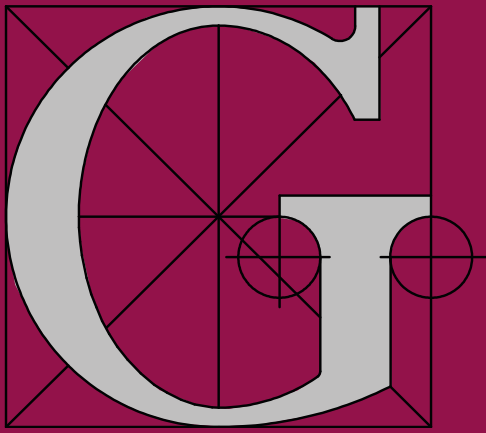




# INSENERIGRAAFIKA



**TAL  
TECH**

Tallinna Tehnikaülikool  
Ehituse ja arhitektuuri instituut



# **INSENERIGRAAFIKA**

Õpiku väljaandmist on toetatud Haridus- ja Teadusministeeriumi programmist „Eestikeelsete kõrgkooliõpikute loomise toetamise põhimõtted 2018–2027“.



HARIDUS- JA  
TEADUSMINISTEERIUM

EESTI  
KEELE  
INSTITUUT

**TAL  
TECH**

Käesolevale õpikule kohaldatakse Creative Commons'i litsents (versioon 4.0)  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Koostaja: Sergei Letunovitš  
Kaaskoostaja: Aurika Nõmm  
Tehnilised toimetajad: Sergei Letunovitš, Aurika Nõmm  
Retsensendid: Olga Ovtšarenko, Alina Sivitski  
Keeletoimetaja: Eva Saul  
Kujundaja: Mirjam Piik  
Kaanefoto: Sergei Letunovitš, Aurika Nõmm, erakogu

Autoriõigus: Tallinna Tehnikaülikool, ehituse ja arhitektuuri instituut, 2026  
ISBN: 978-9916-80-461-2 (pdf)  
DOI: <https://doi.org/10.23658/sk8z-2071>

## SISUKORD

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sisukord.....                                                                        | 3  |
| Eessõna.....                                                                         | 8  |
| I JOONISTE VORMISTAMINE .....                                                        | 9  |
| 1 Joonestusvahendid.....                                                             | 9  |
| 2 Formaadid.....                                                                     | 10 |
| 3 Kirjanurk.....                                                                     | 12 |
| 4 Jooned.....                                                                        | 13 |
| 4.1 Ehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.....                                   | 15 |
| 4.2 Masinaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.....                             | 16 |
| 4.3 Laevaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.....                              | 18 |
| 5 Normkiri .....                                                                     | 19 |
| 6 Mõõtkava.....                                                                      | 21 |
| 7 Jooniste kokku murdmine.....                                                       | 21 |
| Kordamisküsimused .....                                                              | 22 |
| II GEOMEETRILISI KONSTRUKTSIOONE .....                                               | 23 |
| 8 Paralleel- ja ristsirgete joonestamine.....                                        | 23 |
| 9 Sirglõigu jaotamine .....                                                          | 25 |
| 10 Nurga jaotamine võrdseteks osadeks.....                                           | 25 |
| 11 Ringjoone jaotamine võrdseteks osadeks .....                                      | 26 |
| 11.1 Ringjoone jaotamine kolmeks võrdseks osaks .....                                | 26 |
| 11.2 Ringjoone jaotamine neljaks võrdseks osaks .....                                | 26 |
| 11.3 Ringjoone jaotamine viieks võrdseks osaks .....                                 | 27 |
| 11.4 Ringjoone jaotamine kuueks võrdseks osaks .....                                 | 28 |
| 11.5 Ringjoone jaotamine kaheksaks võrdseks osaks .....                              | 28 |
| 11.6 Ringjoone jaotamine kümneks võrdseks osaks .....                                | 28 |
| 11.7 Ringjoone jaotamine kaheteistkümneks võrdseks osaks .....                       | 29 |
| 11.8 Ringjoone jaotamine kui tahes mitmeks võrdseks osaks.....                       | 29 |
| 11.9 Korrapäraste hulknurkade konstrueerimine kolmnurkade abil .....                 | 30 |
| 12 Joonte sujuvühendid .....                                                         | 31 |
| 12.1 Lõikuvate sirgete sujuvühendid, kui on antud ühendusringjoone raadius $r$ ..... | 31 |
| 12.2 Sirge ja ringikaare sujuvühendamine ringikaarega, mille raadius on antud.....   | 31 |
| 12.3 Kahe ringjoone sujuvühendamine ringikaarega, mille raadius on antud.....        | 32 |
| 12.4 Ringjoonele puutuja konstrueerimine.....                                        | 33 |
| Kordamisküsimused .....                                                              | 34 |
| III KUJUTAV GEOMEETRIA.....                                                          | 35 |
| 13 Tähistused.....                                                                   | 35 |
| 14 Projekteerimine.....                                                              | 35 |
| 14.1 Tsentraalprojekteerimine .....                                                  | 36 |
| 14.2 Paralleelprojekteerimine.....                                                   | 37 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 14.3 Ristprojekteerimine .....                              | 38  |
| 14.4 Projektsioonidele esitatavad nõuded .....              | 39  |
| 15 Monge'i meetod.....                                      | 40  |
| 15.1 Punkti kaksvaade.....                                  | 40  |
| 15.2 Punkti kolmvaade.....                                  | 42  |
| 15.3 Sirgjoone kaks- ja kolmvaade .....                     | 44  |
| 15.4 Eriasendilised sirged.....                             | 45  |
| 15.5 Sirglõigu pikkus ja kaldenurgad.....                   | 47  |
| 15.6 Teljevaba kaksvaade.....                               | 50  |
| 15.7 Kahe sirge vastastikune asend.....                     | 51  |
| 15.8 Sirgjoone jälgpunktid .....                            | 53  |
| 15.9 Tasandi kujutamine. Tasandi jälgsirged.....            | 54  |
| 15.10 Eriasendilised tasandid .....                         | 57  |
| 15.11 Punkt ja sirge tasandil.....                          | 60  |
| 15.12 Tasandi nivoosirged .....                             | 61  |
| 15.13 Tasandi langusjooned ja kaldenurgad .....             | 64  |
| 15.14 Tasandite lõikumine ja paralleelsus.....              | 66  |
| 15.15 Sirge ja tasandi lõikumine ja paralleelsus .....      | 70  |
| 15.16 Sirge ja tasandi ristseis .....                       | 72  |
| 15.17 Ristsirged. Risttasandid .....                        | 74  |
| 15.18 Nurgad sirgete ja tasandite vahel.....                | 74  |
| 16 Lisaprojektsioonid .....                                 | 76  |
| 16.1 Lisaprojektsioonide tuletamise viisid.....             | 76  |
| 16.2 Objekti pööramise võte .....                           | 76  |
| 16.3 Lisaakraani võte .....                                 | 80  |
| 17 Aksonomeetria.....                                       | 84  |
| 17.1 Aksonomeetria üldisloomustus.....                      | 84  |
| 17.2 Ristisomeetria.....                                    | 86  |
| 17.3 Standardne ristdimeetria.....                          | 88  |
| 17.4 Frontaalne kaldisomeetria .....                        | 91  |
| 17.5 Frontaalne kalddimeetria ehk kabinetprojektsioon.....  | 92  |
| 17.6 Horisontaalne kaldisomeetria .....                     | 92  |
| 18 Tahukad .....                                            | 94  |
| 18.1 Tahukate liigid.....                                   | 94  |
| 18.2 Punkt tahkkehal .....                                  | 98  |
| 18.3 Tahkkehade aksonomeetriliste kujutiste tuletamine..... | 99  |
| 18.4 Tahuka lõikumine sirgega .....                         | 101 |
| 18.5 Tahkkehade tasandilised lõiked.....                    | 102 |
| 18.5.1 Tahuka lõikumine eriasendilise tasandiga.....        | 103 |
| 18.5.2 Tahuka lõikumine üldasendilise tasandiga.....        | 106 |
| 18.6 Kahe tahuka omavaheline lõikumine .....                | 111 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 19 Kõverjooned ja kõverpinnad .....                             | 113 |
| 19.1 Joonte projektsioonilised omadused.....                    | 113 |
| 19.2 Teist järku jooned.....                                    | 115 |
| 19.3 Kruvi jooned.....                                          | 117 |
| 19.4 Pinnad.....                                                | 119 |
| 19.4.1 Pöördpinnad .....                                        | 120 |
| 19.4.2 Joonpinnad .....                                         | 122 |
| 19.4.3 Üldised teist järku pinnad.....                          | 123 |
| 19.4.4 Kruvipinnad.....                                         | 125 |
| 19.4.5 Tsüklilised pinnad .....                                 | 127 |
| 20 Pöördkehad.....                                              | 127 |
| 20.1 Punkt pöördkehal.....                                      | 129 |
| 20.2 Pöördkehade aksonomeetriliste kujutiste tuletamine .....   | 131 |
| 20.3 Kõverpinna ja tasandi lõikumine.....                       | 134 |
| 20.3.1 Kõverpindade tasandilised lõiked .....                   | 134 |
| 20.3.2 Kõverpinna ja üldasendilise tasandi lõikumine.....       | 142 |
| 20.4 Kõverpinna ja sirge lõikumine .....                        | 143 |
| 20.5 Kõverpindade omavaheline lõikumine.....                    | 146 |
| 20.5.1 Abitasandite võte.....                                   | 146 |
| 20.5.2 Abisfäärade võte .....                                   | 149 |
| 20.6 Pindade laotused.....                                      | 151 |
| 20.6.1 Tahukate pinnalaotuste tuletamine.....                   | 152 |
| 20.6.2 Kõverpindade pinnalaotuste tuletamine .....              | 156 |
| Kordamisküsimused .....                                         | 160 |
| IV TEHNILINE JOONESTAMINE .....                                 | 162 |
| 21 Kujutised.....                                               | 162 |
| 21.1 Põhilised vaated.....                                      | 162 |
| 21.2 Projektsioonide saamise meetodid .....                     | 163 |
| 21.2.1 Projekteerimine esimese ruuminurga meetodil .....        | 163 |
| 21.2.2 Projekteerimine kolmanda ruuminurga meetodil .....       | 164 |
| 21.2.3 Projekteerimine viitenoolte meetodil .....               | 165 |
| 21.2.4 Ehitusjoonistel kasutatavad projekteerimismeetodid ..... | 166 |
| 21.3 Lõiked.....                                                | 167 |
| 21.3.1 Lõike saamine .....                                      | 167 |
| 21.3.2 Lõike tähistamine .....                                  | 167 |
| 21.3.3 Lõikepindade viirutamine .....                           | 169 |
| 21.4 Vaadete kujutamine joonistel .....                         | 170 |
| 21.4.1 Osalised vaated.....                                     | 170 |
| 21.4.2 Sümmeetriliste detailide osalised vaated.....            | 171 |
| 21.4.3 Väljatoodud element .....                                | 172 |
| 21.4.4 Kohtvaated .....                                         | 173 |

