välisringi raadius ja selle kaudu kümnenurga keskpunkt (joon. 94).

Seitsenurga ja üheksanurga joonestamist antud külje järgi vaevalt küll praktikas esineb; seepärast jätame siin ka vastavad konstruktsioonid esitamata. Nende kohta võiks öelda vaid niipalju, et seitsenurga konstruktsioon laseb end hõlpsasti teostada joonisel 86 selgitatud lähenduskonstruktsiooni tagurpidi rakendades; üheksanurgaga on aga asi märksa keerulisem.

Harjutusülesanne.

Konstrueerida korrapärase kõõluksteistnurga küljepikkus järgmiselt. Ringjoone sirgestamise lähenduskonstruktsiooniga (§ 27, art. 1) sirgestada antud ringjoone pool; jaotada saadud lõik 11-ks võrdseks osaks (§ 21, ülesanne 6); kahe osa pikkune lõik „mähkida“ ringjoone kaareks kaare sirgestamise lähenduskonstruktsiooniga (§ 27, art. 2).

Kirjeldatud viisil saab ringjoont jaotada mistahes (10-st suuremaks) täisarvuliseks võrdseks osaks.

§ 35. Korrapärased tähthulknurgad.

Kui korrapärase hulknurga külgede arv on 5 või suurem kui 5, siis saab tema diagonaalidest koostada vähemalt ühe tähthulknurga. Tähthulknurga külgedeks sobivad ainult need diagonaalid, mis ei läbi keskpunkti.

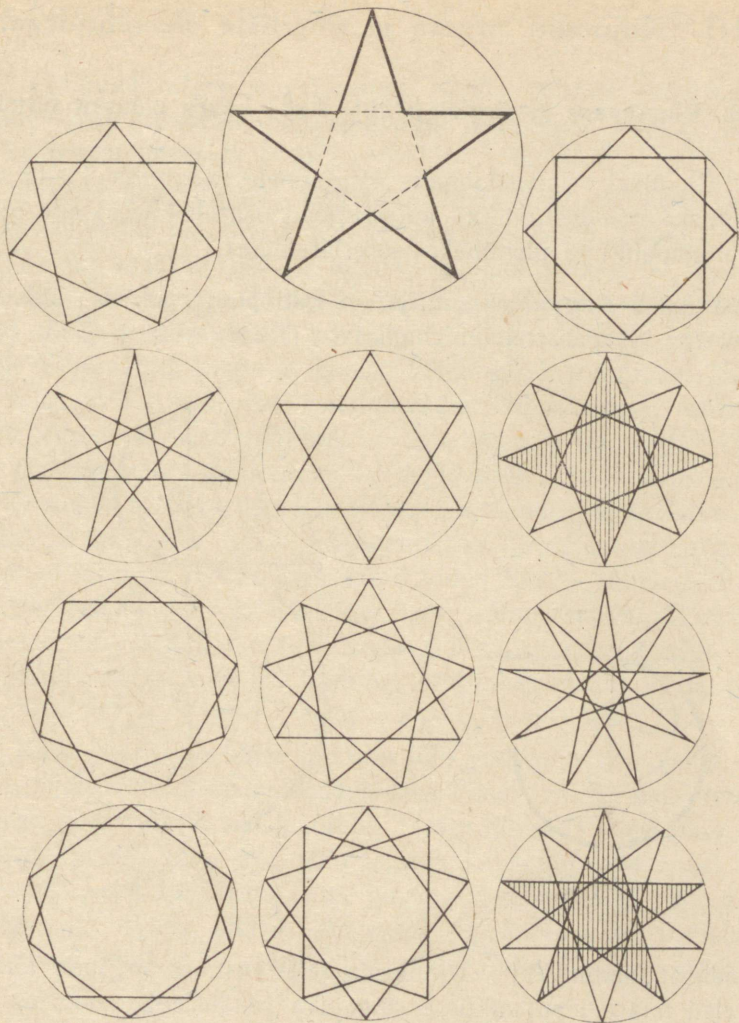
Korrapärase viisnurga diagonaalid moodustavad tähtviisnurga ehk pentagrammi. Pentagrammist on tuletatud nõukogude võimu hästituntud sümbol — viisnurkne täht (joon. 96).

Korrapärast tähtkuusnurka saab ka ainult ühel viisil moodustada — koosnevana kahest põimitud korrapärasest kolmnurgast (joon. 99); teda nimetatakse ka heksagrammiks.

Tähtseitsenurki on kahte liiki (joonised 95 ja 98), samuti tähtkaheksanurki (joonised 97 ja 100); viimaseist esimene koosneb kahest ruudust, teist aga võib vaadelda koosnevana kahest nelinurksest tähest (üks neist on joonisel viirutatud).

Tähtüheksanurki on kolme liiki (joonised 101—103); teine neist koosneb kolmest võrdkülgsest kolmnurgast.

Tähtkümmenurki on ka kolme liiki (joonised 104—106); esimene neist koosneb kahest viisnurgast, kolmas aga kahest pentagrammist (üks neist on joonisel viirutatud).



Joon. 95—106.

Harjutusülesanded.

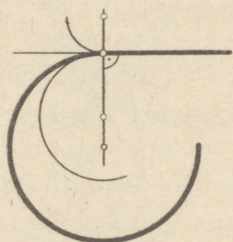
- 1) Kuimitmel eri viisil saab moodustada tähtkaksteistnurki?
- 2) Tähtkaheksanurk joonisel 100 sisaldab ka joonisel 97 esinevat tähtkaheksanurka. Kus nimelt?

III. Kujundid sirgete ja ringiliste elementidega.

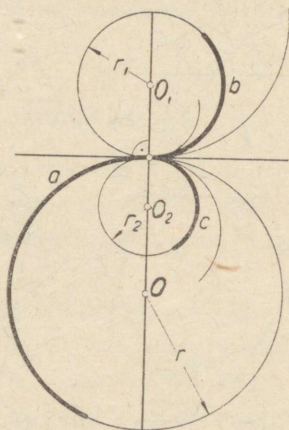
§ 36. Ringikaare ja sirglõigu ning kahe kaare ladusalt liitmine.

1. Üleminek kõverjoonelt sirgjoonele toimub ladusalt (s. t. nurka moodustamata), kui sirgjoon osutub kõverjoone puutujaks puutepunktiga ülemineku- ehk liitekohas.

Teatavasti ringjoone puutuja on risti puutepunktisse suunduva raadiusega. Seepärast tuleb ringikaare jätkamisel sirgega — soovi-



Joon. 107.



Joon. 108.

des ladusalt üleminekut — hoolitseda selle eest, et sirgjoon tõmmataks risti kaare lõpupunktisse suunduva raadiusega; soovides aga sirglõiku ladusalt jätkata ringikaarega, tuleb valida kaare keskpunkt lõigu lõpupunkti läbivalt ristsirgelt (joon. 107).

Märkame, et antud liitekoha puhul leidub üksainus sirge, mille lõigud saavad antud kaart ladusalt jätkata, aga leidub lõpmata palju ringjooni, mille kaared saavad antud sirglõiku ladusalt jätkata. Seepärast peab antud lõigu jätkamisel kaarega teadma ka

kaare raadiust ja veel sedagi, kummale poole sirgest kaar kõverdub.

2. Üleminek ühelt kõverjoonelt teisele toimub ladusalt, kui ühe kõvera puutuja (puutepunktiga liitekohas) osutub puutujaks ka teisele kõverale.

Selgub, et kahe erineva ringikaare kokkuliide on ladus ainult siis, kui liitekoht on kaarte keskpunkte ühendaval sirgel. Antud kaart a saab ladusalt jätkata lõpmata paljude erinevate kaartega (joon. 108). Jooniselt nähtub ka, et ladusalt ühendatud ringikaared võivad olla kas samapidiselt kõverdunud (nagu a ja c) või vastupidiselt kõverdunud (nagu a ja b). Esimesel juhtumil on kaared pärit niisugustest teineteist puudutavatest ringjoontest, milledest üks on teise sees; teisel juhtumil on aga tegemist teineteist väljastpoolt puudutavate ringjoontega. Vastupidiselt kõverdunud kaarte liitmisel saadavat kõverikku on hakatud nimetama **käänakuks** (ehk kurviks) ja liitekohta tema **käänupunktiks**. Eristamise otstarbel nimetame edaspidi samapidiselt kõverdunud kaarte liitmisel saadavat kõverikku **loogaks** ja liitekohta tema **sõlmpunktiks**. Märkame, et liidetud kaarte keskpunkte ühendava lõigu pikkuseks tuleb käänanaku puhul kaarte raadiuste summa, aga looga puhul kaarte raadiuste vahe: $OO_1 = r + r_1$; $OO_2 = r - r_2$ (joon. 108).

3. Kahe ringjoone ühise puutuja lõik puutepunktide vahel osutub sirgjooneks ladusaks ühendusteeks ühelt ringjoonelt teisele. Vastavad konstruktsioonid leiduvad paragrahvis 24 (ülesanne 15). Tegelikul joonestamisel aga pole tarvilik kasutada neid konstruktsioone, sest kahe ringjoone ühise puutuja tõmbamiseks võib joonlaua otsekohe seada lihtsalt ringjooni puudutavasse asendisse; puutepunktid leitakse siis tõmmatud puutuja ristraadiuste abil.

§ 37. Nurkade ümardamine.

1. Enamik tehnilisi detaile ei ole teravate, vaid ümardatud kantidega; nende joonestamisel on vaja osata nurkasid ümardada, s. t. nurgahaarasid ladusalt ühendada ringikaarega. Selleks vajalikud võtted tuletame järgmise konstruktsioonülesande abil.

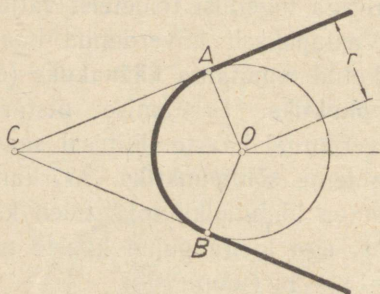
Konstrueerida ringjoon, mis puudutab antud nurga haarasid, kui teada on veel kas

(I) ringjoone raadius r või

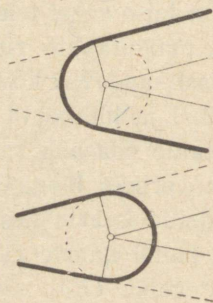
(II) puutepunkt ühel nurga haaral.

Mõlemal juhtumil otsitakse ringjoone keskpunkti O ; see asetseb ilmselt antud nurga poolitajal.

Antud raadiuse r puhul juhatab kätte punkti O õige asukoha nurga poolitajal ühe haaraga paralleelne sirge, haarast raadiuse kaugusel (joon. 109; kui puudub võimalus kasutada rööplüket, siis sobib siin paralleeli tõmbamisel kasutada joonisel 62 näidatud võtet). Puutepunktid A ja B leitakse tõmmates keskpunktist O rist-sirged nurga haaradele; nad jäävad nurga tipust C ühekaugusele.



Joon. 109.



Joon. 110.

Kui ringjoone raadiuse asemel on teada üks puutepunkt (A või B joonisel 109), siis sellest tõmmatud ristsirge haarale lõikab nurga-poolitajat ringjoone otsitavas keskpunktis O .

Juhtumil, kus nurga tipp C jääb väljapoole jooniselehe piirkonda, kasutatakse keskpunkti määramisel antud r puhul nurga-poolitaja asemel ka teise haara paralleeli kaugusel r . Nii on see tehtud joonisel 110, mis näitab kirjeldatud konstruktsiooni rakendamist antud nurga puhul, vastavalt kahele erinevale eesmärgile.

2. Täisnurga ümardamist saab teostada üldisest konstruktsioonist märksa lihtsamalt selle tõttu, et sel puhul nurga tipp C ja kaare keskpunkt O koos puutepunktidega A ja B moodustavad ruudu, mille külje pikkus võrdub kaare raadiusega (joon. 111).

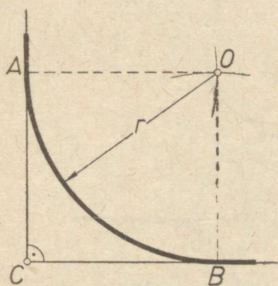
§ 38. Sirgjoone ja ringjoone ladus ühendamine ringikaarega.

Antud sirgjoone ja ringjoone vahelise ladusa ühenduskaare joonestamise võtted saadakse järgmisest konstruktsioonülesandest.

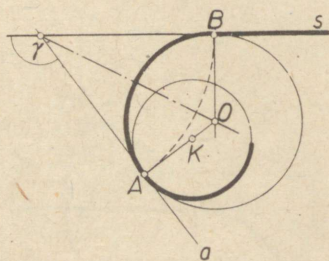
Konstrueerida ringjoon, mis puudutab antud ringjoont (keskpunkt K) ning antud sirgjoont s , kui teada on veel kas

- (I) puutepunkt A antud ringjoonel,
- (II) puutepunkt B antud sirgjoonel või
- (III) otsitava ringjoone raadius r .

Esimene juhtum taandub eelmises paragrahvis käsitletud ülesandele, kui asendame antud ringjoone tema puutujaga a punktist A (joon. 112; punkt O on otsitava ringjoone keskpunkt). Jäme-



Joon. 111.



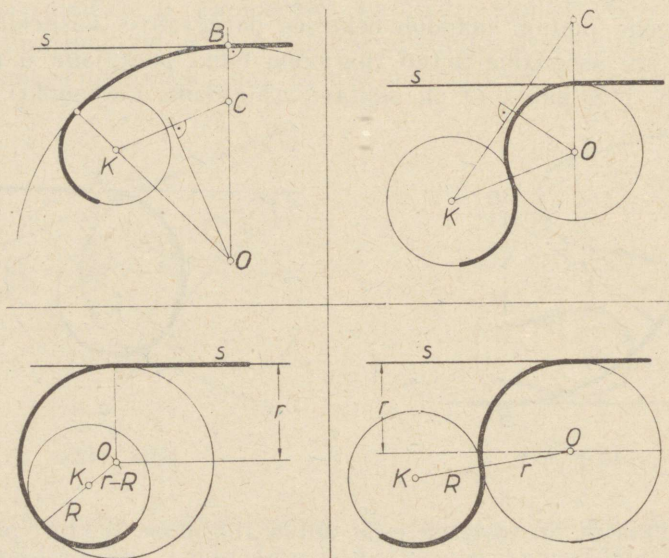
Joon. 112.

dama joonega on tõstetud esile antud ringjoone kaare ja antud sirgjoone lõigu ladus ühendus leitud ringjoone (keskpunkt O) kaarega AB . Olgu tähelepanu juhitud ka sellele, et otsitava ringjoone oleks võinud konstrueerida ka sirgete s ja a vahelisse nürinurka γ ; sel korral oleks liidetavaist kaartest tekkinud kurv käänupunktiga A .

Teisel juhtumil, kus antud on puutepunkt B sirgjoonel s , tõmbame viimasele punktist B ristsirge ja kanname sellele antud ringjoone raadiuse pikkuse lõigu BC (joon. 113). Niisugusel juhul lõigu KC keskristsirge lõikab sirget BC just otsitavas keskpunktis O . Punkti C võib paigutada antud sirgest ükskõik kummale poole, sest kumbki asukoht annab ülesandele sobiva lahenduse: ühel juh-

tumil kaared liituvad loogaks (joon. 113), teisel juhtumil aga käänakuks (joon. 114).

Kolmandal juhtumil, kus on teada otsitava ringjoone raadius r , tuleb tõmmata antud sirgele paralleel kaugusel r ja samal pool, kus asetseb antud ringjoone keskpunkt K (joon. 115). Antud ringjoone raadius olgu R . Ümber keskpunkti K raadiusega $r - R$ (või raadiusega $r + R$) kaart üle esmaltjoonestatud paralleeli tõmmates

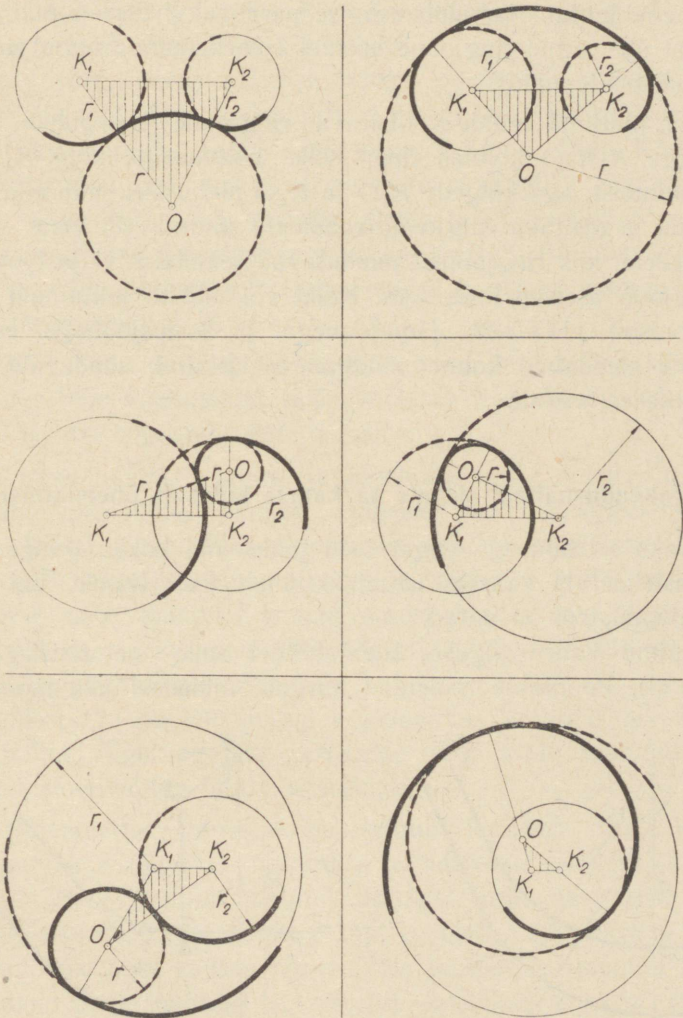


Joon. 113—116.

saadaksegi otsitava ringjoone keskpunkt O . Sõltuvalt andmeist võib üks või teine lahendusvariant puududa; ülesanne võib aga osutada ka täiesti lahendamatuks (mis tingimusel?). Joonise 115 andmeil esineb ka see lahendusvariant, kus otsitava ringjoone keskpunkt O saadakse kasutades raadiuste summat $r + R$ (joon. 116). Ühes variandis kaared liituvad loogaks, teises variandis käänakuks.

§ 39. Kahe ringjoone ladusalt ühendamine ringikaarega.

Kahe antud ringjoone vahelise ladusa ühenduskaare joonestamise võtted annab järgmine konstruktsioonülesanne.



Joon. 117—122.

Konstrueerida kaht antud ringjoont (raadiused r_1 ja r_2 ; keskpunktid K_1 ja K_2) puudutav kolmas ringjoon, kui on teada veel

- (I) puutepunkt ühel või teisel antud ringjoonel ja
- (II) otsitava ringjoone raadius r .

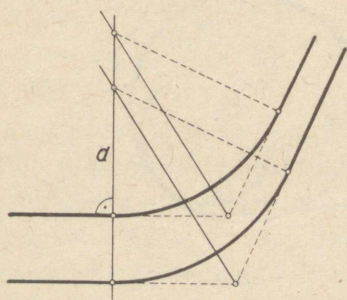
Esimene juhtum taandub eelmise paragrahvi ülesande II juhtumile, sest ühe antud ringjoone asemel võib kasutada tema puutujat läbi antud puutepunkti.

Teisel juhtumil leitakse otsitava ringjoone keskpunkt O kui kolmnurga K_1K_2O kolmas tipp; selle kolmnurga külg K_1K_2 on teada andmeist, aga külgede K_1O ja K_2O pikkuseks saab olla ainult kas antud ja otsitava ringjoone raadiuste summa või vahe — vastavalt sellele, kas ringjooned puudutavad teineteist väljastpoolt või üks ringjoon asetseb teise sees. Kõiki võimalikke juhtumeid näitavad joonised 117—122; jämejoonega ja kriipsjoonega esitatud kõverikud esindavad kolme ringikaare liitmisel saadavaid kõiki võimalikke eri vorme.

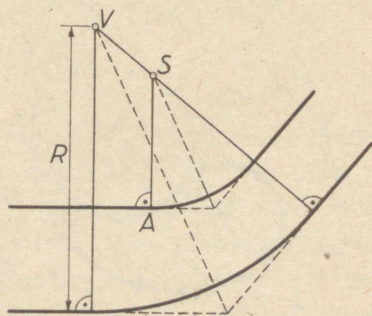
§ 40. Rakendusnäiteid sirgete ja kaarte ladusalt ühendamise alalt.

1) Kaks eri laiusega sirget teed jooksevad kokku mingi nurga all. Konstrueerida kaarjas üleminek ühelt teelt teisele, kui kaare algus laiemal teel on antud.

Märgime kaare alguse laiemal teel selle tee ristsirgega a (joon. 123). Poolitame mõlemad nurgad, milledest üks moodustub



Joon. 123.



Joon. 124.

teede välisservadest ja teine siseservadest; nurgapoolitajad lõikavad sirget a määratavate kaarte keskpunktides.

2) Kaks eri laiusega sirget teed jooksevad kokku mingi nurga all. Konstrueerida kaarjas üleminek ühelt teelt teisele, kui on antud kaarja osa välimine raadius R ja kaarjas üleminek peab algama kitsama tee mõlemal äärel kohastikku.

Teede välisservade vahelise nurga poolitajal märgime välisservade ühenduskaare keskpunkti V nii, et tema kaugus laiema tee välisservast võrduks antud raadiusega R (joon. 124). Kaarja osa alguse kitsamal teel leiame sellele teele punktist V ristsirget tõmmates; teede siseservade vahelise nurga poolitaja lõikab seda ristsirget siseservade ühenduskaare keskpunktis S . Punktis S laiemale teele ristsirget tõmmates leiame sisemise kaare ja laiema tee siseserva ühenduspunkti A .

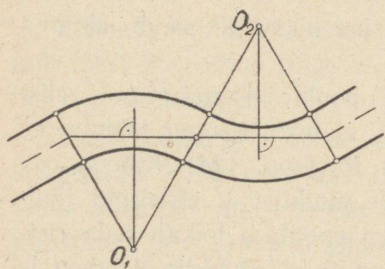
3) Ühendada paralleelsed ja ühelaiused sirged teed käänakuga nii, et tee telje käänpunkt jääks mõlema tee teljest võrdsele kaugusele. Kaarte algused valida vabalt.

Märgime käänaku algus- ja lõpukoha teede ristsirgete abil ja ühendame sirglõiguga punktid, milledes need ristsirged lõikavad teede telgesid (joon. 125). Poolitame saadud sirglõigu (poolituspunkt jääb tee telje käänpunktiks) ja tõmbame tema poolte keskristirged; need lõikavad kaarte alguskohtades teedale tõmmatud ristsirgeid kaarte keskpunktides O_1 ja O_2 . Tee äärkurvide käänpunktid leiduvad sirgel O_1O_2 .

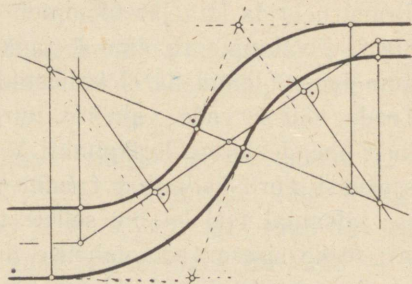
Joonisel 126 on lahendatud analoogiline ülesanne eri laiusega teede puhul. Olgu lugejale soovitatud oma jõudu proovida nende konstruktsioonivõtete lahtimõtestamisega.

4) **Rihmaratta** joonestamine selgub jooniselt 127. Välimine ringjoon (raadiusega r) jaotatakse võrdseteks osadeks vastavalt kodarate arvule, antud juhtumil neljaks; olgu üks neist jaotuspunktidest A . Leitakse punkt K nii, et $OK = AK = 0,6r$. Sirgele KA kantakse pool kodara soovitatavast laiusest a (joonisel $BC = a$), kummalegi poole punktist A ; niiviisi saadakse punktid B ja C , milledest kodara välimine ja sisemine kaar läbi lähevad. Nende kaarte keskpunktid võetakse sihil AK järgmiselt: punktist K lõigu

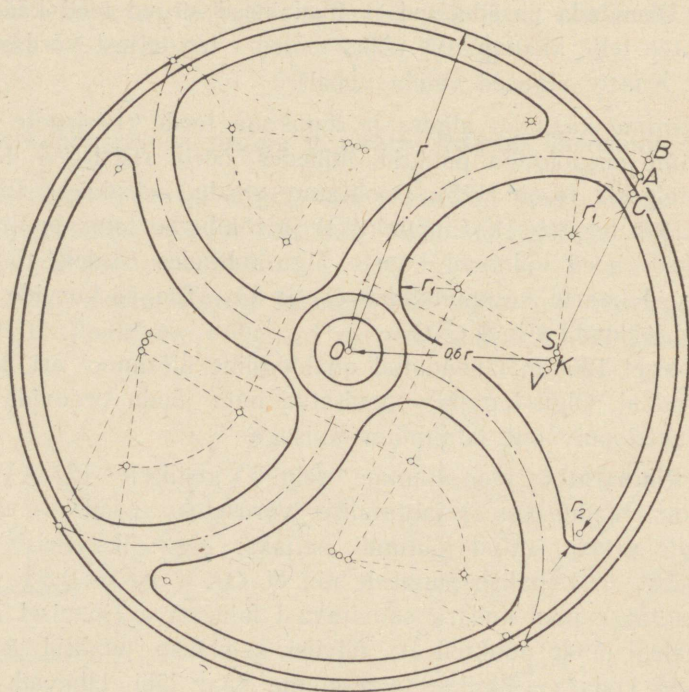
$\frac{a}{4}$ võrra punkti A poole sisemise kaare keskpunkt S ja niisama palju teisele poole välimise kaare keskpunkt V. Tekkivad nurgad



Joon. 125.

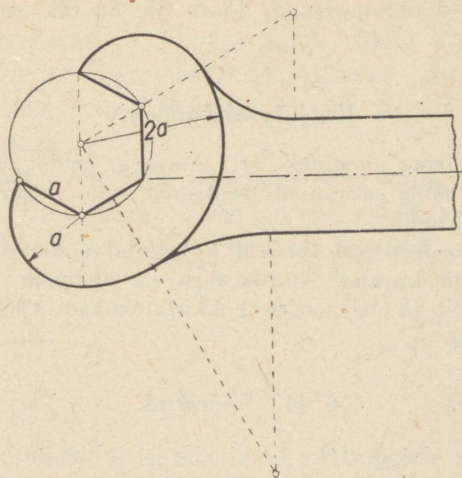


Joon. 126.

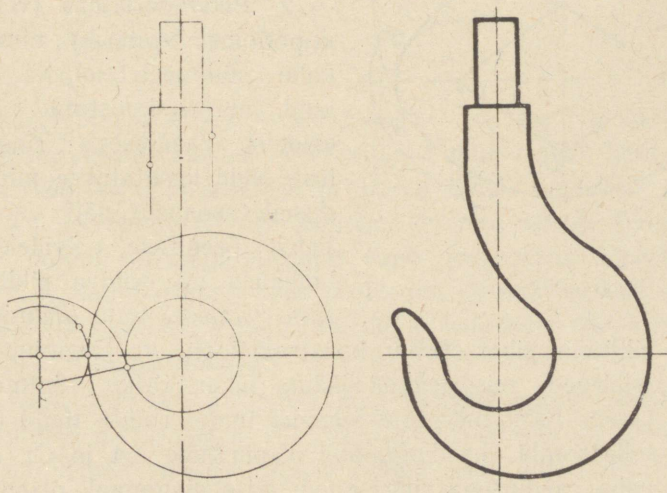


Joon. 127.

kaarte vahel ümardatakse § 41 näidatud võtetega, kasutades sobivalt valitud raadiusi r_1 ja r_2 .



Joon. 128



Joon. 129.

5) **Mutrivõtme pea** joonestamisel lähtutakse korrapärasest kuusnurgast küljega a ja joonestatakse kõik vajalikud kaared, kasutades raadiusi pikkusega a , $2a$ ja üle $2a$ nii, nagu nähtub jooniselt 128.

Harjutusülesanded.

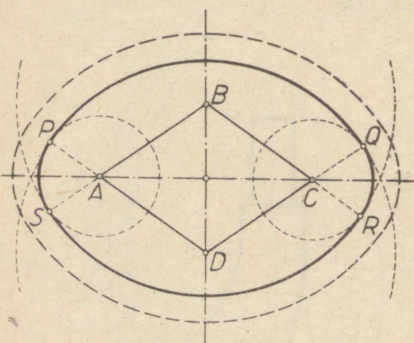
1) Ehitada kaarjas üleminek eri laiusega teede vahele, kui teed jooksevad kokku mingi nurga all ja kaarja osa sisemine ja välimine raadius on ette antud.

2) Lähtudes joonisel 129 vasakul kujutatud andmeist tuletada paremal esinev konksu kujutis. Nullikestega on andmete juures märgitud kaarte keskpunktid ja eri-joonte kokkuliitekohad. Üleminekud peavad olema ladusad.

§ 41. Sõõrikud.

1. Nimetame **sõõrikuteks** kõiki kinnisi kõverjooni, mis on koostatud ladusalt liidetud ringikaartest ja omavad vähemalt ühte sümmeetriatelge. Praktilist väärtust evivad neist ainult pikersõõrikud ja munasõõrikud.

2. **Pikersõõrikuiks** (vene k. коробовые кривые) nimetame kahe sümmeetriateljega sõõrikuid, mis on koostatud kahe erineva raadiusega ringikaartest. Neid kasutatakse mitmesuguseile esemeile, näit. vannipõhjadele, peeglitele, võlvidele, aהללülidele jm. sobiva piklikümariku (ovaalse) kuju andmiseks.



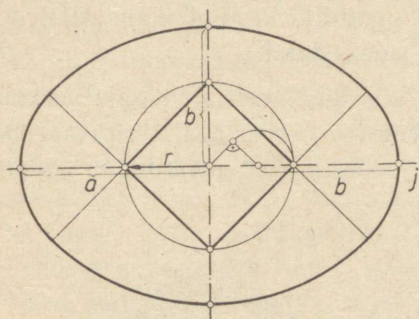
Joon. 150.

Kõige üldisem pikersõõriku konstruktsioon on järgmine. Joonestame ristsirged, mis peavad jääma pikersõõriku sümmeetriatelgedeks (joon. 130); märgime telgedel mingi rombi tipud (A , B , C ja D); selle rombi ühe diagonaali otspunktide (A ja C) ümber tõmbame vaba raadiusega ringjooned; teise diagonaali otspunktide (B ja D) ümber tõmbame ringjooned raadiusega, mille pikkus võr-

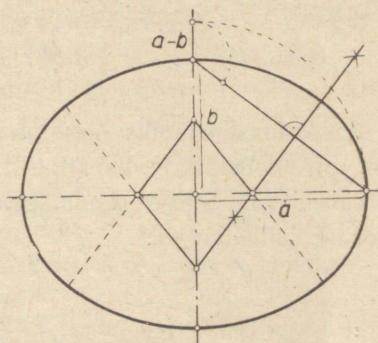
dub eelmise raadiuse ja rombi külje summaga. Ringide kokku-
puutepunktid (P , Q , R ja S) jäävad seega ühe pikersõõriku kaarte
liitekohtadeks.

On märkimisväärne, et ühe ja sama rombi alusel joonestatud
pikersõõrikute vahele jääv riba on konstantse laiuusega; tõesti —
ühte raadiust muutes muutub samavõrra ka teine (joon. 130, piker-
sõõrik kriipsjoonega).

Kui pikersõõriku ühe telje pikkus on ette antud, siis koos rombi
joonestamisega saavad ka mõlemad erinevad raadiused endale
juba kindla pikkuse ja neile vastavalt kujuneb ka pikersõõriku



Joon. 131.



Joon. 132.

teise telje pikkus. Niisiis — sel juhul ei saa enam esmaltjoonesta-
tavate ringjoonte raadiusi võtta vabalt; muidu jääb kõik endiseks.

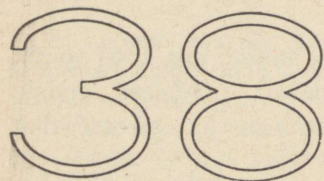
Pikersõõriku joonestamise probleem läheb tunduvalt keerulise-
maks, kui mõlemate telgede pikkused on ette antud. Matemaatiline
arutus näitab, et selgi juhtumil saab joonestada lõpmata palju
erikujulisi pikersõõrikuid. Selle probleemi teoreetilise osa keerulisus
ei luba seda siinkohal esitada. Piirdume vaid kahe lihtsa erijuhulise
konstruktsiooni näitamisega.

(I) Olgu soovitava pikersõõriku poolteljed antud lõikudena a ja
 b , kusjuures $a > b$ (joon. 131). Vastava pikersõõriku joonestamisel
sobib vajalikuks rombiuks muude hulgas ka ruut, mille pooldiagno-

naali pikkus $r = (1 + \frac{\sqrt{2}}{2})(a - b) \approx 1,7(a - b)$. Täppiskonstrukt-

sioon suuruse r leidmiseks on järgmine: ehitatakse võrdhaarne täisnurkne kolmnurk hüpotenuusiga $a - b$ ja liidetakse hüpotenuusile selle kolmnurga kaatet.