|         |                                                             |     |
|---------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 21.4.5  | Külgnevad osad ja kontuurid.....                            | 174 |
| 21.4.6  | Pindade lõikejoone lihtsustatud ja tinglik kujutamine ..... | 174 |
| 21.4.7  | Tasandite eristamine pöördpindadest .....                   | 175 |
| 21.4.8  | Katkestused .....                                           | 176 |
| 21.4.9  | Korduvad elemendid .....                                    | 177 |
| 21.4.10 | Lähtekontuur ja murdejooned pinnalaotusel .....             | 177 |
| 21.4.11 | Väikeste kallete ja koonilisuste kujutamine .....           | 178 |
| 21.4.12 | Liikuvad osad .....                                         | 178 |
| 21.4.13 | Rihveldus.....                                              | 179 |
| 21.4.14 | Toorikute ja detailide joonised.....                        | 179 |
| 21.4.15 | Mitme identse vaatega detailid.....                         | 180 |
| 21.5    | Lõigete kujutamine joonistel.....                           | 181 |
| 21.5.1  | Lõiked ühe tasandiga.....                                   | 181 |
| 21.5.2  | Lõiked mitme tasandiga .....                                | 182 |
| 21.5.3  | Lõiketasandile pööratud elemendid.....                      | 183 |
| 21.5.4  | Ristlõiked .....                                            | 183 |
| 21.5.5  | Poolvaatlõiked.....                                         | 185 |
| 21.5.6  | Kohtlõige.....                                              | 185 |
| 22      | Ehitusjooniste vormistamise üldised eeskirjad.....          | 186 |
| 22.1    | Tähistus .....                                              | 186 |
| 23      | Joonise mõõtmestamine.....                                  | 186 |
| 23.1    | Mõõtmestamise elemendid.....                                | 186 |
| 23.2    | Mõõtmete paigutus .....                                     | 192 |
| 23.2.1  | Mõõtmestamise üldised juhised .....                         | 192 |
| 23.2.2  | Ahelmõõtmestamine.....                                      | 193 |
| 23.2.3  | Paralleelmõõtmestamine .....                                | 193 |
| 23.2.4  | Jadamõõtmestamine .....                                     | 193 |
| 23.2.5  | Koordinaatmõõtmestamine .....                               | 195 |
| 23.2.6  | Tabelmõõtmestamine .....                                    | 196 |
| 23.3    | Mõõtmestamise näiteid.....                                  | 196 |
| 23.3.1  | Raadiuse mõõtmestamine.....                                 | 196 |
| 23.3.2  | Läbimõõdu mõõtmestamine .....                               | 197 |
| 23.3.3  | Sfääri mõõtmestamine.....                                   | 198 |
| 23.3.4  | Kaare, kõõlu ja nurga mõõtmestamine.....                    | 198 |
| 23.3.5  | Ruudu mõõtmestamine.....                                    | 199 |
| 23.3.6  | Kalde mõõtmestamine.....                                    | 199 |
| 23.3.7  | Koonilisuse mõõtmestamine .....                             | 200 |
| 23.3.8  | Faasi mõõtmestamine.....                                    | 200 |
| 23.3.9  | Korduvate elementide mõõtmestamine .....                    | 201 |
| 23.3.10 | Sümmeetriliste elementide mõõtmestamine.....                | 203 |
| 23.3.11 | Tasemete kõrguse tähistamine .....                          | 203 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 23.3.12 Painutatud objektide mõõtmestamine .....            | 203 |
| 23.3.13 Õhukesest materjalist objektide mõõtmestamine ..... | 204 |
| 23.3.14 Piiratud alade mõõtmestamine .....                  | 205 |
| 23.3.15 Kõverjooneliste profiilide mõõtmestamine .....      | 206 |
| 23.3.16 Avade kujutamine ja mõõtmestamine .....             | 206 |
| 24 Keermed .....                                            | 209 |
| 24.1 Keermete kujutamine .....                              | 209 |
| 24.2 Keermete tähistamine joonisel .....                    | 214 |
| 24.2.1 Meeterkeere .....                                    | 214 |
| 24.2.2 Tollkeere .....                                      | 215 |
| 24.2.3 Torukeere .....                                      | 215 |
| 24.2.4 Trapetskeere .....                                   | 216 |
| 24.2.5 Tugikeere .....                                      | 217 |
| 24.2.6 Ruutkeere .....                                      | 217 |
| 24.2.7 Keermestatud avade mõõtmestamise näiteid .....       | 218 |
| 25 Pinnakaredus .....                                       | 220 |
| 26 Tolerantsid ja istud .....                               | 225 |
| 26.1 Mõisted .....                                          | 225 |
| 26.2 Istud .....                                            | 226 |
| 26.3 Pinna kuju ja asendi tolerantsid .....                 | 229 |
| 27 Detaili eskiis .....                                     | 235 |
| 28 Detaili tööjoonis .....                                  | 237 |
| 29 Koostejoonis .....                                       | 238 |
| 30 Tükitabel .....                                          | 239 |
| Kordamisküsimused .....                                     | 241 |
| Kasutatud materjalid .....                                  | 243 |

## EESSÕNA

Insenerigraafika on universaalne keel, mis võimaldab ideid, konstruktsioone ja mehhanisme täpselt ja üheselt mõistetavalt edasi anda. Selle õpiku eesmärk on toetada ning anda süsteemne ülevaade kujutava geomeetria ja tehnilise joonestamise alustest.

Kujutaval geomeetrial kui matemaatika eriharul on väga suur roll ruumilise mõtlemise arendamisel. See õpetab, kuidas kujutada kolmemõõtmelisi objekte kahemõõtmelisel joonisel ja vastupidi, kasutades mitmesuguseid projektsioonimeetodeid. Kujutava geomeetria oskus on hädavajalik, et mõista ja analüüsida keerukaid ruumilisi seoseid, määrata lõikeid, vaateid ja tegelikke mõõtmeid. See loob tugeva aluse edasisteks inseneriõpinguteks ja praktiliseks projekteerimistööks.

Tehniline joonestamine on praktiline tööriist, mille abil ideed muudetakse arusaadavateks ja teostatavateks joonisteks. See hõlmab standardite järgimist, täpset mõõdistamist, vaadete ja lõigete koostamist ning detailide ja koostude dokumenteerimist. Tehniline joonestamine tagab, et inseneridel, tootjatel ja koostööpartneritel on ühine arusaam projekteeritavast objektist. Selleks on Euroopas kasutusele võetud ISO standardid, mis määratlevad, kuidas tehnilised joonised peavad olema koostatud, et neid mõistetaks ühtmoodi olenemata riigist, ettevõttest ja valdkonnast. See on eriti oluline rahvusvahelises koostöös, kus joonised liiguvad eri osapoolte vahel. Selles õpikus on keskendutud valdavalt masinaehitusjoonistele.

Õpik aitab õppijal omandada nii teoreetilised teadmised kui ka praktilised oskused, mis on vajalikud edukaks tegutsemiseks tehnika- ja insenerivaldkonnas. See on abiks nii iseseisval õppimisel kui ka juhendatud tegevuses, nii valdkonnas alles alustavatele kui ka juba kogenumatele tegijatele.

Aitäh endistele ja praegustele kolleegidele, kes on ühel või teisel viisil kaasa aidanud selle õpiku valmimisele!

# I JOONISTE VORMISTAMINE

## 1 JOONESTUSVAHENDID

Jooniseid valmistatakse nii pliiatsiga paberil kui ka kasutades arvutigraafikaprogramme. Käsitsi joonestamisel kasutatakse mitmesuguseid joonestusvahendeid.

**Pliiatsid.** Peamine tööriist käsitsi tehniliste jooniste valmistamisel on pliiats. Joonisel 1.1 on toodud kasutatavad pliiatsid. Pliiatsisüdamikke valmistatakse erineva kõvadusega. Tähis „H“ tähistab kõva ja tähis „B“ pehmet pliiatsisüdamikku. Number tähise ees märgib vastava omaduse astet.



**Joonis 1.1.** Joonestamisel kasutatavad pliiatsid: a – puitümbrisega pliiats, b – mehhaaniline pliiats.

Üldiselt kasutatakse tehniliste jooniste jaoks kolme tüüpi pliiatseid: HB, H ja 2H. Nende pliiatsite kasutamine võiks olla järgmine:

- HB (keskmise kõvadusega) – eskiisimiseks ja kirjutamiseks;
- H (suhteliselt kõvad) – laiemate joonte tõmbamiseks,
- 2H (kõvad) – kitsaste joonte tõmbamiseks.

Arvestada tuleb sellega, et kõik jooned ja kirjad peavad olema mustad, mitte hallid.

**Joonsirkl.** Joonsirkleid (joonis 1.2) kasutatakse kaarte ja ringjoonte joonestamiseks. Joonsirkli ühes liigendharu pesas on nõi ja teises hoidik grafiitsüdamiku või pliiatsi jaoks.



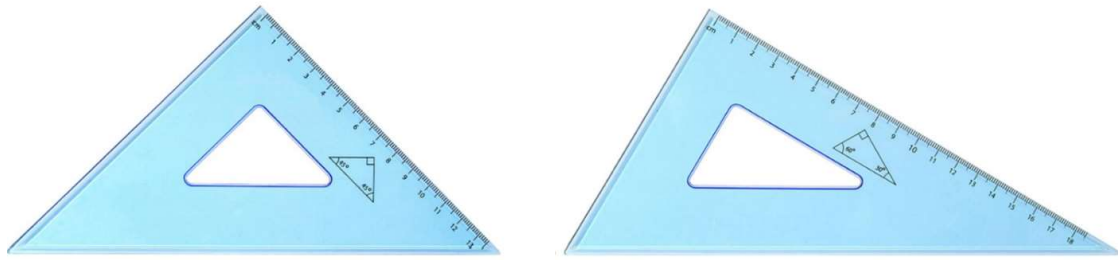
**Joonis 1.2.** Joonsirkliid.



**Joonis 1.3.** Mõõtsirkl.

**Mõõtsirkl.** Mõõtsirkli (joonis 1.3) mõlemas liigendharus on nõi. Mõõtsirkleid kasutatakse kahe punkti vahelise kauguse mõõtmiseks ja pikkuste ülekandmiseks.

**Joonestuskolmnurgad.** Joonestuskolmnurki on kahesuguseid (joonis 1.4): teravnurkadega  $45^\circ$  ja  $45^\circ$  ning teravnurkadega  $30^\circ$  ja  $60^\circ$ . Joonestamisel läheb tarvis mõlemat kolmnurka, kusjuures eriti täpne peab olema nende täisnurk.

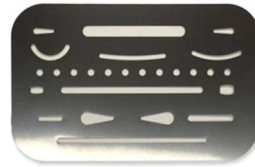


**Joonis 1.4.** Joonestuskolmnurgad.

**Kustutuskumm ja kustutusplaat.** Tööks sobilik kustutuskumm (joonis 1.5) on pehme, ei kraabi ega libise paberil, eemaldab grafiiti ega määri paberit. Kui joonis koosneb paljudest joontest, on otstarbekas liigsed pliiatsi-jooned maha kustutada läbi õhukesest terasplekist kustutusplaadi (joonis 1.6) avade või pilude.



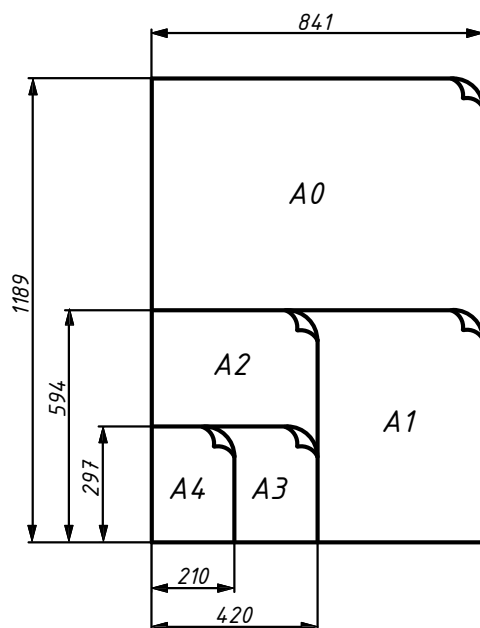
**Joonis 1.5.** Kustutuskumm



**Joonis 1.6.** Kustutusplaat.

## 2 FORMAADID

Joonised tehakse kindla suuruse ehk formaadiga paberile. Põhiformaadid (ISO-A seeria) saadakse  $1 \text{ m}^2$  suuruse pindalaga paberi, mille mõõtmed on  $841 \times 1189 \text{ mm}$  (EVS-EN ISO 216), pikema külje järkjärgulise poolitamise teel (joonis 1.7). Jooniste põhiformaadid on kindlaks määratud standardiga ISO 5457.