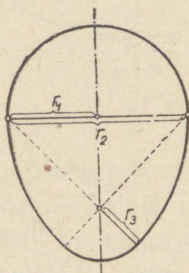
(II) Sobiva rombi võime saada ka järgmiselt. Ühendame erinevate telgede mingid otspunktid ja lahutame saadud lõigust, lühema telje otspunktist alates, pooltelgede vahe $a - b$; ülejäänud lõigu keskristsirge lõikab siis telgi sobiva rombi tippudes (joon. 132).



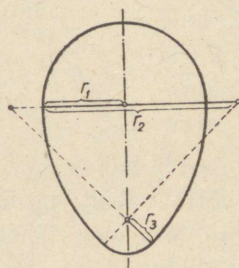
Joon. 135.

Pikersõõrikute joonestamise harjutamiseks sobib kasutada joonisel 133 esinevaid numbrite kujusid (kaks kuni neli korda suurendatult).

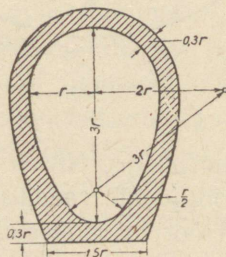
3. **Munasõõrikuiks** nimetame ühe sümmeetriateljega sõõrikuid, mis on koostatud kolme erineva raadiusega ringikaartest; pikkuselt vahepealse raadiusega joonestatakse poolringina munaõõriku jämedam ots.



Joon. 134.



Joon. 135.



Joon. 136.

Joonistel 134 ja 135 on esitatud kaks näidet munasõõriku joonestamises; märkame, et raadiuse r_2 suurendamine muudab munaõõriku piklikumaks.

Munasõõrik leiab rakendamist näiteks kanalisatsioonitorude juures (joon. 136).

§ 42. Karniisid, võlvid ja rosetid.

1. **Karniisiks** nimetatakse ehitise liistukujulist osa, mille otsarbeks on peamiselt ehitise kaunistamine. Karniisi ristlõige koostatakse tavaliselt ringikaartest ja niiviisi, et see sisaldaks muuseas ka üht käänakut. Karniiside konstruktsioonid on üldiselt meelevaldsed. Joonistel 137—142 võib näha mitmesuguseid karniisi tüüpe.

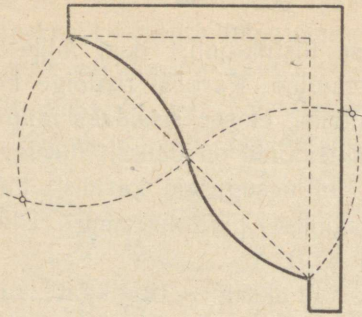
2. **Võlve** liigitatakse nende ajaloolise päritolu ning ristlõike (ehk võlvikaare) geomeetrilise kuju järgi.

Kõige tavalisemaks võlvikaareks on üksainus ringikaar; vastavaid võlve nimetatakse **silindervõlvideks**. Kui silindervõlvi kaareks on poolring, siis nimetatakse teda **aamvõlviks** ehk — tema ajaloolise päritolu järgi — **romaani võlviks** (joon. 143). Üht kombineeritud romaani võlvi kujutab joon. 147; ülemise väikese ringi raadius on seal $\frac{2}{3}$ alumiste poolringide raadiusest. Kui silindervõlvi kaar on poolringist lühem või pikem, siis nimetatakse teda **segmentvõlviks**. Poolringist lühema kaarega segmentvõlvi nimetatakse **lamevõlviks** (joon. 145), poolringist pikema kaarega — **hoburaudvõlviks** (joon. 144). Segmentvõlvid ei liitu seintega ladusalt, vaid moodustavad seintega nurki.

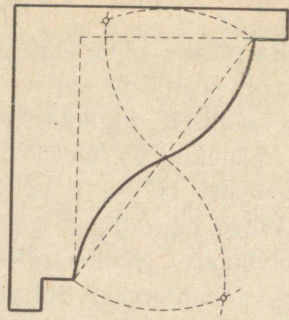
Kui soovitakse võlvi, mis on aamvõlvist lamedam, aga liitub seinaga ladusalt, siis võiks kasutada võlvikaarena ellipsi poolt (ellipsi kuju vaata joonistel §-s 45). Et aga ellipsi korralikult väljajoonestamine, samuti täpse nn. **ellipsvõlvi** ehitamine osutub üsna tülikaks tööks, siis praktikas asendatakse ellipsid väga sageli pikersõõrikutega, millede joonestamine toimub hõlpsasti ringikaarte abil (§ 41, art. 2). Pikersõõriku-kujulise kaarega võlvi nimetatakse **korvvõlviks** (joon. 148, võrdle joonisega 132).

Eri tüübi lamedaid võlve moodustavad võlvid nurgaga laes; need, nn. **normandia võlvid**, esinesid inglise gooti stiilis eriti Tudor'ite dünastia ajal (16. sajandil), kust pärineb nende tavaline nimetus — **tjuudori võlvid**. Nende konstruktsioon ringikaarte abil võib olla väga mitmesugune; ühte neist näitab joonis 146.

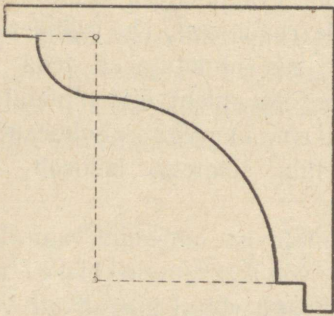
Kui võlvikaared sisaldavad ka käänakuid, siis on tegemist nn. **karniisvõlvidega**; päritolu järgi nimetatakse neid ka **pärsia võlvideks**. Nende **harilikuks** tüübiks on säärane, mille konstrukt-



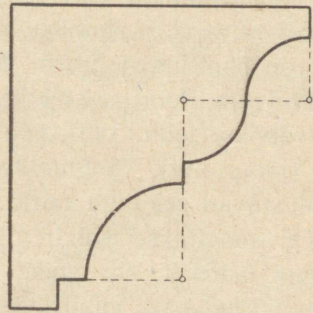
Joon. 137.



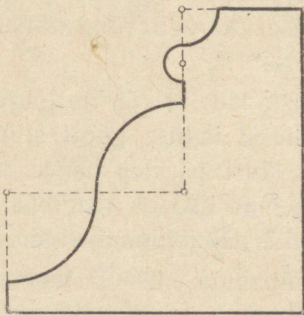
Joon. 138.



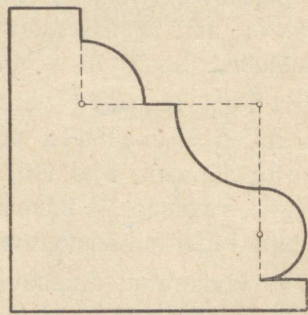
Joon. 139.



Joon. 140.

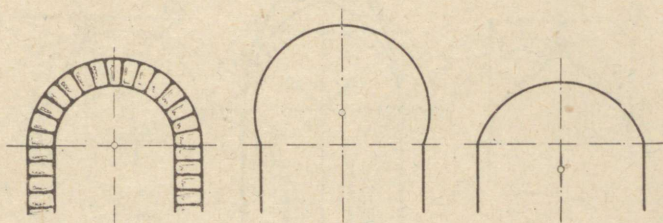


Joon. 141.



Joon. 142.

siooni näitab joonis 149. Karniisvõlvi kõrgendatud tüübi joonestamist selgitab joonis 151. Etteantud laiusega ja kõrgusega karniisvõlvi joonestamine algab võrdhaarsest kolmnurgast ABC , mille alusel AB valitakse vabalt, kuid püsttelje suhtes sümmeetriliselt punktid K_1 ja K_2 , mis jäävad kaarte alumiste osade keskpunktideks. Nende ümber tõmmatakse kaared kuni lähtekolmnurga haardeni. Ühendades niiviisi saadud punktid keskpunktidega K_1 ja K_2 , saadakse võlvi alusjoone paralleelil punktid K_3 ja K_4 , mis jäävad keskpunktideks võlvi ülemise osa kaartele. Samal viisil saab joonestada ka lamendatud karniisvõlvi; sel korral tuleks aga keskpunkti K_1 kasutada vasaku ja keskpunkti K_2 parema alumise kaare joonestamiseks.



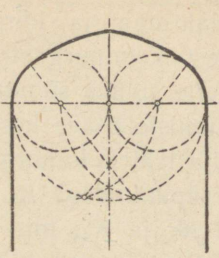
Joon. 145.

Joon. 144.

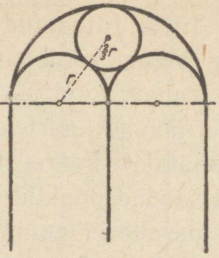
Joon. 145.

Omaette rühma moodustavad **gooti võlvid**. Nende hariliku tüübi juures tõmmatakse kaared ümber võlvi aluslõigu otspunktide raadiusega, mis võrdub võlvi laiusega (joon. 152—154). Kõrgendatud või lamendatud gooti võlve joonestatakse harilikult konstruktsioonidega, mis leiduvad joonisel 150.

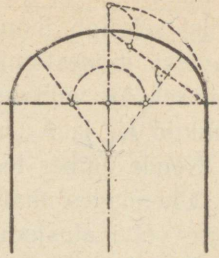
3. **Rosett** tähendab ringi või selle mingi osa sisse kujundatud õietaolist kaunistust. Mitmesuguse huvitava kujundusega rosette sisaldavad harilikult gooti stiilis akende võlvialused. Mõningaid rosettide paigutusi gooti akendel ja vastavaid konstruktsioone näitavad joonised 152 ja 154. Võlvikaari puudutava ringjoone raadius on seal $\frac{1}{4}$ võlvi laiust ja selle keskpunkt O leitakse tõmmates võlvi aluslõigu otspunktide ümber kaari raadiusega $\frac{3}{4}$ võlvi laiust. Joonisel 154 leiab see ringjoon põhijoonena kasutamist ainult osaliselt. Seal sirged AD ja BC on selle ringjoone puutujad; nende puutujate suhtes leitakse keskpunkti O sümmeetrilised paarikud K_1 ja



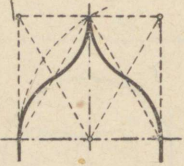
Joon. 146.



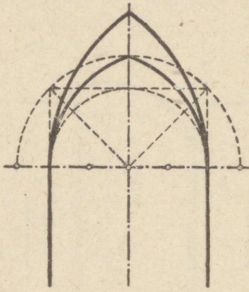
Joon. 147.



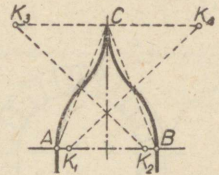
Joon. 148.



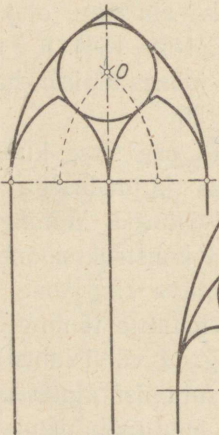
Joon. 149.



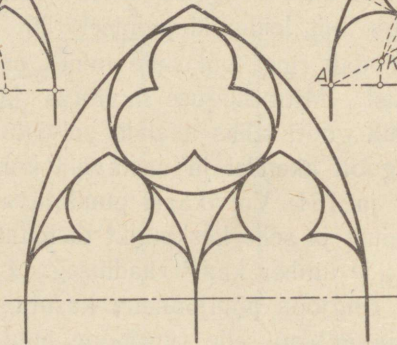
Joon. 150.



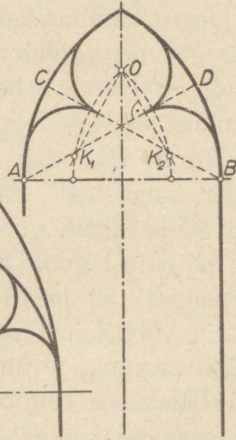
Joon. 151.



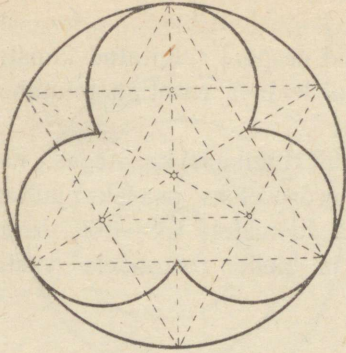
Joon. 152.



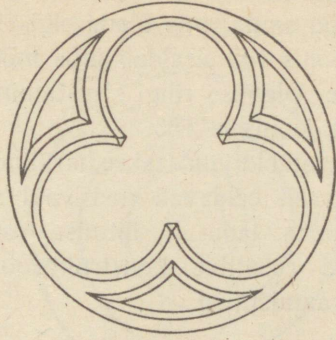
Joon. 153.



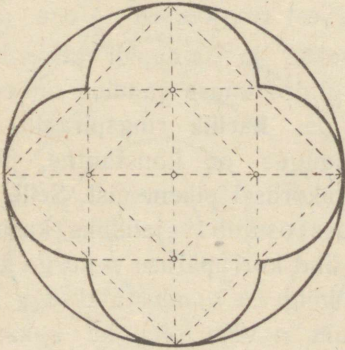
Joon. 154.



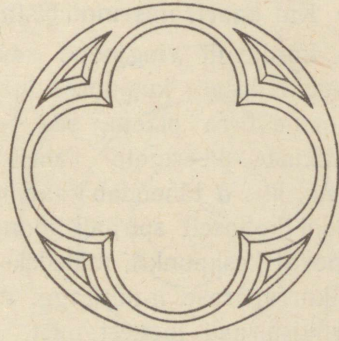
Joon. 155.



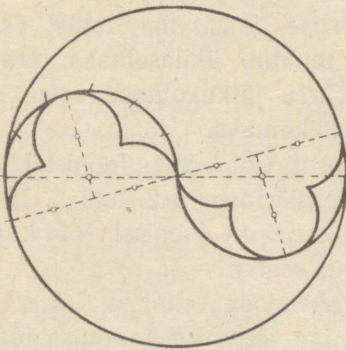
Joon. 156.



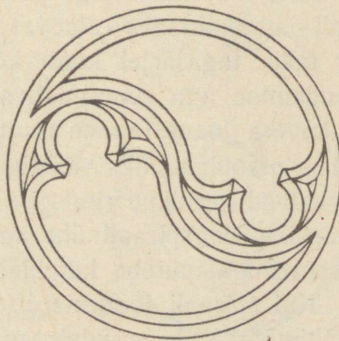
Joon. 157.



Joon. 158.



Joon. 159.



Joon. 160.

K_2 , mis jäävad keskpunktideks alumistele kaartele; viimaste raadius on sama, mis ülemiselgi ringil, s. o. $\frac{1}{4} AB$.

Joonis 153 sisaldab juba mõlemaid eespool selgitatud konstruktsioone. Ülemise ringi sisustamine seal leiduva rosetiga toimub vastavalt joonisele 155.

Rosetid kujundatakse harilikult ainult ringikaari kasutades. Konstruktiiivselt eeldavad nad vaid ringi võrdseteks osadeks jaotamise ja kaarte ladusalt liitmise oskust. Joonistel 155—160 leiduvad mõned rosettide konstruktsioonid ja neile rosettidele vastavad aknaraamistikud.

§ 43. Ringspiraalid.

1. Kui kaart, mis moodustab terve ringjoonest $\frac{1}{n}$ osa, jätkatakse korduvalt ringjoone samaosalise ja samapidi kõverdunud kaarega ladusalt, kusjuures iga järgmise kaare raadius on eelmisest samavõrra pikem, siis tekib nn. **harilik ringspiraal**. Selle järjestikuste keermete vaheline kaugus on konstantne, pikkusega na , kus a tähendab raadiuse igakordset pikenemist. Selle definitsiooni kohaselt spiraali joonestades osutub vajalikuks kasutada n erinevat keskpunkti, milledeks on ühe korrapärase n -nurga tipud. Selle korrapärase n -nurgaga, mille külge on a , alustataksegi hariliku ringspiraali joonestamist. Arvuks n võib olla ka kaks; sel korral hulknurga asemel esineb ainult üks lõiguke (joon. 161).

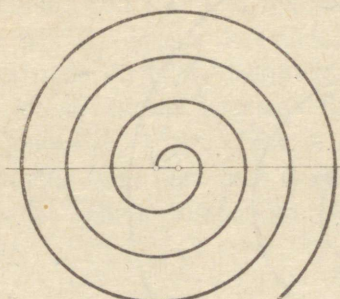
Arvu n suurendamisega ja a vähendamisega saab hariliku ringspiraali jätkukohtades esinevat kõveruse järsku muutumist vähendada, mille tagajärjel kogu kõver muutub ühtlasemaks; arvu n suurendamine aga suurendab samavõrra jätkukohtade arvu, mistõttu kõvera joonestamine muutub tülikamaks.

Arvu n sobivamaiks väärtusteks osutuvad 3 ja 4. Joonistel 161—164 leiduvad harilikud ringspiraalid n väärtustega 2 kuni 5.

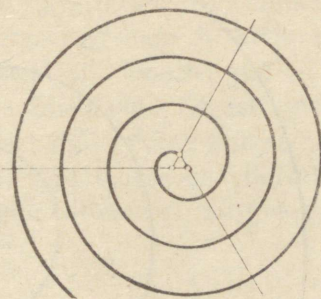
Hariliku ringspiraali ühe rakendusena on joonisel 165 kujutatud tsentrifugaalpumba kere läbilõige; seal $n = 4$.

2. Kui spiraali joonestamiseks rakendada eelmises §-s selgitatud põhimõtet selle muudatusega, et iga järgmise kaareosa tõmbamiseks pikendatakse raadiust mingi kindla suuruse võrra rohkem

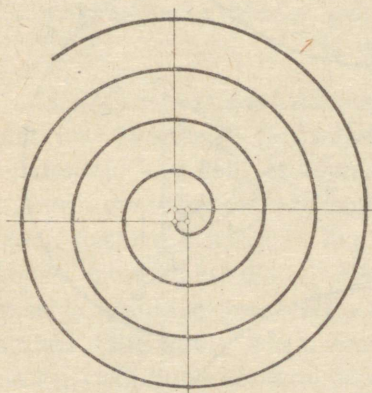
kui eelmise kaareosa juures, siis tekib nn. **tigu-ringspiraal**. Viimase oluliseks tunnuseks on selle keermete vahe pidev laienemine.



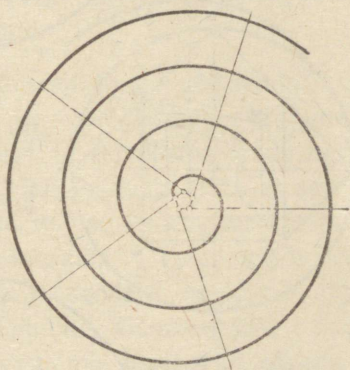
Joon. 161.



Joon. 162.

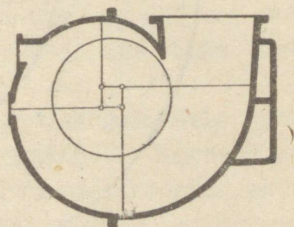


Joon. 163.

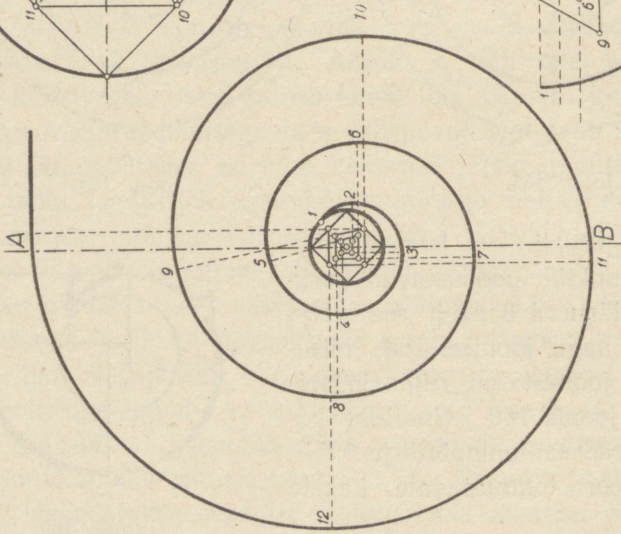


Joon. 164.

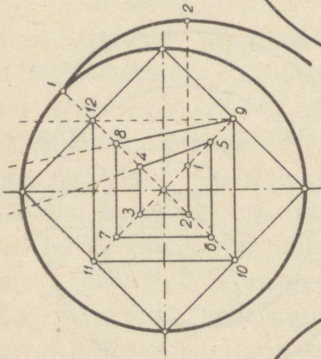
Tigu-ringspiraali joonestamisel kaarte keskpunktid moodustavad nurkspiraali; n väärtusel 3 näeb see välja niisugusena, nagu joonisel 168; niisuguse järgi joonestatud tigu-ringspiraali näitab joonis 169. Numbrid kõveral märgivad samanimbriliste keskpunktide ümber tõmmatavate kaarte algusi.



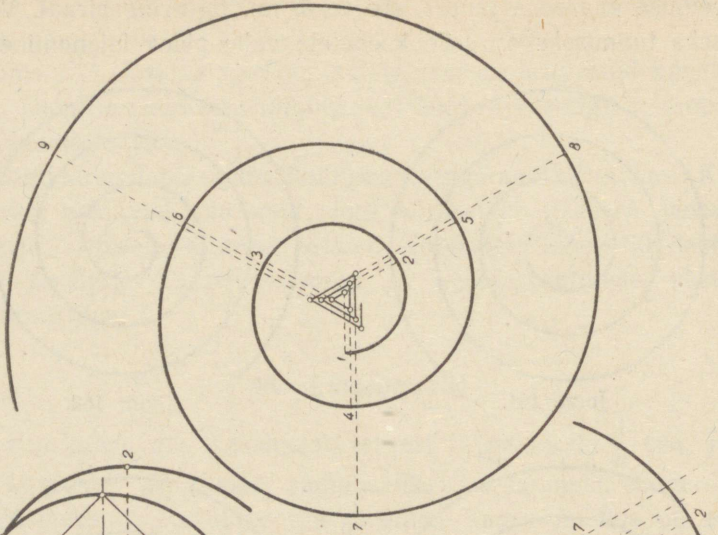
Joon. 165.



Joon. 166.



Joon. 167.



Joon. 168.

Joon. 169.

3. Konstruktsiooni poolest üldisest tigu-ringspiraalist pisut erinev on nn. **joonia tigu**. Paar joonia tiguid esineb joonia samba kapiteelis. Siin $n = 4$, seega südamiku nurkspiraal tuleb ehitada ruutude põhjal. Joonia teo südamiku konstruktsioon ja keskpunktide kasutamise järjekord selguvad jooniselt 167. Joonisel 166 on esitatud joonia samba kapiteeli üks tigu täielikult. Oigesti joonestatud joonia teo kõrgus (lõik AB joonisel 166) võrdub ligikaudu tema südamiku ringi diameetri 8-kordsega; seda teades on võimalik joonestada sobiva suurusega südamikku etteantud kõrgusega teo jaoks.

IV. Koonuslõiked.

§ 44. Lekaalkõvera mõiste. Lekaalsirkel. Kõverusringjoon, puutuja ja normaal.

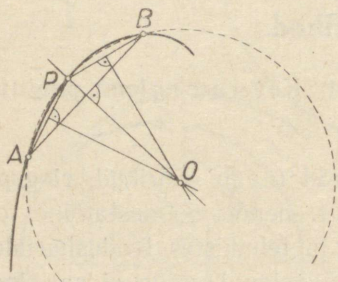
1. Eelmises peatükis käsitletud kõverad (nagu sõõrikud, ringspiraalid jm.) koosnesid ringikaartest, s. t. nende joonestamine oli võimalik **sirkli abil**. Matemaatilistes ja tehnilistes teadusharudes kohtame aga väga palju niisuguseid kõverjooni, mida ei saa joonestada hariliku sirkli abil, kuna nad ei koosne ringikaartest; neid kõveraids nimetatakse üldiselt **lekaalkõveraiks**. Geomeetrilise joonestamise ja kujutava geomeetria üheks ülesandeks on õpetada konstrueerima tähtsamate lekaalkõverate punkte. Geomeetrilise joonestamise osas piirdume konstruktsioonidega, mis tuginevad kõverjoonte definitsioonidele, kujutava geomeetria osas aga lisanduvad neile veel konstruktsioonid, mis saadakse projekteerimistoimingu vahendusel.

Küllaldasel arvul leitud punktide järgi toimub lekaalkõvera enda väljajoonestamine pliiatsis harilikult vabal käel, aga tušis kindlasti lekaali järgi.

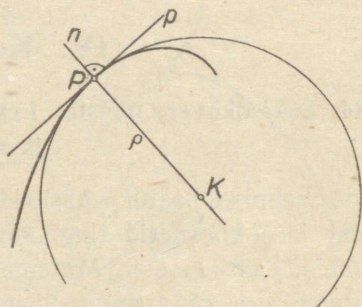
Lekaalkõverate hulgas evib erilist tähtsust **koonuslõigeteks** nimetatud rühm kõveraids: ellips, hüperbool ja parabool. Koonuslõigeteks nimetatakse neid kõveraids sellepärast, et pöördkoonilist pinda tasapinnaga lõigates saadakse lõikejoonteks neid ja ainult neid kõveraids.

2. Paljude lekaalkõverate joonestamiseks on leiutatud vastavad tehnilised seadised, mis võimaldavad kõverat joonida otsekohe pidevjoonena, samuti nagu sirkel joonib ringjoont. Sääraseid vahendeid nimetatakse **lekaalsirkliteks**. Mitmeid tähtsamaid neist kirjeldame allpool seoses vastava kõverjoone käsitleusega. Lekaalsirkleid, mida saaks edukalt kasutada pisijoonistel (nagu käesoleva õpiku joonised), pole seni veel tööstuslikult toodetud.

3. Teeme siiski katset lekaalkõvera tüki joonimiseks hariliku sirkli abil. Selleks võtame antud kõveral vabalt kaks punkti A ja B ning püüame nende vahele jäävat kõvera tükki asendada ringi-



Joon. 170.



Joon. 171.

kaarega (joonis 170). Kuhu tuleks paigutada ringjoone keskpunkt? Kindlasti peaks see asetsema kõõlu AB keskristsirgel; aga kui kaugel nimelt? Lõigaku see keskristsirge kõverat punktis P . Näib põhjendatud olevat sobivaimaks ringikaareks pidada seda, mis läbib punkte A , P ja B . See on aga kaar kolmnurga APB ümberringjoonest. Viimase keskpunkti asukoha määramiseks tuleks tõmmata veel keskristsirge vähemalt ühele kõõludest AP ja BP ; see lõikab kõõlu AB keskristsirget punktis O , mis ongi kolmnurga APB ümberringjoone keskpunkt. Vastav ringjoon aga jäljendab üsna hästi meie kõverat punkti P ümbruses. See jäljendus muutub seda paremaks, mida lähemal teineteisele võetakse lähtepunktid A ja B . Kujutleme, et punktid A ja B mööda kõverat liikudes järjest lähenevad punktile P ja nii, et kolmnurk APB jääb ikka võrdhaarseks. Siis endise mõttekäigu kohaselt leitav ringjoone keskpunkt nihkub teatavasse

kindlasse asukohta. Vastavat punkti nimetatakse antud kõverjoone punktile P vastavaks **kõveruskeskpunktiks** (K), lõiku PK — **kõverusraadiuseks** (ρ), sirget PK — **normaaliks** (n) ja normaali rist-sirget läbi P — **puutujaks** (p); ringjoon keskpunktiga K ja raadiusega ρ on **kõverusingjoon** punkti P kohal (joon. 171). Selgub, et antud puutepunkti puhul on kõveral ja vastaval kõverusingjoonel ühine puutuja.

Keerulise kujuga kõvera täpsel väljajoonestamisel on sageli kasulik teada ka puutujat punktist, millest kõver peab läbi minema, või veel parem — kõverusingjoont, sest viimane jäljendab väga hästi kõverat nende ühispunkti ümbruses. Seepärast on allpool võimaluse korral antud ka puutuja ja kõveruskeskpunkti konstruksioone, rajades neid analüütilises geomeetrias või kõrgemas matemaatikas põhjendatavaile tõsiasiadele.

§ 45. Ellips.

1. **Definitsioon:** **ellips** on tasapinnaline joon, mille igast punktist kuni tasapinna kahe kindla punktini (joone fookusteni) mõõdetud kauguste summa on konstantne.

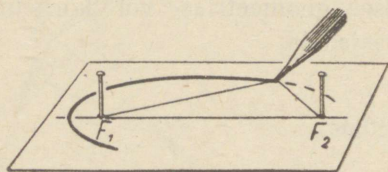
Ellipsi mehaaniliseks joonimiseks leidub lihtne nn. **niitkonstruksioon** (ehk nn. aednikuvõte). Selle teostamiseks torgatakse antud fookuste (F_1 ja F_2) kohale nõelad ja kinnitatakse nende külge niidi otsad nii, et niit kinnituskohdade vahel oleks pikem kui lõik F_1F_2 (joon. 172).

Niidi pikkus tähendagu definitsioonis nimetatud konstantset kauguste summat. Pliiatsiga niiti ükskõik mis suunas joonise pinnal pinguli tõmmates märgib pliiatsi ots ellipsi üht punkti. Pliiatsi otsa joonise pinnal niiviisi libistades, et niit jääb ikka pinguli, joonib pliiats pidevalt ellipsit.

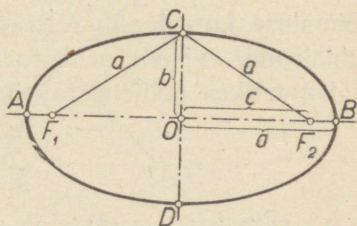
Kirjeldame ellipsit lähemalt joonise 173 põhjal. Tal on kaks sümmeetriatelge, mis lõikuvad ellipsi keskpunktis. Sümmeetriatelgede ja kõvera lõikepunktid on ellipsi haripunktid: A , B ja C , D . Haripunkte ühendav lõik AB , millel asetsevad fookused, on ellipsi pikem ehk fokaaltelg; lõik CD on lühem

telg. Ellipsi kuju ja suurus määratakse harilikult tema pooltelgede kaudu: a on pikem pooltelg ja b on lühem pooltelg. Ellipsi fookuse kaugust keskpunktist nimetatakse lineaarseks ekstsentrismiks ja teda tähistatakse tähega c .

Ellipsi niitkonstruktsiooni lähemalt uurides pole raske veenduda, et kauguste konstantne summa (niidi pikkus), millest kõneleb definitsioon, osutub ellipsi fokaaltelje pikkuseks AB ehk $2a$. Tõesti, kui pliiats pingutatud niidiga on haripunktis C , siis niit on jaotunud pooleks ja seega kumbki pool on a , s. t. pikema pooltelje pikkune. Sellest järeldub lihtne võtte antud pooltelgedega ellipsi fookuste



Joon. 172.



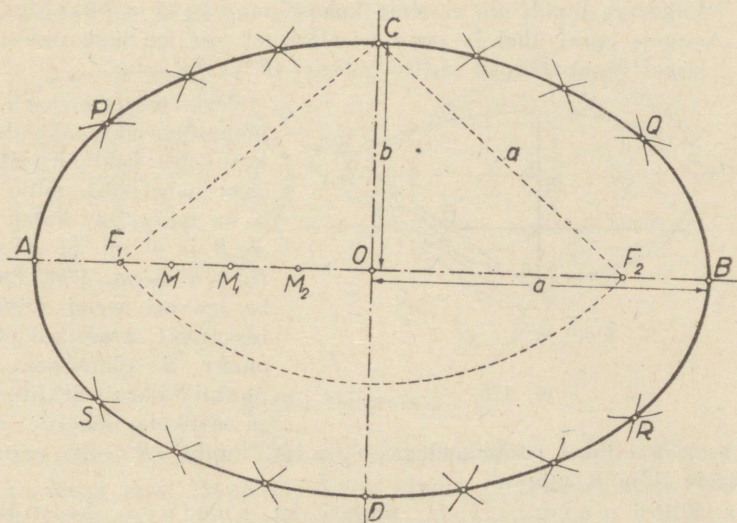
Joon. 173.

leidmiseks. Nimelt on fookuse kaugus keskpunktist ehk lineaarne ekstsentrism c kaatetiks täisnurkses kolmnurgas, mille hüpotenuusiks on pikem pooltelg a ja teiseks kaatetiks lühem pooltelg b (joon. 173).

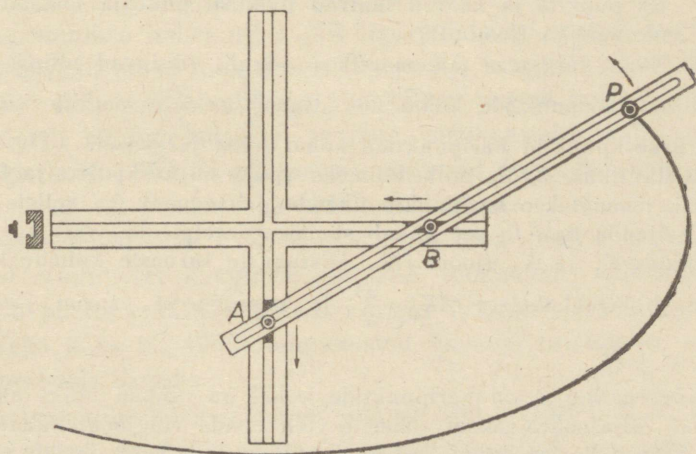
Antud niidipikkuse puhul on ellips seda ümarikum, mida väiksem on c . Kui $c = 0$, s. t. fookused on mõlemad nihkunud keskpunkti O , siis ellips muutub ringjooneks raadiusega a . Järelikult ringjoon on ellipsi eri juhtum.