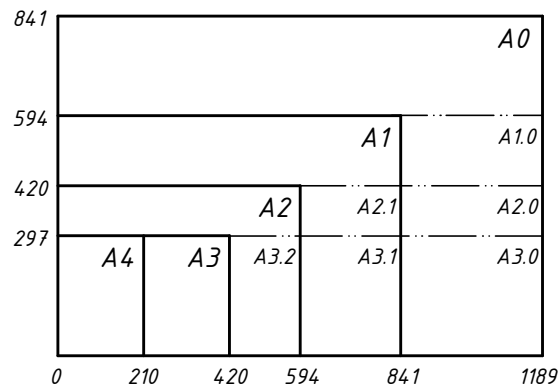
**Joonis 1.7.** Põhiformaatide saamine, tähised ja mõõtmed.

Põhiformaatide tähised ja mõõtmed on järgmised:

- A0,  $841 \times 1189 \text{ mm}$ ;
- A1,  $594 \times 841 \text{ mm}$ ;
- A2,  $420 \times 594 \text{ mm}$ ;
- A3,  $297 \times 420 \text{ mm}$ ;
- A4,  $210 \times 297 \text{ mm}$ .

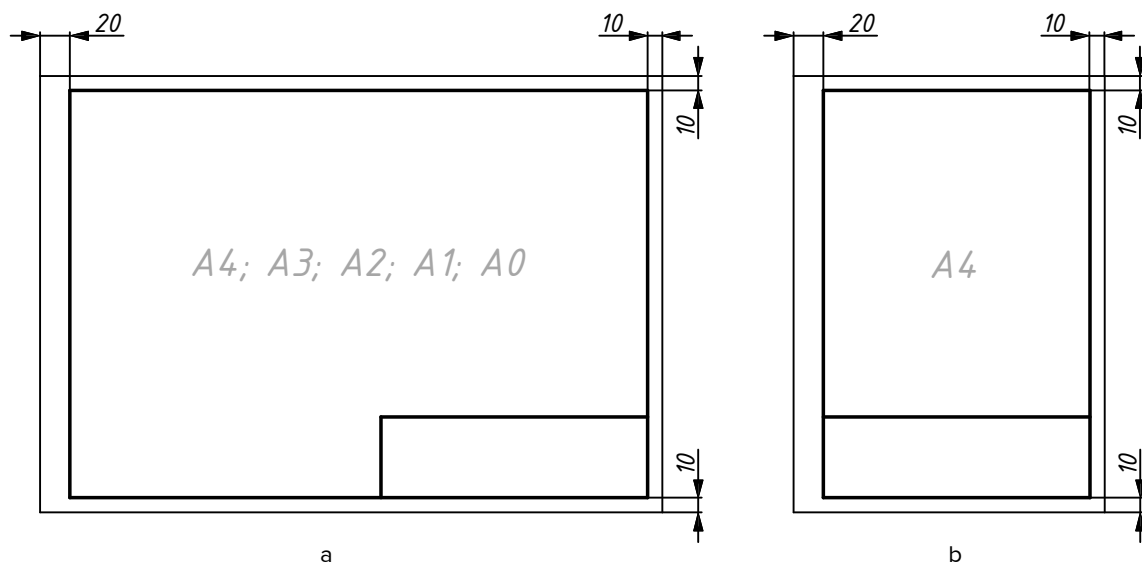
Standardi EVS-EN ISO 5457:2001/A1:2010 järgi võib formaate suurusega A3 kuni A0 paigutada ainult horisontaalsetena. Formaati suurusega A4 on lubatud paigutada nii horisontaalsena kui ka vertikaalsena.

**Pikendatud mõõtmatega formaadid** saadakse A-formaadi lühema külje mõõtmete ja järgmise suurema A-formaadi pikema külje mõõtmete kombinatsioonina (joonis 1.8). Näiteks formaadi A2 lühema ja A1 pikema külje kombinatsioonina saadakse suurus A2.1. Pikendatud mõõtmatega formaate tuleks võimaluse korral vältida.



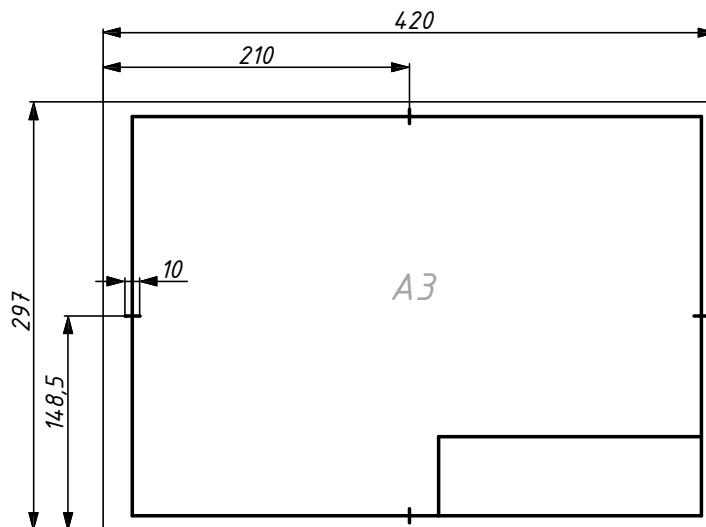
**Joonis 1.8.** Pikendatud mõõtmatega formaatide saamine.

**Raamjoon.** Joonisele lisatakse raamjoon. Raamjoon joonestatakse laia pidevjoonega, mille laius on soovituslikult 0,5 või 0,7 mm sõltuvalt sellest, milline joone laius on võetud põhijooneks. Selle kaugus formaatile vasakust servast on 20 mm ja ülejäänud servadest 10 mm (joonis 1.9).



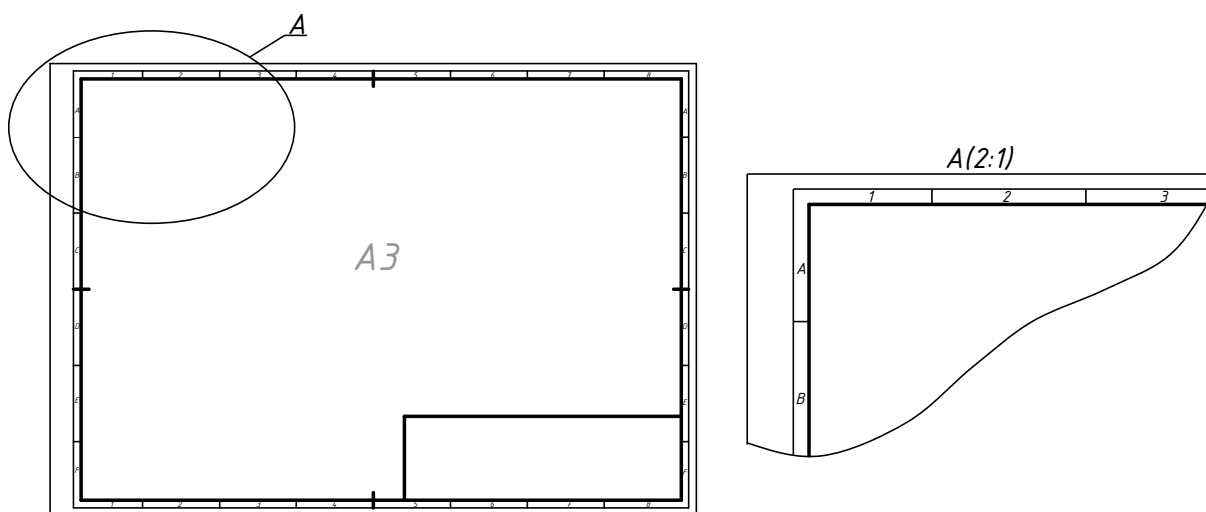
**Joonis 1.9.** Raamjoone ja kirjanurga paigutus: a – formaatidel A4 kuni A0, b – formaadi A4 vertikaalses asendis.

**Tsentreerimismärgid.** Tsentreerimismärke kasutatakse joonise positsioneerimise lihtsustamiseks kopeerimisel. Need märgid joonestatakse laia pidevjoonega (0,7 mm) ja paigutatakse lehe iga külje keskele. Tsentreerimismärgid ulatuvad 5 mm üle raamjoone ja on pikkusega 10 mm (joonis 1.10).



Joonis 1.10. Tsentreerimismärgid formaadil A3.

**Ruudustiku viitesüsteem ehk väljad.** Formaadi jaotamist väljadeks kasutatakse eesmärgiga lihtsustada objekti detailide leidmist, paranduste ja täienduste paigutamist keerulisematel joonistel ning üksik- osade leidmist koostejoonistel (joonis 1.11). Ruudustik joonestatakse kitsa pidevjoonega raamjoonest välja- poole 5 mm kaugusele. Välja pikkuseks on 50 mm ja mõõtmist alustatakse tsentreerimismärkidest mõlemale poole. Kui formaatidel A3 kuni A0 on ruudustik ümber raamjoone, siis formaadil A4 on üleval ja paremal pool. Väljad tähistatakse vasakult paremale numbritega ja ülalt alla suurtähtedega kirja kõrgusega 3,5 mm.



Joonis 1.11. Ruudustiku kandmine joonisele.

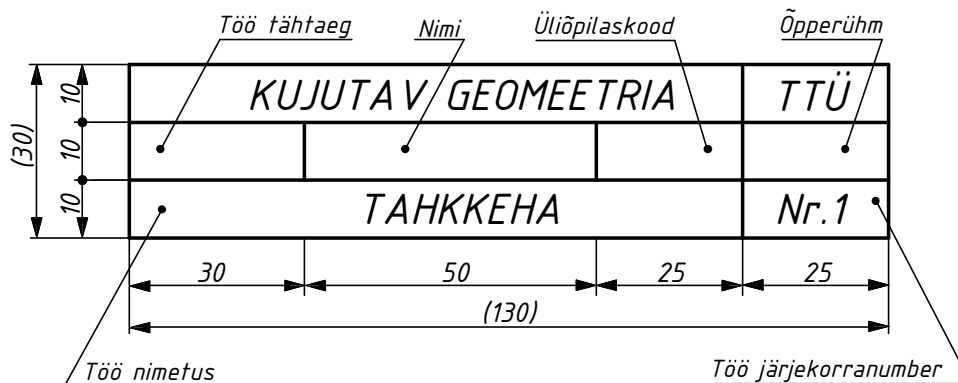
### 3 KIRJANURK

Kirjanurk paigutatakse alati joonise alumisse parempoolsesse nurka. Kirjanurk toetub kahe küljega vastu raamjoont (joonis 1.9).

Standardis EVS-EN ISO 7200 toodud kirjanurga kohta üldised põhimõtted ja soovitused. Firmad ja ettevõtted peavad välja töötama endale sobiliku kirjanurga vormi.

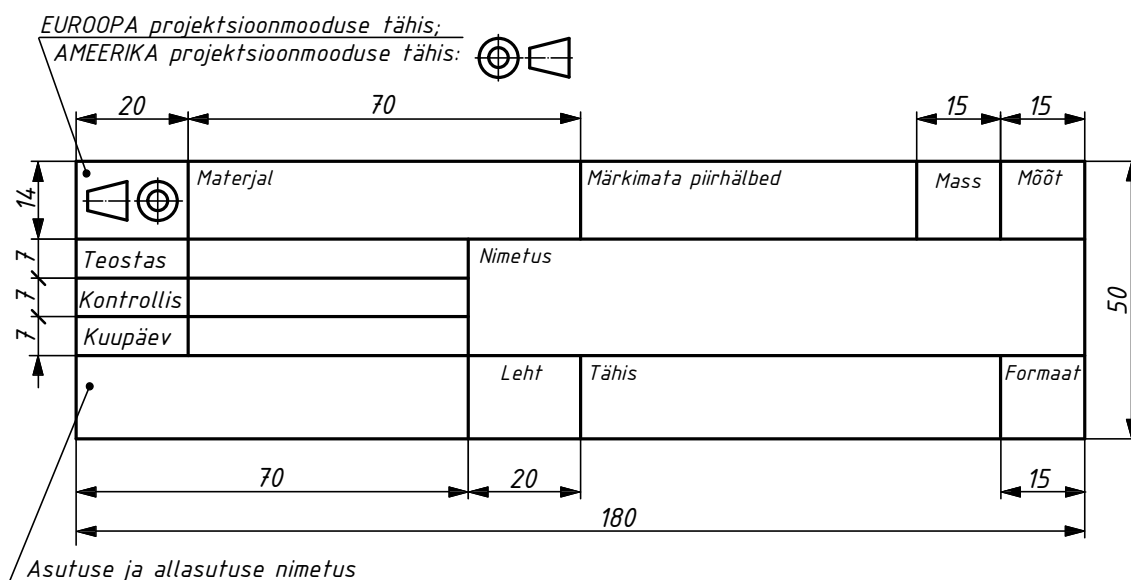
Joonistel 1.12 on toodud tehnilise graafika kursuse kujutava geomeetria osas ja joonisel 1.13 tehnilise joonestamise osas kasutatav kirjanurk.