2. Ellipsi joonestamisel niiti kasutamata leitakse küllaldasel arvul tema punkte ja ühendatakse need ladusalt lekaali abil. Ellipsi punktide konstrueerimise võib rajada ellipsi definitsioonile. Antud pooltelgedega a ja b järgi joonestame ellipsi teljed: $AB = 2a$ ja $CD = 2b$ (joon. 174). Raadiusega a ümber punkti C või D kaart tõmmates leiame fookused F_1 ja F_2 . Märgime lõigul F_1F_2 vabalt punkti M ja tõmbame kummagi fookuse ümber kaared raadiustega

AM ja BM; nende lõikepunktidena saame korraka kätte neli ellipsi punkti: P, Q, R ja S. Punkti M iga uus asukoht (M_1 , M_2 jne.) annab sama mõttekäiku rakendades juurde neli uut ellipsi punkti.



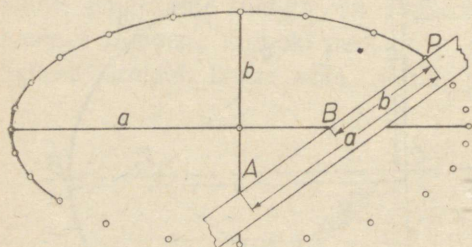
Joon. 174.



Joon. 175.

5. Ellipsi mehaaniliseks joonestamiseks on konstrueeritud väga mitmesuguseid seadiseid, nn. ellipsisirkleid või ellipsograafe. Joonis 175 kujutab üht huvitavat neist, mille põhimõtet tundis arvatavasti juba Proklus Diadochus (412–485). Selle ellipsograafi ehitus põhjeneb järgmisel teoreemil:

kui sirge liigub nii, et tema kahest punktist A ja B üks liigub rist-sirgete paari ühel ja teine teisel sirgel, siis iga muu punkt sellel sirgel liigub ellipsil pooltelgedega AP ja BP .



Joon. 176.

Seda teoreemi saab ellipsi joonestamiseks rakendada ka kasutades vaid üht sirget serva pabeririba, mille servale on märgitud kolm punkti A , B ja P nii, et $AP = a$ ja $BP = b$ (joon. 176). Pabeririba iga eri asend, mille juures punkt A asetseb püst- ja punkt B rõhtsirgel, lubab punkti P kohalt sirkliteravikuga märkida paberile punkti,

mis asetseb ellipsil pooltelgedega a ja b . Punkti P võib valida ka punktide A ja B vahel.

4. Ellipsi normaali ja ühtlasi ka puutuja konstruktsioon põhjeneb ellipsi normaali järgmisel omadusel:

normaal läbi ellipsi mingi punkti poolitab nurga, mille tipp on selles punktis ja haarad läbivad fookusi; puutuja tõmmatakse risti normaali (joon. 177).

5. Nagu kõrgemas matemaatikas selgub, võrduvad ellipsi kõverusraadiused haripunktide kohal lõikudega $\frac{a^2}{b}$ ja $\frac{b^2}{a}$; seetõttu võib ellipsi kõveruskeskpunktid haripunktide kohal leida järgmiselt.

Ristkülikus $AOBL$, mille kolmeks tipuks on keskpunkt ja kaks haripunkti, tõmmatakse haripunkte ühendav diagonaal ja sellele ristsirge läbi neljanda tipu L ; see lõikab sümmeetriatelgi otsitavais kõveruskeskpunktides K_1 ja K_2 (joon. 178). Missuguste sarnaste kolmnurkade paarist saab järeldada, et $AK_2 = \frac{a^2}{b}$, ja missugusest paarist järeldub, et

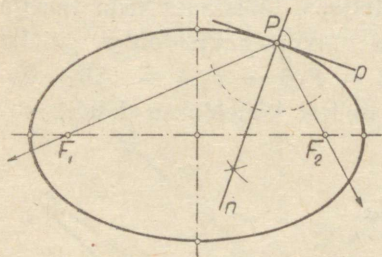
$BK_1 = \frac{b^2}{a}$ (?).

Kõverusringjooned haripunktide kohal on tublisti abiks ellipsi korralikul väljajoonestamisel. Nimelt võib nende ringjoonte kaartega joonida ellipsit haripunktide ümbruses teatavas ulatuses lihtsalt sirkli abil, ja siis jääb vaid need ringikaared lekaali abil ladusalt ühendada. Joo-

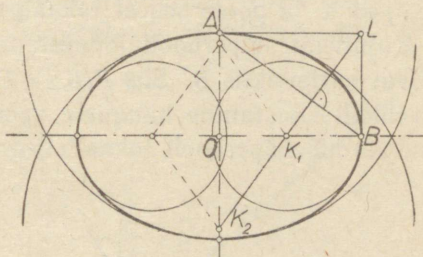
nestustehnilises mõttes on ellips kõige tundlikum haripunktide juures; kõverusringjooned aga joonestavad puhtalt välja just need tundlikud kohad.

Tingimata tuleb kõverusringjooni kasutada ka antud ellipsi jaoks spetsiaalset lekaali valmistades (vt. § 13).

Muuseas sobib siinkohal ellipsit võrrelda ka pikersõõrikuga (§ 41).



Joon. 177.



Joon. 178.

§ 46. Hüperbool.

1. Definiitsioon: **hüperbool** on tasapinnaline joon, mille igast punktist kuni tasapinna kahe kindla punktini (joone fookusteni) mõõdetud kauguste vahe on konstantne.

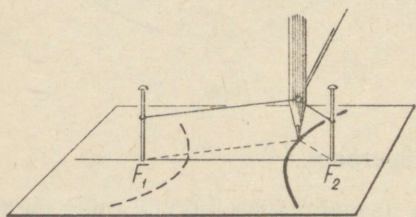
Ka hüperbooli mehaaniliseks joonimiseks leidub lihtne niit-konstruktsioon (ehk nn. auguga pliitsi võte). Selle teostamiseks pistetakse kahekordne niit läbi pliitsisse tehtud augu ja kinnitatakse niidi otsad fookustesse (F_1 ja F_2) torgatud nõelte külge (joon. 179). Kahekordset niidiosa ühe käega pinguli hoides ja teise käega pliitsit nii liigutades, et ta ikka vertikaalseks jääb, joonib pliits hüperbooli. Nimelt pikenevad niidiosad fookustest pliitsini ühepalju, järelikult nende vahe jääb konstantseks.

Sellesama konstantse vahe saaksime ka oma seadise lähteasendit niiviisi muutes, et kaugused pliitsist fookusteni vahetatakse. Siis joonib pliits endisega ühtiva kõvera (joonisel 179 kriipsjoonega). Need kaks tegelikult lahusseisvat kõverat on ühe ja selle sama hüperbooli harud.

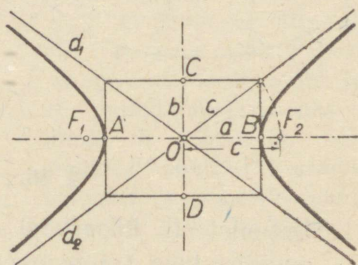
Kirjeldame hüperbooli lähemalt joonise 180 põhjal. Tal on kaks sümmeetriatelge; neist üks läbib fookusi (fokaaltelg) ja teine on sellega risti (kaastelg). Telgede lõikepunkt on hüperbooli kesk-

punkt. Fokaaltelg lõikab hüperbooli harusid nende haripunktides A ja B . Hüperbooli harud on lõpmata pikad ja keskpunkti kaugenedes nad järjest sirgenevad; haripunktide kohal on harud kõige kõveramad.

Nimetame haripunktide-vahelise lõigu AB hüperbooli fokaalteljeks ja poole sellest **fokaalpoolteljeks**, tähistades teda tähega a . Kujutleme hüperbooli joonestamisel niitkonstruktsiooniga pliiatsi olevat haripunkti B . Siis $F_1B - F_2B = F_1B - F_1A = AB - 2a$. Järelikult konstantne kauguste vahe, millest kõneldakse definitsioonis, võrdub hüperbooli fokaalteljega.



Joon. 179.

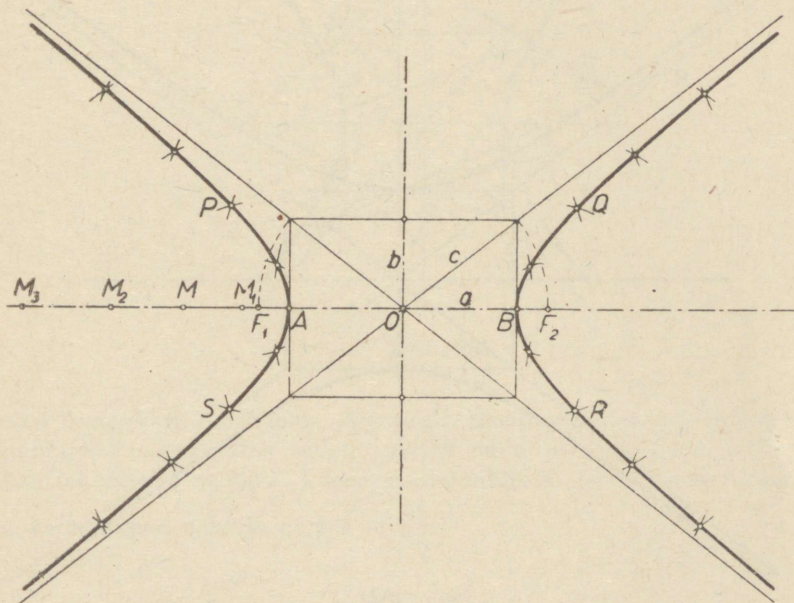


Joon. 180.

Fookuse kaugust keskpunktist tähistatakse ka hüperbooli juures tähega c . Hüperbooli juures $c > a$, kuna ellipsi juures oli $c < a$. Ehitame hüperbooli harude vahele ristküliku küljega $2a$ ja diagonaaliga $2c$. Selle ristküliku teise külje pikkuse lõigu CD nimetame hüperbooli kaasteljeks ja poole sellest **kaaspoolteljeks**, tähistades teda tähega b . Hüperbool määratakse harilikult oma pooltelgedega a ja b . Nende kaudu on hõlpus leida fookusi, kuna fookuse kaugus keskpunktist võrdub hüpotenuusiga kolmnurgas, mille kaatetiteks on poolteljed a ja b (joon. 180).

Eespool nimetatud ristkülikul, mille külgedeks on $2a$ ja $2b$, on hüperbooli juures veel eriline tähtsus. Selle ristküliku diagonaal-sirgeid d_1 ja d_2 nimetatakse hüperbooli **asümptootideks**. Need on sirged, millele hüperbooli harud keskpunktist kaugenedes piiramatult lähenevad, ise seejuures järjest sirgenedes; võiks öelda: asümptoot on puutuja hüperbooli lõpmata kauges punktis. Prakti-

selt (joonisel) aga langevad hüperbooli harud juba õige varsti oma asümptootidega ühte, sest vahe haru ja tema asümptoodi vahel jääb peagi väiksemaks joonte jämedusest (teoreetiliselt joontel ei ole jämedust). Üldiselt asümptoodid on hüperbooli joonestamisel joonestajale tublisti abiks, kuna nad määravad oluliselt hüperbooli tegeliku kuju. Hüperbooli, mille asümptoodid on teineteisega risti ehk mille poolteljed on võrdsed, nimetatakse **risthüperbooliks**.



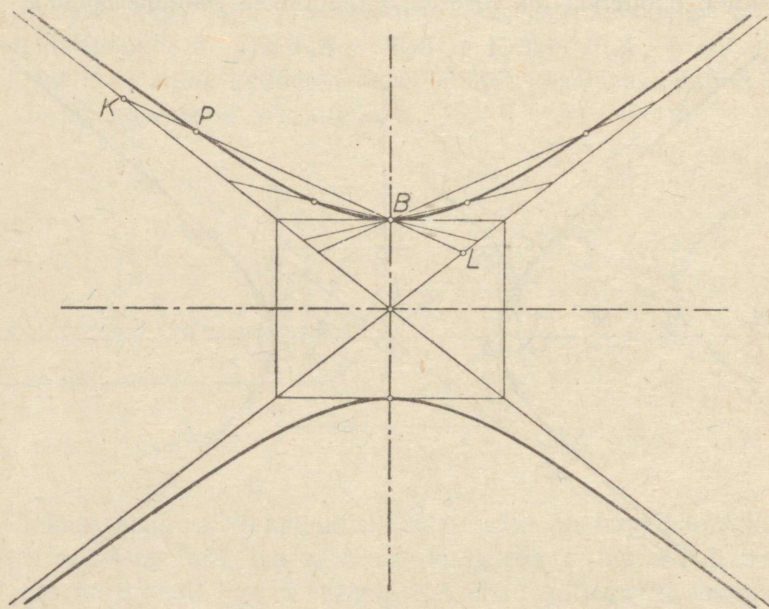
Joon. 181.

2. Hüperbooli joonestamisel niiti kasutamata leitakse küllaldaselt arvul tema punkte ja ühendatakse need ladusalt lekaali abil. Hüperbooli punktide konstrueerimise võib rajada hüperbooli definitsioonile. Antud pooltelgede a ja b järgi joonestame ristküliku, mille diagonaalsirged jäävad hüperbooli asümptootideks, ja märgime siis fookused oma kohale: $OF_1 = OF_2 = c$ (joon. 181). Fokaalsirgel, kuid väljaspool reaaltelge AB , märgime vabalt punkti M ja tõmbame kummagi fookuse ümber kaared raadiustega MA ja MB ; nende lõikepunktidena leiame oma hüperboolist korragna neli

punkti: P , Q , R ja S . Punkti M iga uus asukoht (M_1 , M_2 jne.) annab sama mõttekäiku korrates endistele lisaks neli uut punkti.

Teine konstruksioonivõte hüperbooli punktide leidmiseks põhjendub hüperbooli järgmisel omadusel:

hüperbooli kõõlu pikendused asümptootideni on võrdsed.



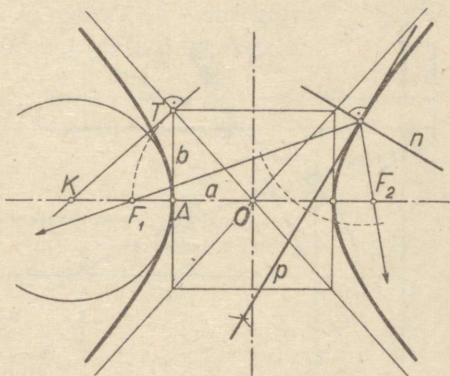
Joon. 182.

Andmeil a ja b joonestatakse ristkülik, mille diagonaalsirged jäävad asümptootideks ja ühe paari vastaskülgede keskpunktid haripunktideks (A ja B joonisel 182). Läbi haripunkti tõmmatakse vabalt sirgeid ja märgitakse igapähele neist hüperbooli punkt, mille kaugus asümptoodini (mööda seda sirget möötes) võetakse võrdsesks haripunkti kaugusega teisest asümptoodist, näiteks punkti P leidmisel võetakse $KP = LB$.

3. Hüperbooli puutuja ning normaali konstruksioon toimub puutuja järgmise omaduse põhjal: hüperbooli puutuja läbi hüperbooli mingi punkti poolitab nurga, mille tipp on selles punktis ja haarad

jooksevad läbi fookuste; normaal tõmmatakse risti puutujaga (joon. 183, hüperbooli parempoolne haru).

4. Kõrgemas matemaatikas selgub, et hüperbooli kõverusraadius hari-
punkti kohal on pikkusega $\frac{b^2}{a}$; seetõttu võib hüperbooli kõveruskesk-



Joon. 183.

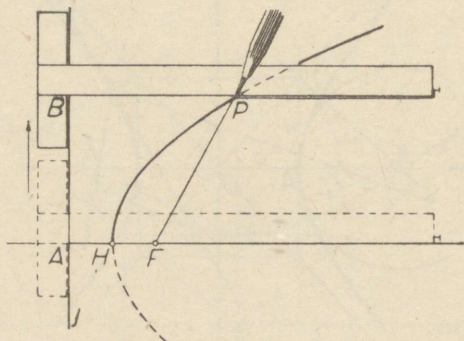
punkti haripunkti kohal leida järgmiselt. Haripuutuja ja asümptoodi lõikepunktist T tõmmatakse sellele asümptoodile ristsirge (joon. 183); see lõikab fokaaltelge otsitavas kõveruskeskpunktis K . (Missugusest täisnurksest kolmnurgast nähtub, et $KA = \frac{b^2}{a}$?).

§ 47. Parabool.

1. Definiitsioon: **parabool** on tasapinnaline joon, mille igast punktist mõõdetud kaugused kuni tasapinna kindla punktini (joone fookuseni) ja kindla sirgeni (juhtjooneni) on võrdsed.