Kirjanurka kantakse järgmised andmed: dokumendi tähis, toote nimetus, firma nimi või selle lühend, joonise autor ja kontrollija nimi, kuupäev. Standard soovitab väljapoole kirjanurka kanda järgmised andmed: projektsioonimeetodi sümbol, mõõtkava, joonisel näitamata piirhálbed. Joonisel 1.13 toodud kirjanurgas on need andmed koondatud kirjanurga ülaossa.



Joonis 1.12. Kujutava geomeetria osas kasutatav kirjanurk.

Selgitused ja teksti kujul esitatavad tehnilised nõuded paigutatakse kas kirjanurga kõrvale või kirjanurga kohale. Selgitusena võib anda näiteks pinnakareduse tähiseid, nõudeid materjali termilise või termokeemilise töötlemise kohta, märkimata ülemineku- ja ümardusraadiused, „kraat ja teravad nurgad eemaldada“, materjali kõvadus HRC või HB, pinnakate ja pinnatöötluste jm info. Erinevad selgitused või nõuded nummerdatakse. Kui selgitusi on ainult üks, siis järjekorranumbrit ette ei kirjutata.

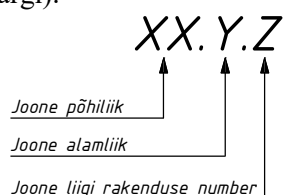


Joonis 1.13. Tehnilise joonestamise osas kasutatav kirjanurk.

## 4 JOONED

Joonisel kasutatakse eri tüüpi jooni. Igal joonel on oma tähendus – see aitab joonist korrektselt vormistada ja hõlbustab selle lugemist. Standard EVS-EN ISO 128-2 kehtestab tehnilistel joonistel kasutatavate joonte põhilised tüübid, nende kirjeldused, kuju, laiused, joonte elementide mõõtmed, samuti üldised reeglid tehnilistel joonistel kasutatavate joonte joonestamiseks.

Joone tähistus koosneb joone põhi- ja alamliigi (joone laius) ning joone liigi rakenduse numbriga kombinatsioonist (joonis 1.14). Tabelis 1.1 on toodud tehnilistel joonistel enam kasutatavate joonte põhiliigid (numeratsioon standardi EVS-EN ISO 128-2 järgi).



Joonis 1.14. Joone tähistamise skeem.

**Tabel 1.1.** Joonte põhiligid (EVS-EN ISO 128-2).

| NR. | JOONE KUJUTIS                                                                     | NIMETUS                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 01  |  | Pidevjoon                     |
| 02  |  | Kriipsjoon                    |
| 04  |  | Pikk-kriipspunktjoon          |
| 05  |  | Pikk-kriipskakspunktjoon      |
| 09  |  | Lai pikk-kriipskakspunkt joon |

Joonte alamliigid on:

- kitsasjoon (.1);
- laijoon (.2);
- ülilaijoon (.3).

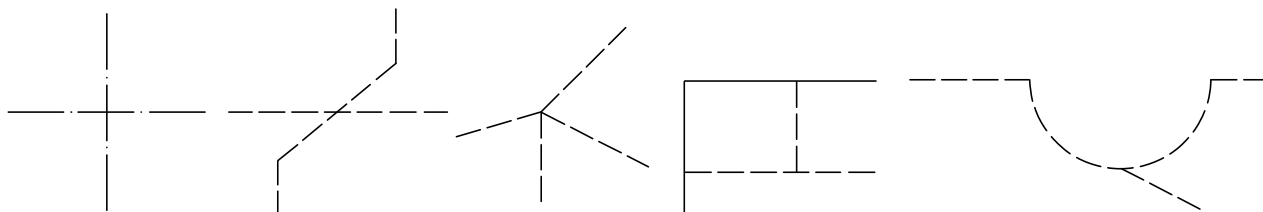
Ülilaiade, laiade ja kitsasjoonte laiuste suhe on vahekorras 4:2:1. Standard ei määra konkreetset joone laiust. Standardi järgi on joonisel kasutatavate põhijoonte laiused ( $d$ ) piiratud järgmise laiuste rea alusel: 0,13; 0,18; 0,25; 0,35; 0,5; 0,7; 1,0; 1,4 ja 2,0 mm. Soovituslikud põhijoonte eelislaiused on 0,5 ja 0,7 mm. Joone laius sõltub joonise suurusest ja kujutiste keerukusest. Tuleb jälgida, et ühel ja samal joonisel võetud joonte laiused oleksid ühesugused. Graafiliste sümbolite ja kirja kirjutamiseks kasutatakse joone laiust, mis jääb kitsa ja laia joone laiuse vahele.

Standardiga EVS-EN ISO 128-2 on määratud joone elementide mõõdud, mis on toodud tabelis 1.2. Joone elementide pikkuste arvutamisel on võetud aluseks joone laius ( $d$ ).

**Tabel 1.2.** Joone elementide mõõdud (EVS-EN ISO 128-2).

| JOONE ELEMENT | NR           | PIKKUS               |
|---------------|--------------|----------------------|
| Punkt         | 04 ja 05     | $\leq d$             |
| Lühike kriips | 09           | $6 \cdot d$          |
| Kriips        | 02           | $12 \cdot d$         |
| Pikk kriips   | 04 ja 05     | $\approx 24 \cdot d$ |
| Tühik         | 02, 04 ja 05 | $3 \cdot d$          |

Paralleeljoonte vaheline kaugus ei tohi joonisel olla väiksem kui 0,7 mm. Standardis EVS-EN ISO 128-2 on välja toodud võimalused, kuidas peaksid joonisel olema eelistatavalt kujutatud joonte liikide nr 02; 04 ja 05 lõike- ja sõlmpunktid (joonis 1.15).



**Joonis 1.15.** Joonte lõike- ja sõlmpunktide kujutised.

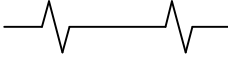
Standardis EVS-EN ISO 128-2 on välja toodud järgmiste tehnikavaldkondade joonte liigid ja nende põhilised kasutusala:

- Ehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid (tabel 1.3);
- Masinaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid (tabel 1.4);
- Laevaehtusjoonistel kasutatavad joonte liigid (tabel 1.5).

## 4.1 EHITUSJOONISTEL KASUTATAVAD JOONTE LIIGID

Tabelis 1.3 on toodud ehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid koos kasutusalaadega.

**Tabel 1.3.** Ehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.

| NR   | NIMETUS                     | JOONE KUJUTIS                                                                       | KASUTUSALA                                                                                                                                          |
|------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.1 | Kitsas pidevjoon            |    | Erinevate materjalide piirid vaatel, lõikel                                                                                                         |
|      |                             |                                                                                     | Viirusjooned                                                                                                                                        |
|      |                             |                                                                                     | Diagonaalid avade, aukude ja süvendite tähistamiseks                                                                                                |
|      |                             |                                                                                     | Noolejooned treppidel, kaldteedel ja kallakutel (tähistavad ülemist tasandit)                                                                       |
|      |                             |                                                                                     | Moodulvõrgustik, esimene aste                                                                                                                       |
|      |                             |                                                                                     | Lühikesed tsentrijooned                                                                                                                             |
|      |                             |                                                                                     | Distsantsjooned                                                                                                                                     |
|      |                             |                                                                                     | Mõõtjooned ja nende nooleotsad                                                                                                                      |
|      |                             |                                                                                     | Viitejooned, viitejoonte laudid ehk riulid                                                                                                          |
|      |                             |                                                                                     | Olemasolevad piirjooned maastiku tehnilistel joonistel                                                                                              |
|      |                             |                                                                                     | Osade nähtaval olevad piirjooned                                                                                                                    |
|      |                             |                                                                                     | Lihtsustatud esitus, näiteks uksed, aknad, trepid plaanijoonistel, sisseseaded                                                                      |
|      | Kitsas vabakäe-pidevjoon    |    | Detailplaneeringutel, asendiplaanidel samakõrgusjooned                                                                                              |
|      | Kitsas siksak-pidevjoon     |   | Osaliste või katkestatud vaadete, lõigete ja ristlõigete piirid, kui piir ei ole joon 04.1                                                          |
| 01.2 | Lai pidevjoon               |  | Osade nähtavad piirjooned lõikel, kui kasutatakse viirutust                                                                                         |
|      |                             |                                                                                     | Erinevate materjalide piirid vaatel ja lõikel                                                                                                       |
|      |                             |                                                                                     | Osade nähtavad piirjooned vaatel                                                                                                                    |
|      |                             |                                                                                     | Lihtsustatud esitus, näiteks uksed, aknad, trepid plaanijoonistel, sisseseaded                                                                      |
|      |                             |                                                                                     | Moodulvõrgustik, teine aste                                                                                                                         |
|      |                             |                                                                                     | Noolejooned vaadete tähistamiseks                                                                                                                   |
|      |                             |                                                                                     | Kavandatud piirjooned maastiku tehnilistel joonistel                                                                                                |
| 01.3 | Ülilai pidevjoon            |  | Osade nähtavad piirjooned lõikel ja ristlõikel, kui viirutust ei kasutata                                                                           |
|      |                             |                                                                                     | Armeerimisvardad                                                                                                                                    |
|      |                             |                                                                                     | Erilist tähtsust omavad jooned                                                                                                                      |
|      |                             |                                                                                     | Noolejooned lõigete tähistamiseks                                                                                                                   |
| 02.1 | Kitsas kriipsjoon           |  | Olemasolevad piirjooned maastiku tehnilistel joonistel                                                                                              |
|      |                             |                                                                                     | Taimestiku või haljastuse jaotamine                                                                                                                 |
|      |                             |                                                                                     | Varjatud kontuurid                                                                                                                                  |
| 02.2 | Lai kriipsjoon              |  | Varjatud kontuurid                                                                                                                                  |
| 02.3 | Ülilai kriipsjoon           |  | Alumise kihi tugevdusvardad tasapinnal ja kaugemal kihil kõrgemal, kui samal joonisel on näidatud alumine ja ülemine kiht ning lähim ja kaugem kiht |
| 04.1 | Kitsas pikk-kriipspunktjoon |  | Lõiketasadid                                                                                                                                        |
|      |                             |                                                                                     | Tsentrijooned                                                                                                                                       |
|      |                             |                                                                                     | Sümmeetriatelgjooned (mille otsad on tähistatud kahe kitsa ja lühikese paralleelse joonega, mis on tõmmatud täisnurga all).                         |
|      |                             |                                                                                     | Suurendatud detailide raamimine                                                                                                                     |
|      |                             |                                                                                     | Viitejoon                                                                                                                                           |
|      |                             |                                                                                     | Osaliste või katkestatud vaadete ja lõigete piirid (eriti lühikeste joonte ja kitsaste olude puhul)                                                 |

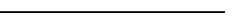
**Tabeli 1.3.** järg.

| NR   | NIMETUS                           | JOONE KUJUTIS                                                                     | KASUTUSALA                                                                                                                                                                                                  |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 04.2 | Lai pikk-kriipspunkt joon         |  | Lõiketasapinna ees asuvate nähtavate osade piirjooned                                                                                                                                                       |
| 04.3 | Ülilai pikk-kriipspunkt joon      |  | Lõiketasapinna asukohta näitav joon<br>Liikuvate osade alternatiivsed ja äärmised asendid<br>Pinna katte tähis, nt fassaadi, voodri, keraamilised plaadid<br>Piirjooned lepingutele, etappidele, tsoonidele |
| 05.1 | Kitsas pikk-kriipskaks-punkt joon |  | Liikuvate osade võimalikud ja piirasendid<br>Raskuskeset märkivad jooned<br>Külgnevate detailide kontuurid<br>Ripplae lihtsustatud kujutamine                                                               |
| 05.2 | Lai pikk-kriipskaks-punkt joon    |  | Lõiketasapinna ees asuvate varjatud elementide kontuurid                                                                                                                                                    |
| 05.3 | Ülilai pikk-kriipskaks-punkt joon |  | Eelpingestatud tugevdusvardad ja -kaablid                                                                                                                                                                   |
| 07.1 | Kitsas punktjoon                  |  | Projektile mittekuuluvate osade kontuurid                                                                                                                                                                   |

## 4.2 MASINAEHITUSJONISTEL KASUTATAVAD JOONTE LIIGID

Tabelis 1.4 on toodud masinaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid koos kasutusalaadega.