Ka parabooli mehaaniliseks joonimiseks on olemas lihtne niit-konstruktsioon (ehk nn. nurkjoonlaua-võte). Valime vabalt fookuse F ja juhtjoone j (joon. 184). Siis üheks parabooli punktiks peab kindlasti olema punkt, mis asetseb fookusest juhtjooneni tõmmatud ristlõigu keskpunktis H , kuna see on tõesti fookusest ja juhtjoonest võrdsel kaugusel.

Torkame fookusesse nõela ja kinnitame niidi otsa nõela külge. Paigutame nurkjoonlaua joonisel kriipsjoonega näidatud asendisse. Paneme pliiatsi otsa punkti H ja veame niidi fookusest ümber pliiatsi otsa ja kinnitame, niiti parajasti pinguli tõmmates, niidi teise otsa nurkjoonlaua otsa löödud naelakese külge.



Joon. 184.

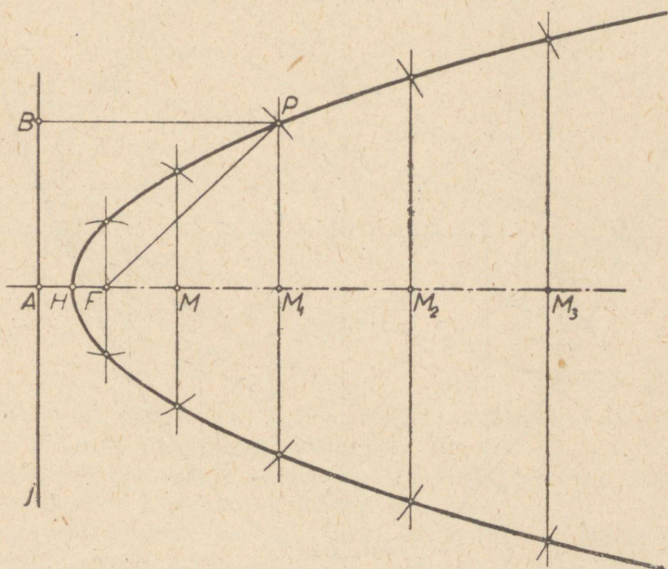
Libistades nüüd nurkjoonlauda juhtklotsiga piki juhtjoont ja hoolitsedes ühtlasi, et pliiats jääks ikka joonlaua ääre vastu ja niit pinguli, joonib pliiats parabooli. Tõesti, lähteseisus $AH = HF$ ja mingis muus seisus $BP = FP$, sest joonlaua äärest vabanev niidiosa (mille võrra pikeneb kaugus juhtjoonest) lisandub fookusesse viivale niidiosale; seega kaugused juhtjooneni ja fookuseni kasvavad võrdselt; et nad lähteseisus olid võrdsed, siis jäävad nad võrdseks ka igas muus seisus.

Kirjeldatud seadis võimaldab parabooli joonimist seni, kuni pliiats jõuab nurkjoonlaua otsani. Kujutelles aga joonlauda koos niidiga lõpmata pikana, võiksime ka parabooli joonimist lõpmata jätkata.

Sama seadisega võiksime joonestada ka parabooli teise poole (joonisel 184 kriipsjoonega); selleks tuleks vaid nurkjoonlaud lähteasendisse seada oma ülemise äärega läbi fookuse ja nihutamist toimetada juhtjoont mööda allapoole.

Harude ühenduskoht H on parabooli ainuke haripunkt; seal on parabool kõige kõveram. Juhtjoonest kaugenedes muutuvad parabooli harud küll järjest sirgemaks, aga nad ei lähene mitte asümptootiliselt mingile sirgele, nagu see esines hüperbooli juures. Juhtjoone ristsirge läbi fookuse on parabooli ainuke sümmeetriatelg.

On huvitav, et parabooli võib käsitleda ellipsina, mille üks fookus on viidud teisest lõpmata kaugele.



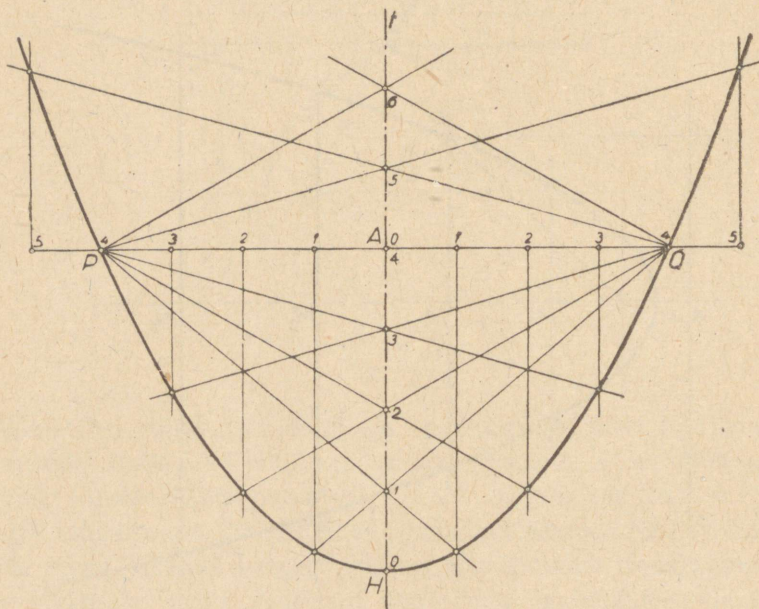
Joon. 185.

2. Parabooli joonestamiseks niiti kasutamata anname kaks võtet. Esimene neist on definitsiooni otsene rakendus.

Olgu vaja joonestada parabool antud haripunktiga H ja fookusega F (joon. 185). Sirge HF on seega parabooli telg. Tõmbame juhtjoone j risti teljega ja nii, et $AH = HF$, kus A on telje ja juhtjoone lõikepunkt. Haripunktist suunaga fookuse poole märgime teljel vabalt rea punkte: $M, M_1, M_2 \dots$; neist läbi tõmbame sirged risti teljega. Raadiustega $AM, AM_1, AM_2 \dots$ tõmbame kaa-

red ümber fookuse; need lõikavad vastavaid telje ristsirgeid just parabooli punktides. Tõesti, näiteks punkti P puhul $BP = AM_1 = FP$ ehk $BP = FP$, järelikult punkt P rahuldab parabooli definitiooni.

Teiseks vaatleme parabooli joonestamist antud ühe punkti P , telje t ja haripunkti H järgi (joon. 186). Leiame kõigepealt antud punkti P sümmeetrilise paariku Q (telje t suhtes). Lõigaku sirge



Joon. 186.

PQ telge punktis A . Jaotame lõigud PA , AQ ja AH n võrdseks osaks ja nummerdame saadud jaotuspunkte, nagu näha joonisel 186, kus $n = 4$. Läbi sirge PQ jaotuspunktide tõmbame telje paralleelid ja punktidest P ja Q kiired läbi telje jaotuspunktide. Siis parabooli punktid saame samanimbriliste püst- ja kaldsirgete lõikepunktidenä. Jaotust teljel ja ka sirgel PQ jätkates võime saada oma parabooli punkte kuitahes palju.

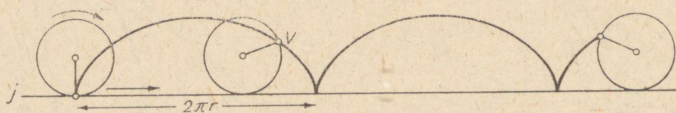
Ükskõik missuguse parabooli joonestamisel selle võttega on

V. Mitmesuguseid lekaalkõveraid.

§ 48. Veerekõverad. Tsükloidid.

1. **Veerekõveraks** nimetatakse sääraseid tasapinnalisi kõveraid, mille tekkimisel toimub ringi (veeringi) veeremine tasapinnal mingit joont (juhtjoont) mööda, kusjuures kõvera tekitab punkt, mis on veeringiga kindlasti seotud (veerepunkt).

Veerekõveraid liigitatakse juhtjoone kuju järgi ja veerepunkti asukoha järgi veeringi tasapinnas.

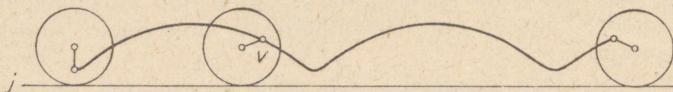


Joon. 189.

Siin võtame vaatluse alla ainult sääraseid veerekõverad, mille juhtjooneks on kas sirgjoon või ringjoon; muudel veerekõveratel polegi praktilist tähtsust.

Veerekõverad leiavad tehnikas mitmel pool rakendamist, esma-joones aga hammasrataste ehituse juures.

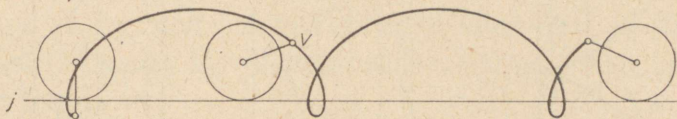
2. **Tsükloidideks** nimetatakse sääraseid veerekõveraid, mille puhul veeringi juhtjooneks on sirge.



Joon. 190.

Vastavalt sellele, kas veerepunkt asetseb veeringijoonel, selle sees või väljaspool seda, eristatakse **harilikke**, **lühendatud** ja **pikendatud tsükloide** (joonised 189—191). Neil joonistel V on veerepunkt ja j juhtsirge. Näeme, et tsükloidid on perioodilised kõverad, perioodiga $2\pi r$, kus r on veeringi raadius. Seepärast on küllaldane joonestada tsükloidi ainult tema ühe perioodi ulatuses. Et aga tsükloidi kaarel leidub ka üks sümmeetriatelg, siis piisab ainult tema poolkaare täpsest väljajoonestamisest.

3. Kirjeldame üksikasjalisemalt hariliku tsükloidi punktide leidmist. Olgu veering juhtsirgel kohal O ja veerepunkt V parajasti oma kõrgeimas seisus, seega nimelt tsükloidi kaare haripunktis (joon. 192). Veerepunkt jõuaks sellest asendist juhtsirgele, kui veering veereks kas vasakule või paremale oma poole ümbermõõdu võrra. Järelikult tsükloidi kaare otspunktid saame kätte veeringjoone sirgestamise teel (vt. § 29). Olgu need otspunktid

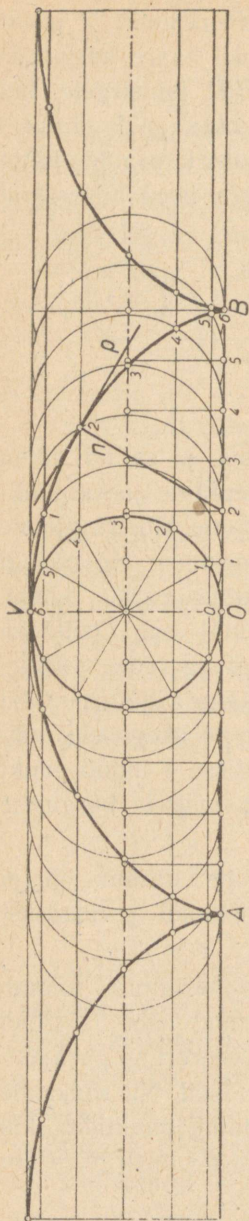


Joon. 191.

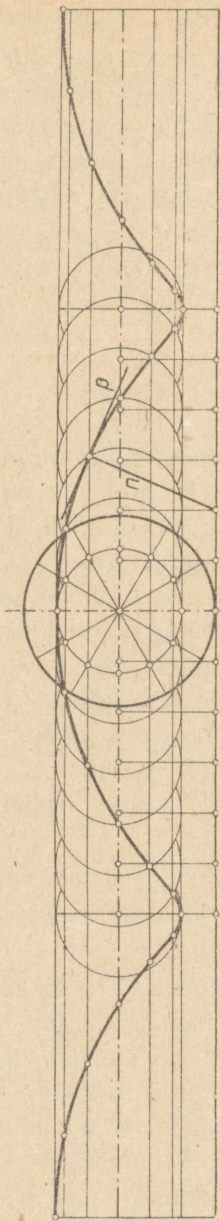
leitud punktidenä A ja B . Jaotame veeringjoone ja samuti tema sirgestatud pikkuse n võrdseks osaks ja nummerdame jaotuspunktid, nagu näha joonisel 192, kus $n = 12$. Tõmbame läbi ringjoone jaotuspunktide paralleelid juhtsirgele ja joonestame veeringi tema n erinevas asukohas, nimelt juhtsirge jaotuspunktide kohal. Nende sirgete ja vastavate ringjoonte lõikepunktid ongi tsükloidi punktid. Selgituseks olgu juurde lisatud, et ringi veeredes juhtsirgel ühe jaotise võrra paremale, liiguvad ringjoone jaotuspunktid igaüks talle numbri poolest eelneva punkti endisele kõrgusele; näiteks ringi veeremisel juhtsirgel punktist O punktisse 1 liigub punkt 6 punkti 5 endisele kõrgusele, punkt 5 punkti 4 endisele kõrgusele jne.

Ühe poolkaare punktide järgi saab otsekohe niisama palju punkte iga muu poolkaare jaoks, arvestades tsükloidi perioodsust ja sümmeetriat.

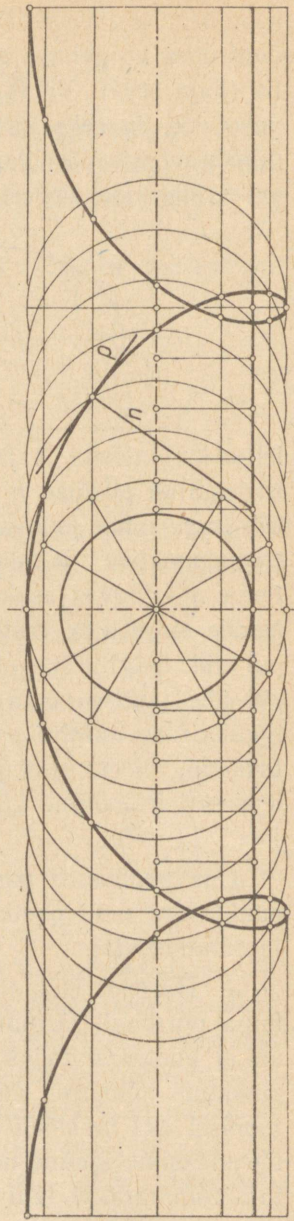
4. Hariliku tsükloidi puutuja ja normaali joonestamine toimub tema normaali järgmise omaduse põhjal: normaal läbi tsükloidi antud punkti suundub läbi selle punkti, milles veering parajasti puudutab juhtsirget antud punkti tekkimise momendil. Nii saaksime joonisel 192 tsükloidi normaalid tema nummerdatud punktides, kui ühendaksime igaühe neist samanimbrilise punktiga juhtsirgel. Puutuja tõmmatakse risti normaalliga.



Joon. 192.



Joon. 193.



Joon. 194.

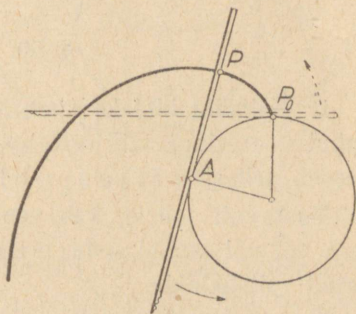
5. Lühendatud (samuti ka pikendatud) tsükloidi joonestamine toimub üldiselt samade võtetega, mis esinesid hariliku tsükloidi juures. Veeringujoone sirgestatud pikkus jaotatakse jällegi n võrdseks osaks; niiviisi saadud keskpunktide ümber aga tõmmatakse ringjooned raadiusega, mis võrdub veerepunkti kaugusega veeringi keskpunktist; sama raadiusega ringjoonel teostatakse ka jaotus n võrdseks osaks (joonised 193 ja 194).

Puutuja ja normaali konstruktsioon on lühendatud ja pikendatud tsükloidide juures täpselt samasugune, nagu hariliku tsükloidi juures (art. 4).

§ 49. Ringjoone evolvent.

Tsükloidide saamisel veeres ring mööda paigalseisvat sirget. Laseme nüüd sirgel veereda ümber paigalseisva ringi.

Ringjoone evolvent on kõverjoon, mille kujundab sirgjoone punkt, kui sirgjoon veereb ümber ringjoone (joon. 195). Seejuures kaar P_0A võrdub sirge igas asendis puutelõiguga AP ; sellest järeldub ka ringjoone evolventi üksikute punktide leidmise viis. Jaotame ringjoone võrdseteks osadeks ja kanname jaotuspunktidest ringjoonele tõmmatud puutujaile mahakeritud ringikaarte sirgestatud pikkused, näit. $A_4P_4 = P_0P_4$ (joon. 196).