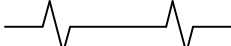
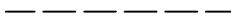
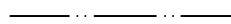
**Tabel 1.4.** Masinaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.

| NR   | NIMETUS                  | JOONE KUJUTIS                                                                       | KASUTUSALA                                                                                                                                                     |
|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.1 | Kitsas pidevjoon         |  | Pindade kujuteldavad lõikejooned                                                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Mõõtjooned                                                                                                                                                     |
|      |                          |                                                                                     | Distantsjooned                                                                                                                                                 |
|      |                          |                                                                                     | Viitejooned ja nende laudid                                                                                                                                    |
|      |                          |                                                                                     | Viirutusjooned                                                                                                                                                 |
|      |                          |                                                                                     | Peale joonestatud ristlõike kontuurid                                                                                                                          |
|      |                          |                                                                                     | Lühikesed tsentrijooned                                                                                                                                        |
|      |                          |                                                                                     | Keerme põhjajoon                                                                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Mõõtjoonte lähtepunktid ja nooleotsad                                                                                                                          |
|      |                          |                                                                                     | Diagonaaljooned tasandiliste pindade näitamiseks                                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Painutusjooned vaatel ja pinnalaotusel                                                                                                                         |
|      |                          |                                                                                     | Detaili väljatoodavat elementi piiritlev joon                                                                                                                  |
|      |                          |                                                                                     | Joon korduvate elementide tinglikuks näitamiseks                                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Mõõtmestamise ja tolereerimise mõõtjooned (koonustele ja kiiludele)                                                                                            |
|      |                          |                                                                                     | Kihtide asukoht                                                                                                                                                |
|      |                          |                                                                                     | Projektsioonijooned                                                                                                                                            |
|      |                          |                                                                                     | Võrgustikujooned                                                                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Koordinaatsüsteemi teljed                                                                                                                                      |
|      | Kitsas vabakäe-pidevjoon |  | Osaliselt kujutatud vaadete, lõigete ja ristlõigete käsitsi tõmmatavad katkestusjooned, kui need kujutised ei ole piiratud sümmeetriatelje või tsentrijoonega  |
|      | Kitsas siksak-pidevjoon  |  | Osaliselt kujutatud vaadete, lõigete ja ristlõigete arvutiga tõmmatavad katkestusjooned, kui need kujutised ei ole piiratud sümmeetriatelje või tsentrijoonega |

**Tabeli 1.4.** järg.

| NR   | NIMETUS                        | JOONE KUJUTIS                                                                       | KASUTUSALA                                                                                                     |
|------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.2 | Lai pidevjoon                  |    | Nähtavad servajooned                                                                                           |
|      |                                |                                                                                     | Nähtavad piirjooned                                                                                            |
|      |                                |                                                                                     | Kruvikeerme harjajooned                                                                                        |
|      |                                |                                                                                     | Keerme tööprofili lõpujoon                                                                                     |
|      |                                |                                                                                     | Graafikute, diagrammide ja kaartide peamised esitusjooned                                                      |
|      |                                |                                                                                     | Konstruktiooni struktuuri näitavad jooned                                                                      |
|      |                                |                                                                                     | Valuvormi vaadetel lahutuspinna jooned                                                                         |
|      |                                |                                                                                     | Vaate suunda näitavate noolte jooned                                                                           |
| 01.3 | Ülilai pidevjoon               |    | Lõigete ja ristlõigete vaate suunda näitavate noolte jooned                                                    |
| 02.1 | Kitsas kriipsjoon              |    | Varjatud servad                                                                                                |
|      |                                |                                                                                     | Varjatud kontuurjooned                                                                                         |
| 02.2 | Lai kriipsjoon                 |    | Pinnatöötamiseks lubatava piirkonna märgistusjoon (näiteks termiline töötlemine, pinnakatted)                  |
| 04.1 | Kitsas pikk-kriipspunktjoon    |    | Tsentrijooned                                                                                                  |
|      |                                |                                                                                     | Sümmeetriateljooned                                                                                            |
|      |                                |                                                                                     | Hammasratta jaotusringjoon, hammaslati jaotusjoon                                                              |
|      |                                |                                                                                     | Avade jaotusringjoon                                                                                           |
|      |                                |                                                                                     | Pindkarastamiseks eeldatud või soovitud pinna märgistusjoon                                                    |
|      |                                |                                                                                     | Lõikejoon                                                                                                      |
|      |                                |                                                                                     | Lõiketasand                                                                                                    |
| 04.2 | Lai pikk-kriipspunktjoon       |  | Pinnatöötamiseks nõutud (piiratud) piirkonna märgistusjoon, näiteks termiline töötlemine                       |
| 04.3 | Ülilai pikk-kriipspunktjoon    |  | Lõiketasapinna asukohta näitav joon                                                                            |
| 05.1 | Kitsas pikk-kriipskaspunktjoon |  | Külgnevate detailide kontuurid                                                                                 |
|      |                                |                                                                                     | Liikuvate osade piirasendeid märkivad jooned                                                                   |
|      |                                |                                                                                     | Raskuskeset märkivad jooned                                                                                    |
|      |                                |                                                                                     | Viitejooned ja nende laudid                                                                                    |
|      |                                |                                                                                     | Eseme lähtekontuur enne painutamist                                                                            |
|      |                                |                                                                                     | Eseme alternatiivsete kuju- või paigutusvariantide piirjooned                                                  |
|      |                                |                                                                                     | Eseme lõplikku kuju näitavad jooned tooriku kujutise taustal                                                   |
|      |                                |                                                                                     | Üksikpiirkondade raamistusjoon liimimiseks, jootmiseks                                                         |
|      |                                |                                                                                     | Projekteeritud tolerantsi tsoon                                                                                |
|      |                                |                                                                                     | Optilised teljed                                                                                               |
|      |                                |                                                                                     | Mehaanilisel töötlemisel kasutatud konstruktsiooni piirjoonte tähistus, painutusjooned vaatel ja pinnalaotusel |
|      |                                |                                                                                     | Nullpunkti suhtes määratud ala piirjoon, detaili väljatoodavat elementi piiritlev joon                         |
| 07.2 | Lai punktjoon                  |  | Märge pindade kohta, kus kuumtöötlemine ei ole lubatud                                                         |
| 09.2 | Lai pikk-kriipskaspunktjoon    |  | Olukorra tunnus (mitte-mediaanse tunnusena)                                                                    |

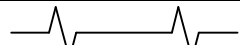
**Projektsiooniliselt kattuvad jooned.** Kui kaks või enam eri liiki joont kattuvad, siis joonestatakse see koht sellise joonega, mis on järgnevas loetelus eespool.

|                                                           |      |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Nähtavad serva- ja kontuurjooned                       | 01.2 |  |
| 2. Osaliselt kujutatud vaadete ja lõigete katkestusjooned | 01.1 |  |
| Osaliselt kujutatud vaadete ja lõigete katkestusjooned    | 01.1 |  |
| Varjatud servad ja kontuurjooned                          | 02.1 |  |
| 3. Varjatud kontuurid                                     | 02.2 |  |
| Lõiketasapinna asukohta näitav joon                       | 04.3 |  |
| Märge pindade kohta, kus kuumtöötlamine ei ole lubatud    | 07.2 |  |
| 4. Tsentri- ja sümmeetriatelgjooned                       | 04.1 |  |
| 5. Raskuskeset märkivad jooned                            | 05.1 |  |
| 6. Distsantsjooned                                        | 01.1 |  |

### 4.3 LAEVAEHITUSJOONISTEL KASUTATAVAD JOONTE LIIGID

Tabelis 1.5 on toodud laevaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid koos kasutusalaadega.

**Tabel 1.5.** Laevaehitusjoonistel kasutatavad joonte liigid.

| NR   | NIMETUS                  | JOONE KUJUTIS                                                                       | KASUTUSALA                                                                                                                                |
|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01.1 | Kitsas pidevjoon         |    | Nähtavad servad                                                                                                                           |
|      |                          |                                                                                     | Õmblused ja põkkühendused                                                                                                                 |
|      |                          |                                                                                     | Nähtavad profiilid                                                                                                                        |
|      | Kitsas vabakäe-pidevjoon |  | Vabakäega või vabas vormis joonestatud osaliste või katkendlike vaadete ja lõigete piirid, kui piir ei ole sümmeetriajoon või tsentrijoon |
|      | Kitsas siksak-pidevjoon  |  | Eelistatavalt arvutiga tõmmatud osalise või katkestatud vaadete ja lõigete piirid, kui piir on ei ole sümmeetriajoon või tsentrijoon      |
| 01.2 | Lai pidevjoon            |  | Välisplaadistus                                                                                                                           |
|      |                          |                                                                                     | Laevatekid                                                                                                                                |
|      |                          |                                                                                     | Topeltpõhi või tangi katus                                                                                                                |
|      |                          |                                                                                     | Vaheseinad ja seinad                                                                                                                      |
|      |                          |                                                                                     | Vertikaalkiil, pardastringer; floor (risttala laeva põhjas)                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Põiktalad: floor, ristsuunaline jäikusribi;                                                                                               |
|      |                          |                                                                                     | Pikitalad: vertikaalkiil, pardastringer, karling                                                                                          |
|      |                          |                                                                                     | Stringer                                                                                                                                  |
|      |                          |                                                                                     | Raamkaar                                                                                                                                  |
|      |                          |                                                                                     | Põlv või knii                                                                                                                             |
|      |                          |                                                                                     | Profiilid                                                                                                                                 |
| 02.1 | Kitsas kriipsjoon        |  | Varjatud servad                                                                                                                           |
|      |                          |                                                                                     | Varjatud profiil                                                                                                                          |
| 02.2 | Lai kriipsjoon           |  | Konstruktioonelementide varjatud osad, näiteks                                                                                            |
|      |                          |                                                                                     | - laevatekid                                                                                                                              |
|      |                          |                                                                                     | - topeltpõhi või tangi katus                                                                                                              |
|      |                          |                                                                                     | - seinad või vaheseinad                                                                                                                   |
|      |                          |                                                                                     | - pikitalad: vertikaalkiil, pardastringer                                                                                                 |
|      |                          |                                                                                     | - põiktalad: floor                                                                                                                        |
|      |                          |                                                                                     | - põlv või knii                                                                                                                           |

**Tabeli 1.5.** järg.

| NR   | NIMETUS                         | JOONE KUJUTIS | KASUTUSALA                              |
|------|---------------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| 04.1 | Kitsas pikk-kriipspunktjoon     | — · — · —     | Väljavooluavad                          |
|      |                                 |               | Ristumiskohad, keskjooned               |
| 04.2 | Lai pikk-kriipspunktjoon        | — · — · —     | Tekitalad                               |
|      |                                 |               | Raamkaared                              |
|      |                                 |               | Põiktalad, kandurid                     |
| 05.1 | Kitsas pikk-kriipskakspunktjoon | — · · — · · — | Külgnevate osade piirjooned             |
|      |                                 |               | Lõiketasapinna ees või taga asuvad osad |

## 5 NORMKIRI

Joonisel kirjutatakse kogu tekst (joonise sisu seletavad numbrid, tähised, sümbolid, nimetused ja märkused) normkirjas. Kõik tähed, märgid ja numbrid peavad vastama mõõtmetele (kõrgus, laius, tähemärkide vahe) standardi EVS-EN ISO 3098 järgi. Joone laius peab suur- ja väiketähtede korral ühesugune olema.

Normkirja kohta käivad standardid on järgmised:

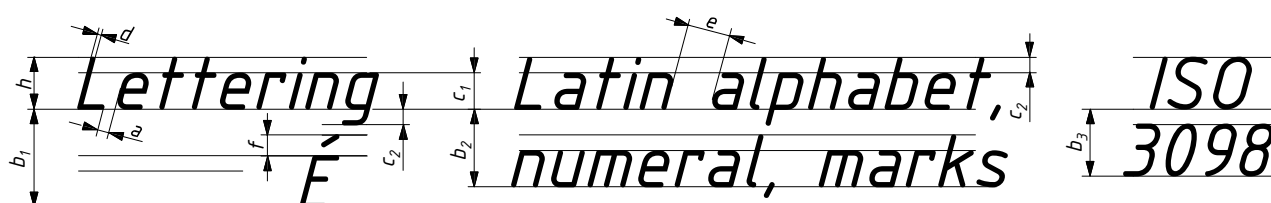
- EVS-EN ISO 3098-1 – üldised nõuded;
- EVS-EN ISO 3098-2 – ladina tähestik, numbrid ja märgid;
- EVS-EN ISO 3098-3 – kreeka tähestik;
- EVS-EN ISO 3098-4 – ladina tähestiku jaoks diakriitilised ja erimärgid;
- EVS-EN ISO 3098-5 – ladina tähestiku, numbrite ja märkide CAD normkiri;
- EVS-EN ISO 3098-6 – kirillitsa.

Kiri peab olema kogu joonise ulatuses ühte tüüpi – kas A- või B-tüüpi. A- ja B-tüüpi kirjades on tähe kõrgus jagatud vastavalt 14-ks ja 10-ks osaks. Kiri võib olla püstine või kaldkiri. Kaldkiri on 75° kalde all horisontaali suhtes.

Kirja suuruseks loetakse suurtähtede kõrgust  $h$  millimeetrites. Kehtestatud on järgmised kirja suurused: 1,8; 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14 ja 20 mm.

Normkirja parema loetavuse tagamiseks jäetakse tähtede vahele kahekordne kirja joone laius. See vahe võib olla vähendatud ühe joone laiuseni mõningate täheühendite korral, näiteks LA, TV, Tr.

Joonisel 1.16 on toodud B-tüüpi normkirja parameetrid, joonisel 1.17 on näidatud suur- ja väiketähtede, numbrite ja sümbolite kuju ning tabelis 1.6 põhimõtted EVS-EN ISO 3098 järgi.



**Joonis 1.16.** B-tüüpi normkirja parameetrid.

**Tabel 1.6.** B-tüüpi normkirja põhimõõtmed.

| PARAMEETER                            |       | SUHTELINE MÕÖDE | MÕÕTMED, MM |      |      |     |      |    |      |    |
|---------------------------------------|-------|-----------------|-------------|------|------|-----|------|----|------|----|
| Suurtähe kõrgus                       | $h$   | $(10/10)h$      | 1,8         | 2,5  | 3,5  | 5   | 7    | 10 | 14   | 20 |
| Väiketähe kõrgus                      | $c_1$ | $(7/10)h$       | 1,26        | 1,75 | 2,5  | 3,5 | 5    | 7  | 10   | 14 |
| Väiketähe ülapikendus                 | $c_2$ | $(3/10)h$       | 0,54        | 0,75 | 1,05 | 1,5 | 2,1  | 3  | 4,2  | 6  |
| Väiketähe alapikendus                 | $c_3$ | $(3/10)h$       | 0,54        | 0,75 | 1,05 | 1,5 | 2,1  | 3  | 4,2  | 6  |
| Diakriitilise märgi ulatus (suurtäht) | $f$   |                 | 0,72        | 1    | 1,4  | 2   | 2,8  | 4  | 5,6  | 8  |
| Tähtede vahe                          | $a$   | $(2/10)h$       | 0,36        | 0,5  | 0,7  | 1   | 1,4  | 2  | 2,8  | 4  |
| Ridade alusjoonte vahe                | $b_1$ | $(19/10)h$      | 3,42        | 4,75 | 6,65 | 9,5 | 13,3 | 19 | 26,6 | 38 |
| Ridade alusjoonte vahe                | $b_2$ | $(15/10)h$      | 2,7         | 3,75 | 5,25 | 7,5 | 10,5 | 15 | 21   | 30 |
| Ridade alusjoonte vahe                | $b_3$ | $(13/10)h$      | 2,34        | 3,25 | 4,55 | 6,5 | 9,1  | 13 | 18,2 | 26 |
| Sõnade vahe                           | $e$   | $(6/10)h$       | 1,08        | 1,5  | 2,1  | 3   | 4,2  | 6  | 8,4  | 12 |
| Kirja joone laius                     | $d$   | $(1/10)h$       | 0,18        | 0,25 | 0,35 | 0,5 | 0,7  | 1  | 1,4  | 2  |

$b_1$  diakriitiliste märkidega tähed. Diakriitilised märgid leiavad kasutamist, kui tähti on edaspidises vaja eristavalt esitada;  
 $b_2$  ilma diakriitiliste märkideta tähed;  
 $b_3$  suurtähed ja numbrid.



**Joonis 1.17.** Ladina tähestiku, märkide ja numbrite B-tüüpi kaldkiri ISO-3098-1 järgi.

## 6 MÕÕTKAVA

Eseme ja temast tehtud kujutise suuruse vahetada joonisel selgitab mõõtkava ehk mastaap. Mõõtkavaks ehk mastaabiks nimetatakse joonisel kujutatud objekti kujutise mõõtmete ja tegelike mõõtmete suhet. Kõige parema ülevaate esemest annab joonis, millel kujutise mõõdud on võrdsed eseme enda mõõdudega. Kui objektid on oma mõõtmelteil nii suured, et tegelikus suuruses ei mahu jooniselehele ära, tuleb kujutist vähendada. Liiga väikeste detailide puhul tuleb selgema pildi saamiseks kujutist joonisel suurendada.

Standardiga EVS-EN ISO 5455 on kindlaks määratud tehnilistel joonistel soovitatavad mõõtkavad ja nende tähistused kasutamiseks mistahes tehnikavaldkonna tehnilistel joonistel (tabel 1.7). Suurendamisel või vähendamisel kirjutatakse joonisele eseme tegelikud mõõtmed, olenemata mõõtkavast, mida eseme kujutamisel kasutati.

Mõõtsuhe kantakse joonise kirjanurga vastavasse lahtrisse. Vajaduse korral võib joonisel kasutada ka mitut erinevat mõõtsuhet. Sel juhul kirjutatakse neist põhiline kirjanurka, sellest erinevad mõõtsuhted aga ümarsulgudes vastava kujutise pealkirja juurde.

**Tabel 1.7.** Tehnilistel joonistel kasutatavad mõõtsuhted (EVS-EN ISO 5455).

| LIIGITUS                                                                                                  | SOOVITUSLIKUD MÕÕTKAVAD |          |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| Suurendavad mõõtkavad                                                                                     | 50 : 1                  | 20 : 1   | 10 : 1    |
|                                                                                                           | 5 : 1                   | 2 : 1    |           |
| Tegelik suurus                                                                                            | 1 : 1                   |          |           |
| Vähendavad mõõtkavad                                                                                      | 1 : 2                   | 1 : 5    | 1 : 10    |
|                                                                                                           | 1 : 20                  | 1 : 50   | 1 : 100   |
|                                                                                                           | 1 : 200                 | 1 : 500  | 1 : 1000  |
|                                                                                                           | 1 : 2000                | 1 : 5000 | 1 : 10000 |
| Märkus: erivajadusel võib toodud suurendusi ja vähendusi ka laiendada kõiki 10 kordsetega läbi korrutades |                         |          |           |

Joonise jaoks valitav mõõtkava oleneb objekti suurusest ja keerukusest. Mõõtkava peab olema piisavalt suur, et joonis oleks selgelt loetav. Väikeste objektide suurendatud kujutiste juurde on soovitatav lisada kujutis tõelises suurus. Tõelises suuruses objekti kujutis võib olla kujutatud lihtsustatult, näidates ainult väliskontuure.

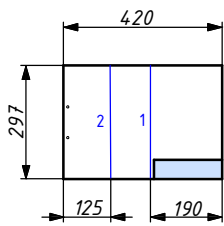
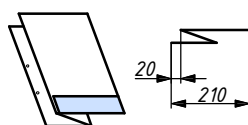
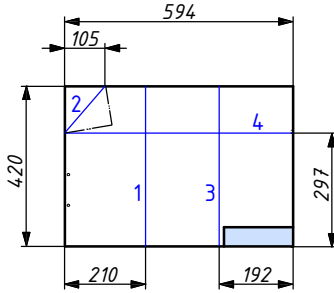
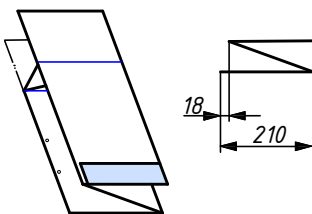
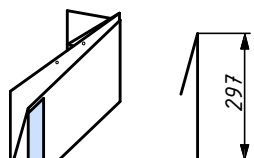
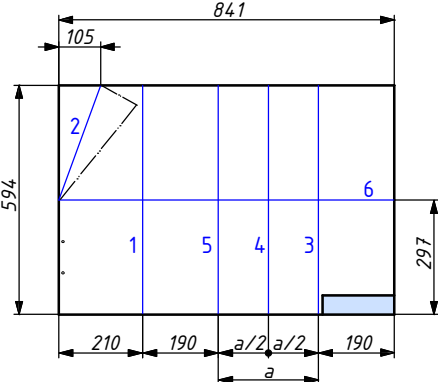
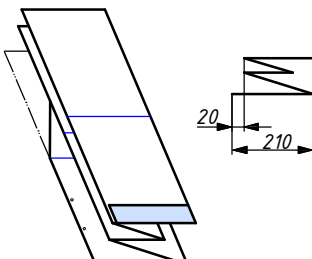
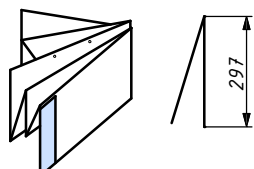
## 7 JOONISTE KOKKU MURDMINE

Suureformaadilised joonised murtakse tavaliselt kokku formaadiks A4. Juhiseid jooniste kokku voltimiseks annab standard DIN 824. Tabelis 1.8 on näidatud köitmisele kuuluvate jooniste kokkumurdmise skeemid sõltuvalt formaadist. Kokku murtamine toimub skeemil näidatud numbrite järjekorras.

Jooniseid peaks kokku murtama järgmise soovitusel kohaselt:

- esmalt volditakse joonis „lõõtsaks“ mööda murdejooni, mis on paralleelsed kirjanurga lühema küljega, seejuures joonise pool peab jääma väljapoole;
- seejärel murtakse saadud „lõõts“ kokku mööda murdejoont, mis on paralleelne kirjanurga pikema küljega, kokkumurtud joonisel peab kirjanurk jääma pealepoole;
- köitmisele kuuluvatel joonistel lüüakse köiteaugud vasakusse serva. Joonise ülemine vasakpoolne nurk murtakse tagasi.