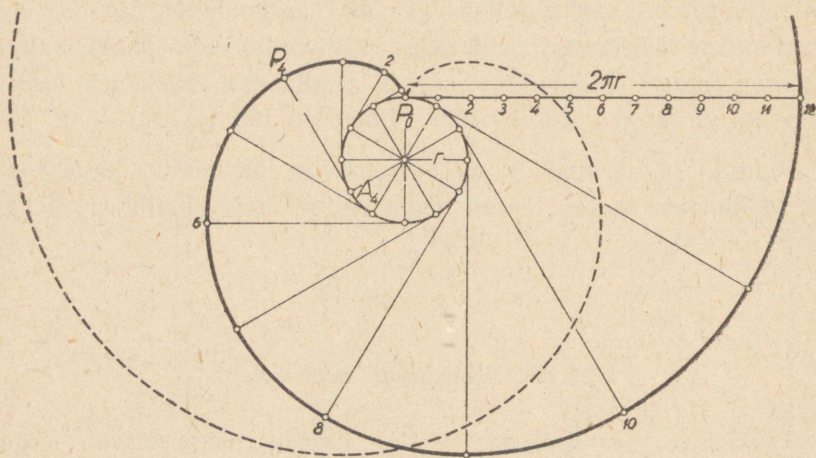


Joon. 195.

Varda veeremisel teises suunas saaksime endise kõvera peegelpildi ringi diameetri suhtes, mis läheb läbi evolventkõvera alguse P_0 ; joonisel 195 on esitatud see kriipsjoonega.

Ringjoone evolvent on spiraalne kõverjoon, mille keermete

vahe on konstantne ja võrdub juhtringi ümbermõõduga. Evolvendi normaaliks on juhtringi puutuja (varras), kusjuures puutepunkt ringjoonel on ühtlasi kõveruskeskpunktiks.



Joon. 196.

§ 50. Epitsükloidid.

1. **Epitsükloidideks** nimetatakse niisuguseid veerekõveraid, mille puhul veeringi juhtjooneks on ringjoon (juhtring) ja veering veereb sellest väljaspool.

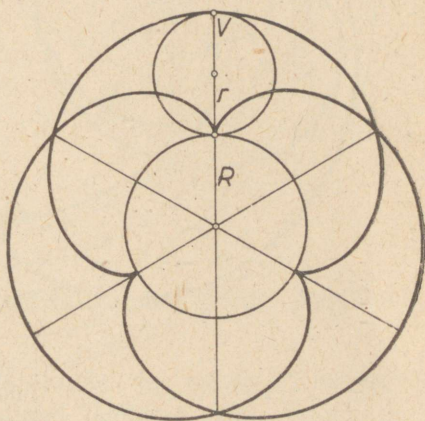
Vastavalt sellele, kas veerepunkt asetseb veeringjoonel, selle sees või väljaspool seda, eristatakse **harilikke**, **lühendatud** ja **pikendatud epitsükloide**.

Epitsükloidi kuju sõltub suurel määral veel veeringi ja juhtringi raadiuste suhtest $r : R$. Kui see suhe on taandumatu murd $\frac{p}{q}$, siis epitsükloidil on ainult q erinevat kaart, s. t. kui veering on teinud q täispööret, siis ta koos veerepunktiga on jõudnud oma lähteseisu tagasi ja veerepunkt hakkab jäljendama oma endist käiku; seejuures on veering teinud p täistiiru ümber juhtringi. Näiteks joonisel 197 on $r : R = \frac{2}{3}$, seega $p = 2$ ja $q = 3$.

Kui see raadiuste suhe on algmurd $\frac{1}{q}$, siis veerepunkt jõuab lähteseisu tagasi, kui veerering on teinud q täispööret ja ainult ühe täistiiru ümber juhtringi. Sel juhul epitsükloidi kaared ei lõiku (joon. 198, kus $r : R = \frac{1}{3}$).

Epitsükloidil on lõpmata palju kaari, kui veereringi ja juhtringi raadiused on ühismõõdutud suurused, näiteks kui $r = 1$ ja $R = \sqrt{5}$.

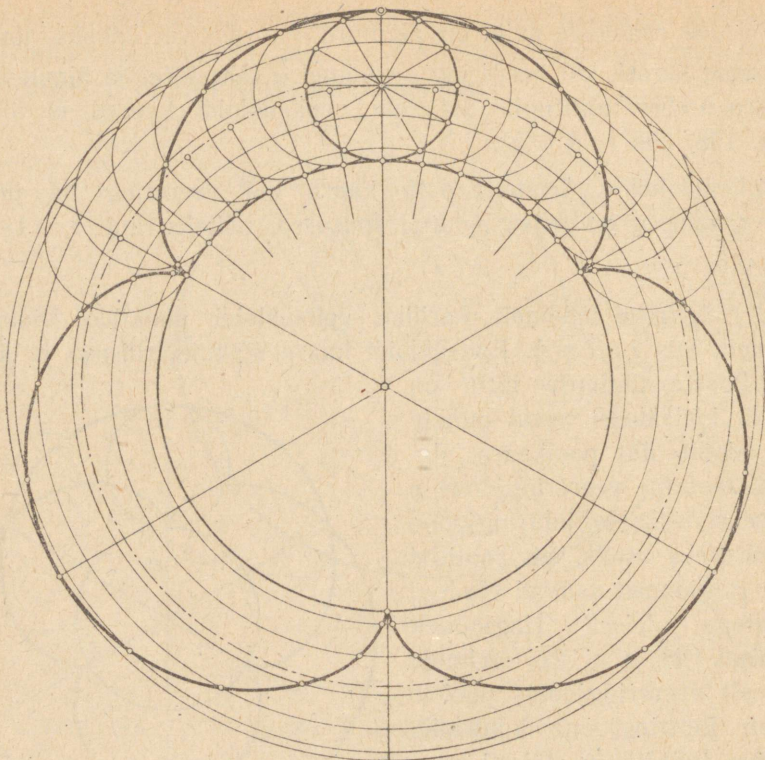
2. Selgitame lähemalt hariliku epitsükloidi punktide leidmist juhtumil, kus $r : R = \frac{1}{3}$. Epitsükloidi kaare sümmeetrilisuse ja kõikide kaarte ühtivuse tõttu on vajalik küllaldaselt arvul punkte leida ainult ühe poolkaare ulatuses. Jaotame veereringjoone n võrdseks osaks ja juhtringjoone $3n$ võrdseks osaks, siis jaotised ühelt ringjoonelt saavad võrdsed jaotistega teiselt ringjoonelt (joonisel 198 $n = 12$); andmete kohaselt veereringjoone poolele vastab juhtringjoone kuuendik. Edasine töö käik on täiesti analoogiline tsükloidi joonestamise käiguga; ka puutuja ning normaali konstruktsioon jääb samaks (§ 48, art. 3 ja 4).



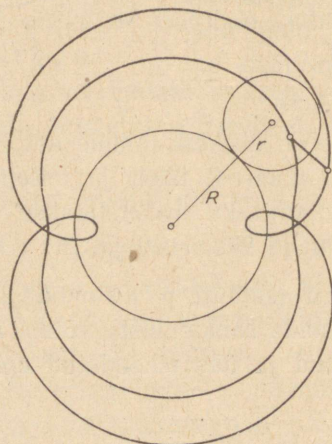
Joon. 197.

Kui raadiuste suhe on ükskõik milline arv, tuleb vaid hoolitseda selle eest, et jaotised (kaared) ühelt ja teiselt ringjoonelt saaksid võrdsed. Selle saavutamiseks rakendatakse kaare sirgestamise lähenduskonstruktsiooni (§ 27, art. 2 ja 3).

Ka lühendatud (samuti pikendatud) epitsükloidi joonestamine toimub samade šablooniliste võtete abil. Joonisel 199 on esitatud üks lühendatud ja üks pikendatud epitsükloid juhul, kus $r : R = \frac{1}{2}$.



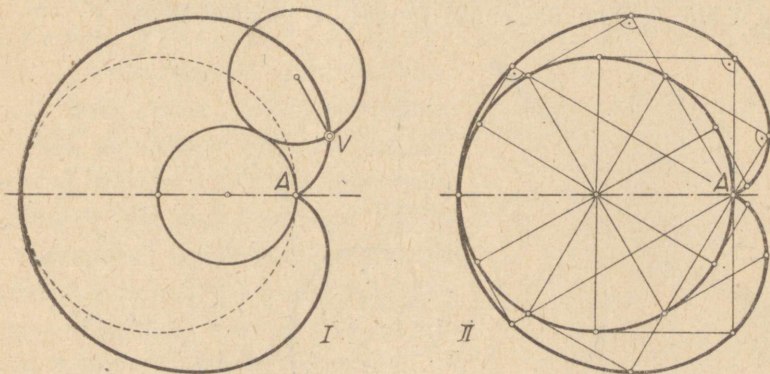
Joon. 198.



Joon. 199.

§ 51. Kardioid ja Archimedese spiraal.

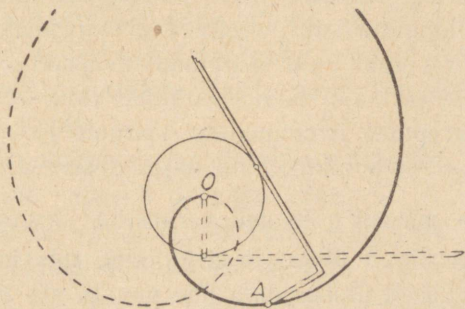
1. Harilikku epitsükloidi nimetatakse **kardioidiks**, kui veereringi ja juhtringi raadiused on võrdsed. Sel juhtumil epitsükloidil on üksainus kaar (joon. 200 I).



Joon. 200.

Kardioid laseb end defineerida veel hoopis teisiti kui epitsükloidina, ja nimelt järgmiselt:

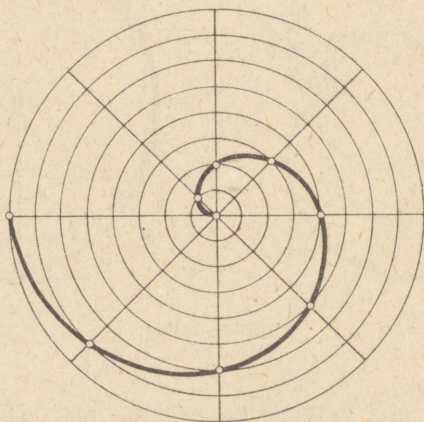
kardioid on ringjoone puutujate ja nende ristsirgete lõikepunktide kogu, kui ristsirged lähtuvad kõik ühest ja samast ringjoone punktist.



Joon. 201.

Viimase definitsiooni põhjal on kardioidi märksa lihtsam joonestada kui epitsükloidina (joon. 200 II).

Raadius ringjoonel, mille kaudu kardioid on teisiti defineeritud, võrdub kardioidi kui epitsükloidi juhtringi läbimõõduga. Punkt, millest selle ringjoone puutujate ristsirged lähtuvad, on kardioidi kaare lähte ja lõpu ühispunkt (punkt A joonisel 200).



Joon. 202.

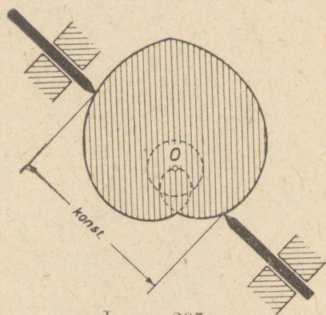
2. Teise erijuhulise epitsükloidina vaatleme nn. **Archimedese spiraali**. See saadakse ringjoone evolvendi asemel, kui viimast käsitletakse juhtringi raadiuse võrra pikendatud epitsükloidina (veeringi raadius lõpmata suur, seega veeringjoone asemel esineb sirge). Selleks on vaid vaja kinnitada otsapidi veerevarda külge juhtringi raadiuse pikkune ristvarras, mille vaba otspunkt A kujundabki varda veeremisel Archimedese spiraali (joon. 201). Tema punktide leidmisel võib toimida nii nagu evolvendi juures (§ 49).

Archimedese spiraali võib defineerida ka järgmiselt:

kui punkt liigub ühtlaselt sirgjoonel, mis ise pöörleb tasapinnal ühtlaselt ümber oma ühe punkti, siis liikuv punkt joonib Archimedese spiraali.

Sellele definitsioonile rajatud konstruktsiooni näitab joonis 202: kontsentriselised ja võrdvahedega ringjooned ja võrdsete vahelnurkadega kiired moodustavad võrgu, mille silmi diagonaalselt läbib Archimedese spiraal.

Archimedese spiraali üheks huvitavaks rakenduseks on nn. sündamekujuline ekstsentrik (joon. 203), mille piirjooneks on selle spiraali sümmeetrilised osad. Pole raske veenduda (kuidas nimelt?), et säärase ekstsentriku läbimõõdud, mõõtes läbi juhtringi keskpunkti, on võrdsed; seepärast tekitab ta pöörlemisel (ümber juhtringi keskpunkti O) konstantse vahega edasitagasi liikumist, mis osutub vajalikuks mõnede masinate ehituses.



Joon. 203.

§ 52. Hüpostsükloidid.

1. **Hüpostsükloidideks** nimetatakse sääraseid veerekõveraid, mille puhul veereringi juhtjooneks on ringjoon (juhtring) ja veering veereb sellel seespool.

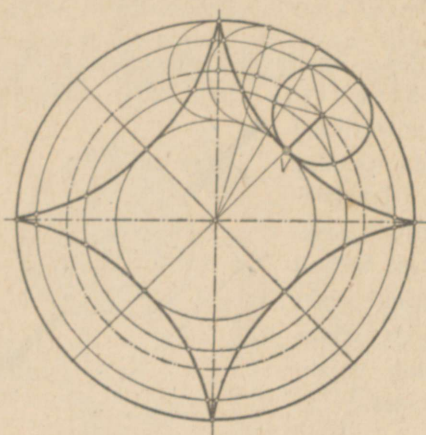
Vastavalt sellele, kas veerepunkt asetseb veereringjoonel, selle sees või väljaspool seda, eristatakse **harilikke, lühendatud ja pikendatud hüpostsükloide**. Üldiselt võib nende kohta öelda sedasama, mis on eespool öeldud epitsükloidide kohta (§ 53, art. 1). Ka nende konstrueerimine punkthaaval ei paku midagi uut, vaid toimub endiste šablooniliste võtetega. Sama kehtib ka puutuja ja normaali konstruktsiooni kohta.

Harilikku hüpostsükloidi nimetatakse **astroidiks**, kui veereringi ja juhtringi raadiuse suhe on $\frac{1}{4}$ (joon. 204).

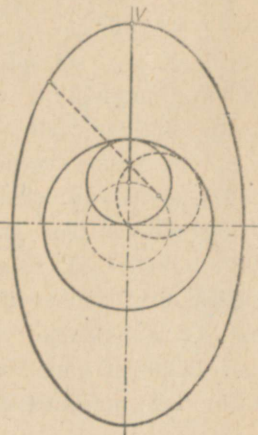
Joonisel 206 on esitatud üks lühendatud ja üks pikendatud hüpostsükloid juhtumi kohta, kus $r : R = \frac{1}{3}$.

2. Huvitava eri juhtumi hüpostsükloidist saame sel korral, kui veereringi raadius on täpselt pool juhtringi raadiusest. Analüütilisel

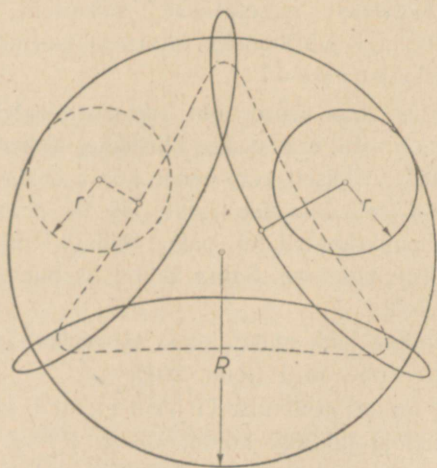
teel saab tõestada, et niisugusel puhul harilik hüpotsükloid taandub juhtingdiameetrik, lühendatud ja pikendatud hüpotsükloidid osu



Joon. 204.



Joon. 205.



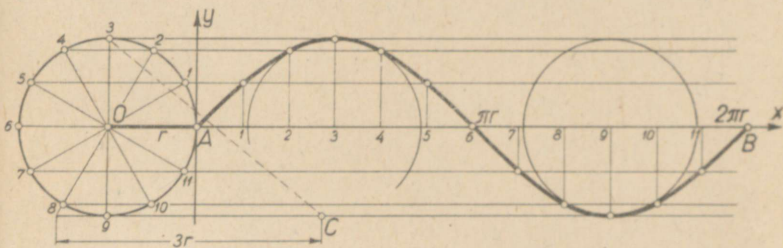
Joon. 206.

tuvad aga ellipseiks; pooltelgedeks neil ellipseil on: $a = r + k$ ja $b = |r - k|$, kus r on veeringi raadius ja k veerepunkti kaugus veeringi keskpunktist. Joonis 205 kujutab üht säärast ellipsina esinevat pikendatud hüpotsükloidi.

Kirjelatud hüpotsükloidi eri juhtumile vastavat mehhanismi kasutatakse nn. planeetajamite juures, milledega muudetakse ringliikumist elliptiliseks või sirgjooneliseks liikumiseks. Sel põhimõttel saab konstrueerida ka ellipsisirkliit.

§ 53. Sinusoid.

Pöorelgu ringjoone raadius vastupäeva ümber keskpunkti O , lähtudes seisust OA (joon. 207). Kasutades ristkoordinaadistikku



Joon. 207.

(§ 28) joonestame kõverjoone, mille punktide abstsissideks osutuvad punkti A poolt käidud kaarepikkused ja ordinaatideks punkti A vastavad kaugused sirgest AO . Parasjagu kõvera punkte saadakse ringjoone jaotamisel 12-ks võrdseks osaks, jaotades samuti 12 võrdseks osaks ka ringjoone sirgestatud pikkuse AB x -teljel. Jaotuspunktide kaugused koordinaatide algusest A näitavad kõvera punktide abstsisse; ordinaadid saadakse otseselt ringjoone jaotuspunktide x -teljele paralleele tõmmates. Joonisel on esitatud ka ringjoone sirgestamise konstruktsioon (§ 27): punkti C kaugus ringjoone jaotuspunktist 3 võrdub sinusoidi poolaine pikkusega πr .

Sinusoidi täpsel väljajoonestamisel on tähtis teada ka, et tema kõverusraadius haripunkti kohal võrdub lähteringi raadiusega ja käänupunkti puutuja kaldenurk x -telje suhtes on 45° .

Lõiku AB nimetatakse sinusoidi lainepikkuseks ja hari-
punkti kaugust x -teljest amplituudiks. Kasutades kõvera
punktide konstrueerimisel ringi ümbermõödust lühemat või pikemat
lainepikkust, saadakse vastavalt kokkusurutud või veni-
tatud sinusoid.

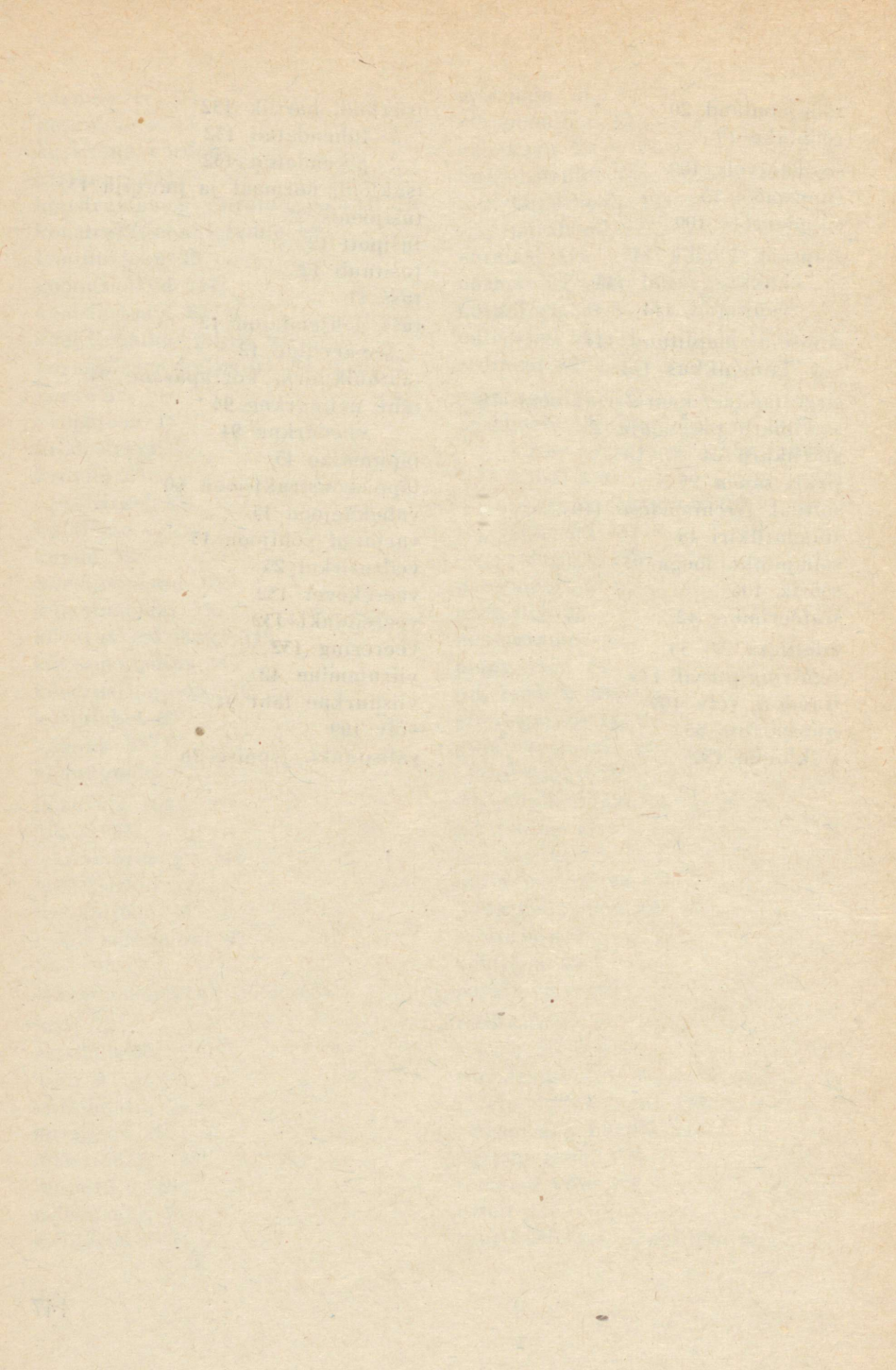
Sinusoid leiab tehnikas erakordselt rohket rakendamist, eriti aga
mitmesuguste lainetamisnähtuste juures, elektri alal näiteks vahel-
duvvoolu juures.

Märksõnastik.

- aamvõlv 109
 abijoon 15
 abstsiss 82
 Archimedese spiraal 140
 arvmõõt 53
 astroid 141
 distantsjooned 56
 ekstsentrisk, südamekujuline 141
 ellips 117, 119
 ellipsi fokaaltelg 119
 .. kõverusringjooned haripunk-
 tide kohal 122
 .. lineaarne ekstsentrisus 120
 .. niitkonstruktsioon 119
 .. normaal 122
 .. poolteljed 120
 .. puutuja 122
 ellipsisirkel 122
 ellipsograaf 122
 epitsükloidid 136
 epitsükloid, harilik 136
 .. lühendatud 136
 .. pikendatud 136
 evolvent, ringjoone 135
 fokaaltelg 119, 124
 fookus 119, 125, 127
 gooti võlv 111
 graafiline ruutjuurimine 67
 harilik ringspiraal 114
 haripunkt, ellipsi 119
 .. hüperbooli 124
 .. parabooli 129
 heksagramm 94
 hoburaudvõlv 109
 hulknurk, korrapärane 84
 hüperbool 117, 123
 hüperbooli asümptoodid 124
 .. fokaalpooltelg 124
 .. kaaspooltelg 124
 .. kõverusringjoon haripunkti
 kohal 127
 .. niitkonstruktsioon 123
 .. normaal 126
 .. puutuja 126
 hüpotsükloidid 141
 hüpotsükloid, harilik 141
 .. lühendatud 141
 .. pikendatud 141
 joonestuskolmnurk 17
 joonestuslaud 6
 joonestuspaber 5
 joonestuspliiats 9
 joonestustehnika 5
 joonia tigu 117
 joonise välispunkt 76
 joonmõõt 53
 joonsirkel 24
 joonsulg 25
 kaapimine 35
 kaldenurk 85
 kalle 85
 kardioid 139
 karniis 109

karniisvõlv 109
 keskmejoon 15
 keskmine võrdeline 66
 kirjanurk 52
 konstruktsioon piiratud paberil 76
 konstruktsioonülesanne 60
 kontuurjoon 15
 koonuslõiked 117
 koordinaadid 82
 koordinaatide teljed 82
 korrapärane hulknurk 84
 korvvõlv 109
 kriipsjoon 14
 kroonsirkel 25
 kruvits 25
 kruvisirkel 25
 kuldlõige 67
 kumm 32
 kurvijoonlaud 37
 kustutusplaat 33
 kõveruskeskpunkt 119
 kõverusraadius 119
 kõverusringjoon 119
 kõõlutabel 85
 käänak 97
 käänupunkt 97
 lamevõlv 109
 lekaal 37
 lekaalkõver 37, 117
 lekaalsirkel 118
 lisa-abijoon 15
 looga sõlmpunkt 97
 look 97
 lähenduskonstruktsioon 60
 mall 55
 mastaap 53
 miin 9
 miinihoidja 24
 miinitoos 26
 munasõõrik 108
 mutrivõti 106
 moodsuhe 53
 mõõtesirkel 24
 mõõtjoon 55
 mõõtjoonlaud 54
 mõõtkava 53
 niitkonstruktsioon, ellipsi 119
 „ hüperbooli 123
 „ parabooli 127
 normaal 119
 normandia võlv 109
 normiformaat 6
 nullsirkel 25
 ordinaat 82
 parabool 117, 127
 parabooli juhtjoon 127
 „ kõverusringjoon haripunkti
 kohal 131
 „ niitkonstruktsioon 127
 „ normaal 131
 „ puutuja 131
 pauspaber 5
 peensulg 27
 pentagramm 94
 pidev joon 14
 pikersõõrik 106
 planeetajam 143
 pliiats-eeljoonis 27
 pliiatsijoonis 27
 pliiatsipikendaja 11
 pritsimine 44
 proovimine 73
 pulverisaator 44
 punktkriipsjoon 14
 puutuja 119
 põhijoon 15
 pärsia võlv 109
 redissulg 49
 reissin 20
 rihmaratas 103
 ringjoone evolvent 135
 ringspiraal, harilik 114
 rishüperbool 123
 romaani võlv 109
 rosett 111
 ruutjuurimine, graafiline 67

- rööpjoonlaud 20
 rööplüke 19
 segmentvõlv 109
 siinusmõõt 75
 silindervõlv 109
 sinusoid, harilik 145
 .. kokkusurutud 144
 .. venitatud 144
 sinusoidi amplituud 144
 .. lainepikkus 144
 sirgestamine, kaare, ringjoone 78
 sirkliharu pikendaja 25
 sirklikarp 24
 sirkli samm 25
 spiraal, Archimedese 140
 standardkiri 48
 sõlmpunkt, looga 97
 sõõrik 106
 šrafeerimine 42
 žiletitera 27, 35
 tigu-ringspiraal 115
 tjuudori võlv 109
 transportiir 55
 tsükloidid 132
 tsükloid, harilik 132
 .. lühendatud 132
 .. pikendatud 132
 tsükloidi normaal ja puutuja 135
 tušijoonis 27
 tušipott 12
 tušituub 12
 tušš 11
 tušš, lahjendatud 12
 .. värviline 12
 tähthulknurk, korrapärane 94
 täht, nelinurkne 94
 .. viisnurkne 94
 täpitamine 45
 täppiskonstruktsioon 60
 vabakäejoon 15
 varjatud põhijoon 15
 vedrusirkel 25
 veerekõver 132
 veerepunkt 132
 veerering 132
 viirutamine 42
 viisnurkne täht 94
 võlv 109
 välispunkt, joonise 76



Sisukord.

Eessõna	Lk. 5
-------------------	-------

Esimene osa. Joonestustehnika.

§ 1. Joonestuspaber ja joonestuslaud. Paberi kinnitamine lauale	5
§ 2. Joonestuspliiatsid ja nende teritamine. Pliiatsipikendaja	9
§ 3. Tušid ja tušianumad	11
§ 4. Joonte liigitamine nende tehnilise ilme, otstarbe ja jämeduse järgi	14
§ 5. Kolmnurgad ja nende korrastamine	17
§ 6. Rööplükke kasutamine töötamisel kolmnurkadega. Rööpjoonlaud	19
§ 7. Sirklikarp	24
§ 8. Sirkli käsitsemine vasaku käega	26
§ 9. Pliiats-eeljoonis, tušijoonis ja pliiatsijoonis	27
§ 10. Joonsulega töötamine. Joonsule teritamine	28
§ 11. Kummid ja kaapimisriistad. Kustutamise ja kaapimise tehnika	32
§ 12. Sirg- ja ringjoonimise tehnika	34
§ 13. Lekaalid ja kõverjoonimise tehnika. Spetsiaalse lekaali valmistamine joonestuspaberist	37
§ 14. Pinna katmise viisid: viirutamine, pritsimine, täpimine ja värvimine	42
§ 15. Tušiga katmise järjekord	46
§ 16. Joonise kavandamine ja käsitsi skitseerimine	46
§ 17. Standardkiri. Joonise kirjanurga sisu	48
§ 18. Mõõtkava. Mõõtjoonlaud ja mall. Esemee mõõdete märkimine joonisele	55
§ 19. Joonestustöö täpsuse küsimusi. Nõuandeid joonesfajale	57

Teine osa. Geomeetriline joonestamine.

I. Mitmesuguseid konstruktsioone.

	Lk.
§ 20. Geomeetrilised põhikonstruktsioonid (lõigu poolitamine, nurga poolitamine, nurga ülekandmine, paralleelsirge tõmbamine, ristsirge tõmbamine)	60
§ 21. Konstruktsioone lõigu jaotamisest ja võrdelistest lõikudest (lõigu jaotamine võrdseteks osadeks, jaotamine antud suhtes, neljanda võrdelise leidmine — rakendusega suurendamisel või vähendamisel)	65
§ 22. Keskmise võrdelise leidmine (rakendusega ruutjuurimiseks). Kuldloige	66
§ 23. Kolmnurga konstruktsioone	68
§ 24. Konstruktsioone ringist (ringjoone puutuja, kahe ringjoone ühised puutujad, keskpunkti leidmine)	71
§ 25. Proovimise meetod (lõigu jaotamine võrdseteks osadeks, siinusemõõt, puutuja tõmbamine kõverale)	73
§ 26. Konstruktsioone piiratud paberil	76
§ 27. Ringjoone ja kaare sirgestamise lähenduskonstruktsioone	78
§ 28. Koordinaatide kasutamine. Sirgjoone kaldenurk ja kalle	81

II. Ringi jaotamine ja korrapärased hulknurgad.

§ 29. Ringi jaotamisest üldiselt. Kõõlutabel	84
§ 30. Ringi jaotamine kaheks, neljaks, kaheksaks jne.	86
§ 31. Ringi jaotamine kolmeks, kuueks ja kaheteistkümneks	87
§ 32. Ringi jaotamine viieks ja kümneks	89
§ 33. Ringi jaotamine seitsmeks ja üheksaks	90
§ 34. Korrapäraste hulknurkade konstrueerimine antud külje järgi	92
§ 35. Korrapärased tähthulknurgad	94

III. Kujundid sirgete ja ringiliste elementidega.

§ 36. Ringikaare ja sirglõigu ning kahe kaare ladusalt liitmine	96
§ 37. Nurkade ümardamine	97
§ 38. Sirgjoone ja ringjoone ladus ühendamine ringikaarega	99
§ 39. Kahe ringjoone ladusalt ühendamine ringikaarega	101
§ 40. Rakenduse näiteid sirgete ja kaarte ladusalt ühendamise alalt (teed, rihmaratas, nutrivõti)	102
§ 41. Sõõrikud: pikersõõrikud ja münasõõrikud	106
§ 42. Karniisid, võlvid ja rosetid	109
§ 43. Ringspiraalid: harilikud ja tigu-ringspiraalid, joonia tigu	114

IV. Koonuslõiked.

	Lk.
§ 44. Lekaalkõvera mõiste. Lekaalsirkel. Kõverusringjoon, puutuja ja normaal	117
§ 45. Ellips	119
§ 46. Hüperbool	123
§ 47. Parabool	127

V. Mitmesuguseid lekaalkõveraid.

§ 48. Veerekõverad. Tsükloidid	132
§ 49. Ringjoone evolvent	135
§ 50. Epitsükloidid	136
§ 51. Kardioid ja Archimedese spiraal	139
§ 52. Hüpotsükloidid	141
§ 53. Sinusoid	145
Märksõnastik	145

Kaanejoonise valmistanud M. Laarman.

Vastutav toimetaja E. Targo.

Keeleline toimetaja N. Rimmel.

Ladumisele antud 2. I 1948. Trükkimisele antud 22. III 1948. Trükiarv 10.200.
Paber 61×86, 1/16. Trükipoognaid 9,5. Trükitähti trükipoognas 42.100. Arvutus-
poognaid 10. MB-01374. Trükikoda „Tartu Kommunist“, Tartu, Ülikooli 21/23.
Tellimise nr. 41.

На эстонском языке.

О. Рюнк. Техника черчения и геометрическое черчение.