**Tabel 1.8.** Kõitmisele kuuluvate joonisete kokku murdmine.

| FORMAAT         | KOKKUMURDMISE SKEEM                                                                | KOKKUMURDMINE                                                                       |                                                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                    | PIKISUUNAS                                                                          | RISTISUUNAS                                                                          |
| A3<br>(297×420) |   |   |                                                                                      |
| A2<br>(420×594) |   |   |   |
| A1<br>(594×841) |  |  |  |

## KORDAMISKÜSIMUSED

1. Kui suur on lai- ja kitsasjoone laiuse erinevus?
2. Millised on formaadi A4 mõõtmed?
3. Kui kaugelt joonestuspaberi servadest tõmmatakse raamjoon?
4. Mitu formaati A4 sisaldab formaat A0?
5. Kus asub joonisel kirjanurk?
6. Millist informatsiooni peab sisaldama kirjanurk?
7. Milline on ülilaia, laia ja kitsa joonte laiuste suhe?
8. Kui on antud mõõtsuhe 1:2, kas siis eseme (objekti) kujutis on joonisel suurem või väiksem kui tema tegelik suurus?
9. Kas lubatakse kasutada sellist mõõtkava, mida eurostandardiga ei ole ette nähtud?

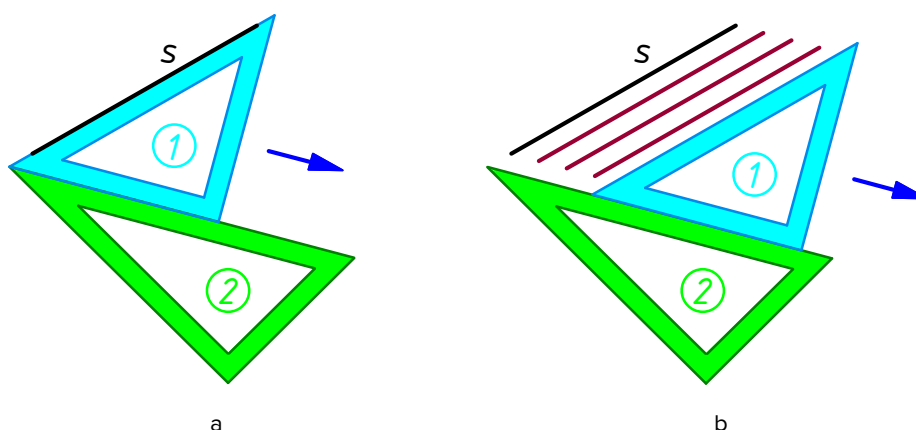
## II GEOMEETRILISI KONSTRUKTSIOONE

Jooniste valmistamisel tuleb tihti kokku puutuda paljude geomeetriliste konstruktsioonidega. Seepärast on tähtis teada joonestamise praktikas enam esinevate geomeetriliste konstruktsioonide lahendusi.

### 8 PARALLEEL- JA RISTSIRGETE JOONESTAMINE

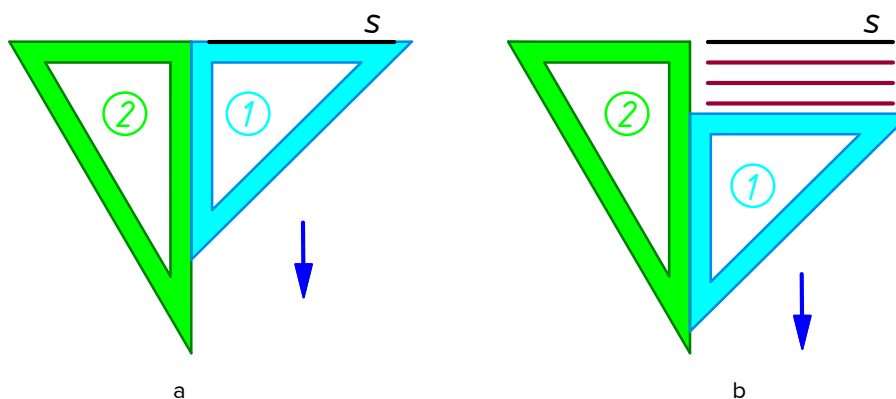
**Antud sirgele paralleelsirge joonestamine.** Paralleelsirge joonestamiseks kasutatakse paralleellüket: kolmnurka libistatakse ühe äärega mööda teise, paigal seisva kolmnurga või joonlaua äärt. Sellisel juhul liiguvad selle kolmnurga kaks ülejäänud äärt paralleelselt iseendaga.

Joonisel 2.1 on kujutatud kaldsirgele paralleelsirgete joonestamine. Kõigepealt seatakse kolmnurga (1) hüpotenuus paralleelseks sirgega  $s$  ja seejärel toetatakse teise kolmnurga (2) hüpotenuus vastu kolmnurga (1) kaatetit (joonis 2.1.a). Hoides kolmnurka (2) paigal, libistatakse kolmnurk (1) vastu joonlaua (2) serva surudes soovitud kohale ja joonestatakse sirgega  $s$  paralleelne sirge (joonis 2.1.b).



Joonis 2.1. Paralleelsirge joonestamine.

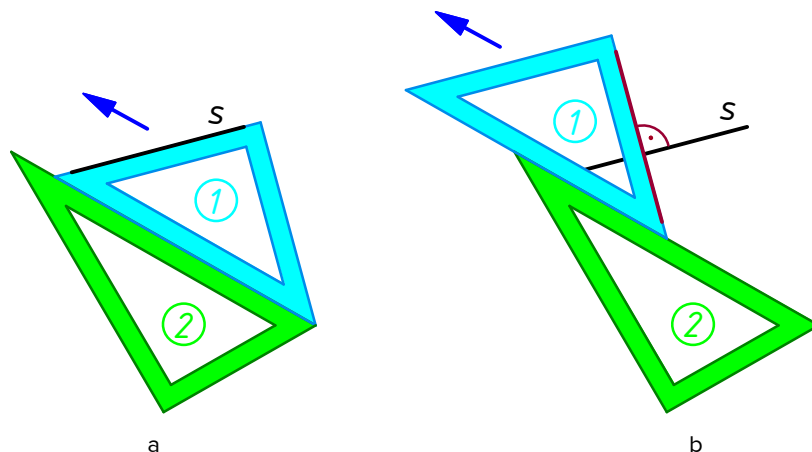
Antud sirgega võib paralleelseks seada ka kolmnurga kaateti, nagu on näidatud joonisel 2.2.



Joonis 2.2. Paralleelsirge joonestamine.

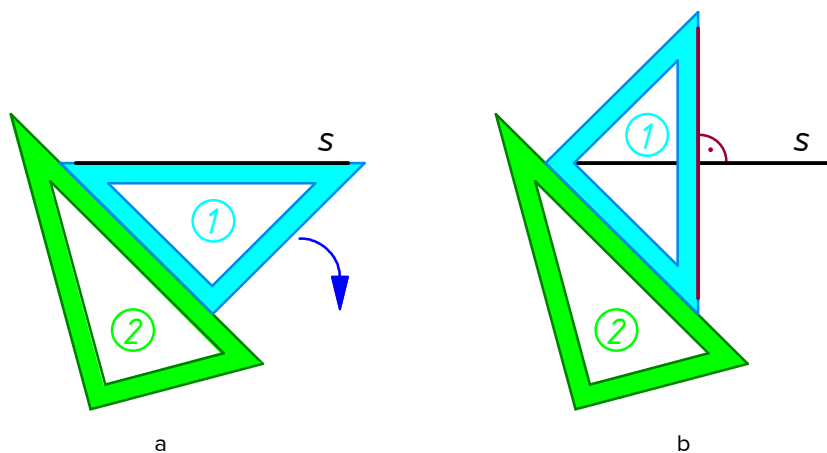
**Antud sirgele ristsirge joonestamine.** Antud sirgele on võimalik kolmnurkade abil ristsirget joonestada mitmel viisil.

Esimesel viisil seatakse kolmnurga (1) kaatet paralleelseks sirgega  $s$  ja seejärel toetatakse kolmnurga (2) hüpotenuus vastu kolmnurga (1) hüpotenuusi (joonis 2.3.a). Hoides kolmnurka (2) paigal, libistatakse kolmnurk (1) vastu joonlaua (2) serva surudes soovitud kohta ja joonestatakse tema kaateti järgi sirgele  $s$  ristsirge (joonis 2.3.b).



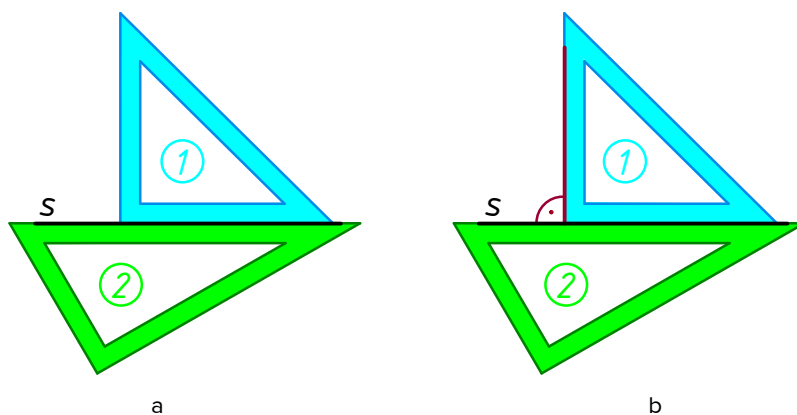
**Joonis 2.3.** Ristsirge joonestamine.

Teisel viisil ristsirge joonestamisel seatakse kolmnurga (1) hüpotenuus paralleelseks sirgega  $s$  ja seejärel toetatakse kolmnurga (2) hüpotenuus vastu kolmnurga (1) kaatetit. Hoides kolmnurka (2) paigal, pööratakse kolmnurk (1) ümber täisnurga tipu nii, et selle teine kaatet läheks vastu kolmnurga (2) hüpotenuusi (joonis 2.4.a). Seejärel libistatakse kolmnurk (1) soovitud kohta ja joonestatakse tema hüpotenuusi järgi ristsirge sirgele  $s$  (joonis 2.4.b).



**Joonis 2.4.** Ristsirge joonestamine.

Samuti on antud sirgele võimalik ristsirge joonestada kui asetada kolmnurga kaatet paralleelseks sirgega  $s$  ja toetada kolmnurga (2) hüpotenuus vastu antud kaatetit (joonis 2.5.a). Seejärel libistatakse kolmnurk (1) soovitud kohta ja joonestatakse tema kaateti järgi sirgele  $s$  ristsirge (joonis 2.5.b).

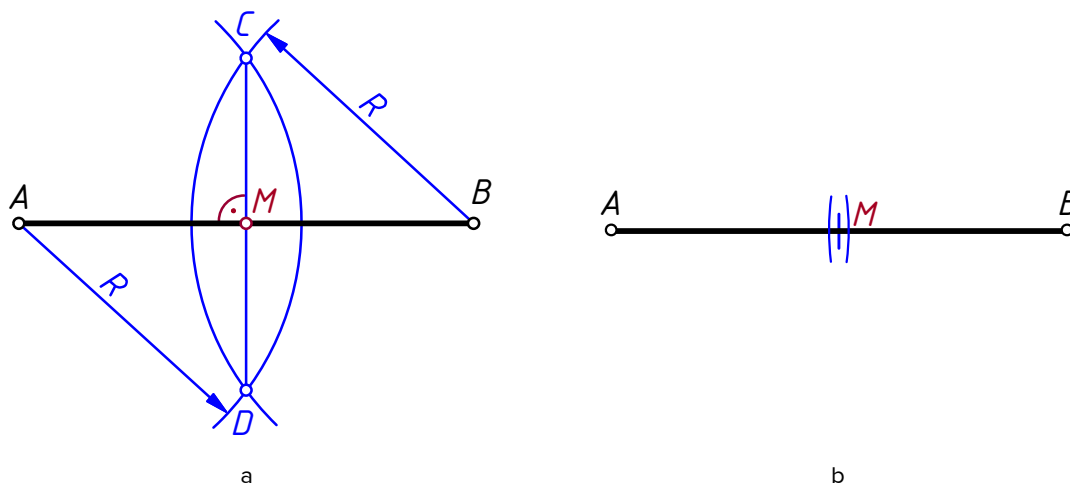


**Joonis 2.5.** Ristsirge joonestamine.

## 9 SIRGLÕIGU JAOTAMINE

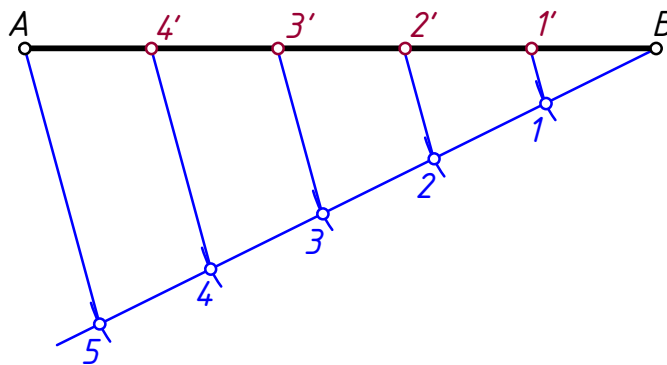
**Sirglõigu poolitamine.** Sirglõiku saab poolitada kahel viisil.

1. variant (joonis 2.6.a). Sirglõigu  $AB$  poolitamiseks tõmmatakse mõlemast otspunktist kaared raadiusega  $R$ . Raadius  $R$  peab olema pikem kui lõigu pool pikkust. Kaarte lõikepunkte  $C$  ja  $D$  ühendav sirge on lõigu  $AB$  keskristsirge ehk jaotab kaheks võrdseks osaks  $AM$  ja  $MB$ .
2. variant (joonis 2.6.b). Lõigu poolitamine, kasutades ainult sirklit. Sirkli haarade vahele võetakse silma järgi võimalikult täpselt pool lõigu  $AB$  pikkusest. Mõlemast otspunktist tõmmatakse kaarekesed. Nende kaarekeste vahele jäävale üsna lühikesele lõigule märgitakse antud lõigu keskpunkt  $M$ . Nii leitakse lõigu keskpunkt kiiremini ja sama täpselt kui mis tahes muul viisil.



Joonis 2.6. Sirglõigu poolitamine.

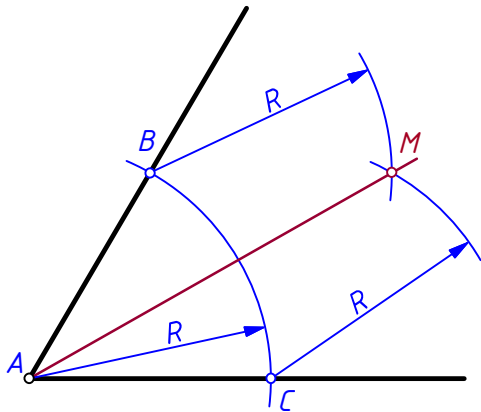
Sirglõigu  $AB$  jaotamisel mistahes arvuks võrdseteks osadeks tõmmatakse punktist  $B$  vabalt võetud nurga all kiir. Sellele kiirele kantakse sirkliga alates punktist  $B$  võrdse pikkusega jaotist nii mitu korda, kui mitmeks osaks sirglõik jagatakse (joonisel 2.7 on jaotatud viieks osaks). Viimane jaotuspunkt ühendatakse sirglõigu teise otspunktiga  $A$ . Seejärel tõmmatakse ülejäänud jaotuspunktidest paralleelsirged lõiguga  $AB$ . Saadud punktid sirgel  $AB$  jaotavadki sirglõigu võrdseteks osadeks.



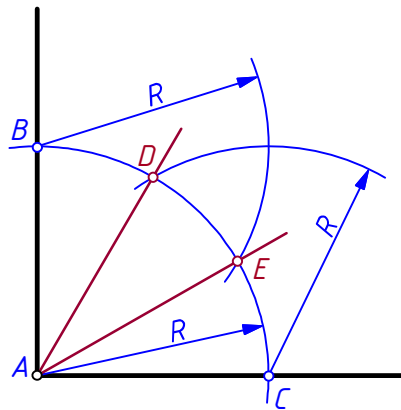
Joonis 2.7. Sirglõigu jaotamine etteantud arvuks võrdseteks osadeks.

## 10 NURGA JAOTAMINE VÕRDSETEKS OSADEKS

**Nurga poolitamiseks** joonestatakse tipust  $A$  (joonis 2.8) vabalt võetud raadiusega  $R$  kaar, mis lõikab nurga haarasid punktides  $B$  ja  $C$ . Punktidest  $B$  ja  $C$  joonestatakse raadiusega  $R_1$  kaared. Raadius  $R_1$  peab olema pikem kui lõigu  $BC$  pool pikkust. Kaared lõikuvad punktis  $M$ . Sirge  $AM$  on antud nurga poolitaja.



**Joonis 2.8.** Nurga poolitamine.



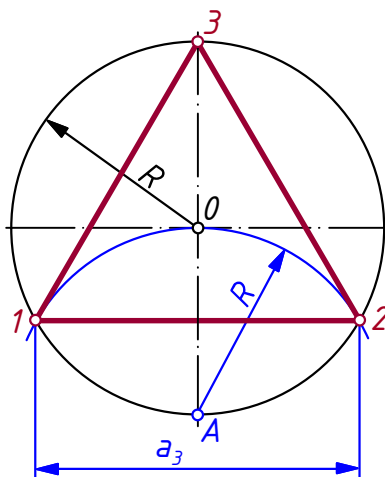
**Joonis 2.9.** Täisnurga jaotamine kolmeks võrdseks osaks.

**Täisnurga jaotamisel kolmeks võrdseks osaks** joonestatakse tipust  $A$  (joonis 2.9.) vabalt võetud raadiusega  $R$  kaar. Saadakse lõikepunktid  $B$  ja  $C$ . Punktidest  $B$  ja  $C$  joonestatakse sama raadiusega  $R$  kaared. Kaarel  $BC$  saadakse punktid  $D$  ja  $E$ . Nurga tipust  $A$  joonestatud sirged  $AD$  ja  $AE$  jaotavad täisnurga kolmeks võrdseks osaks.

## 11 RINGJOONE JAOTAMINE VÕRDSETEKS OSADEKS

### 11.1 RINGJOONE JAOTAMINE KOLMEKS VÕRDSEKS OSAKS

Ringjoone ja telgjoone lõikepunktist (näiteks punktist  $A$ ) joonestatakse ringjoone raadiusega  $R$  kaar (joonis 2.10). See kaar lõikab ringjoont jaotuspunktides 1 ja 2. Kolmandaks jaotuspunktiks on ringjoone ja telgjoone lõikepunkt 3. Jaotuspunktid 1, 2 ja 3 jaotavad ringjoone kolmeks võrdseks osaks.

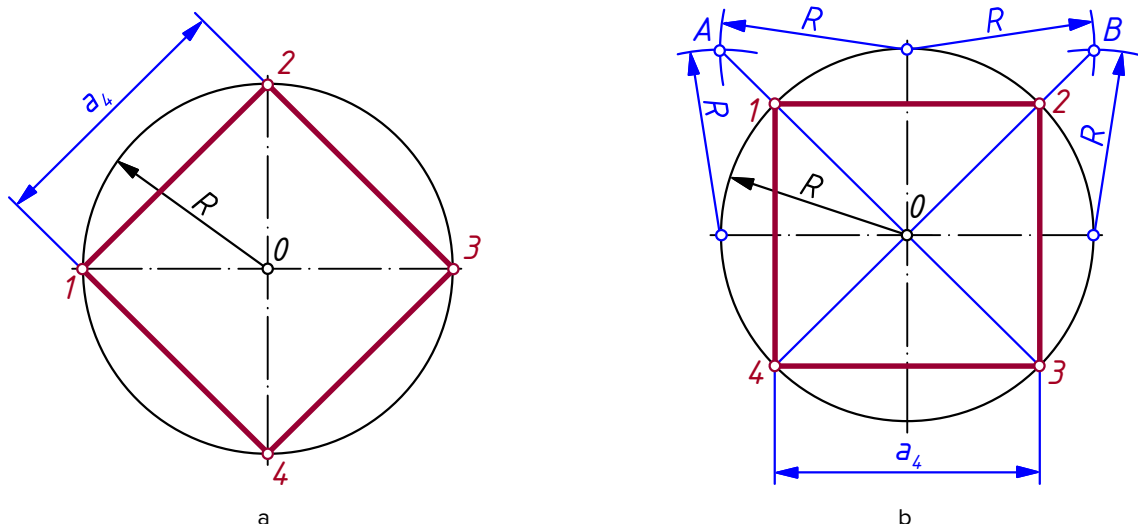


**Joonis 2.10.** Ringjoone jaqamine kolmeks võrdseks osaks.

## 11.2 RINGJOONE JAOTAMINE NELJAKS VÕRDSEKS OSAKS

Lihtsama viisi korral kasutatakse ringjoone ja telgjoonte lõikepunkte (joonis 2.11.a). Nii saadakse jaotuspunktid 1, 2, 3 ja 4, mis jaotavad ringjoone neljaks võrdseks osaks.

Teisel viisil jaotamiseks kasutatakse telgede vahelise nurga poolitamist (vt. nurga poolitamine). Nurga poolitamise käigus saadud lõikepunktidest  $A$  ja  $B$  joonestatakse sirged läbi ringjoone tsentri (joonis 2.11.b). Sirgete lõikepunktid ringjoonega määravad jaotuspunktid  $1, 2, 3$  ja  $4$ , mis jaotavad ringjoone neljaks võrdseks osaks.

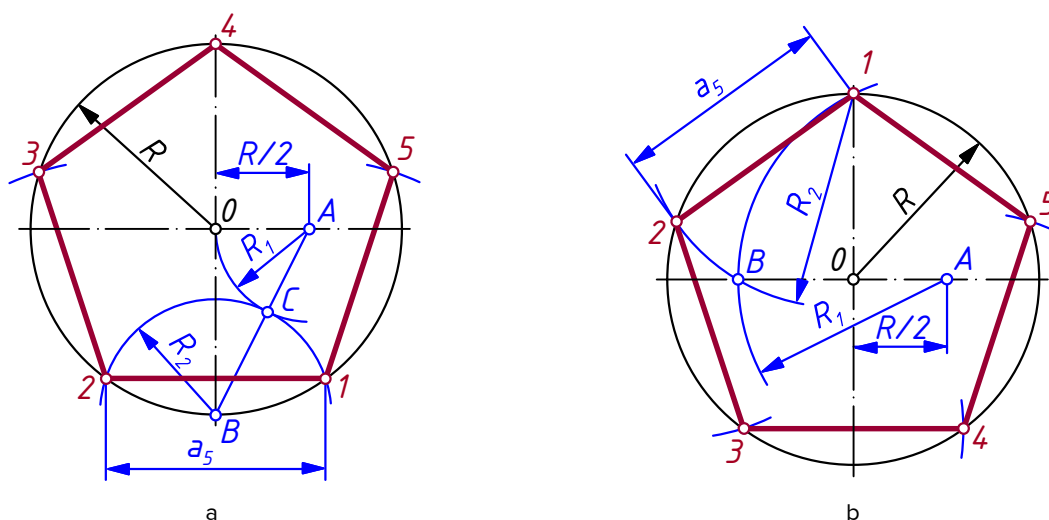


Joonis 2.11. Ringjoone jagamine neljaks võrdseks osaks.

### 11.3 RINGJOONE JAOTAMINE VIEKS VÖRDSEKS OSAKS

Ringjoone jaotamisel viieks võrdseks osaks võib kasutada kahte konstruktsiooni.

**1. konstruktsioon.** Kõigepealt jagatakse ringjoone raadius  $R$  pooleks (joonis 2.12.a). Saadud punkt  $A$  ühendatakse punktiga  $B$ . Punktist  $A$  joonestatakse raadiusega  $R_1$  ( $R_1 = R/2$ ) kaar. Lõigul  $AB$  saadakse punkt  $C$ . Seejärel joonestatakse punktist  $B$  kaar raadiusega  $R_2$  ( $R_2 = BC$ ). Kaar lõikab ringjoont punktides 1 ja 2. Kõõl-lõigu  $12$  pikkus ongi korrapärase viisnurga külg  $a_5$ . Lõigu pikkusega  $12$  joonestatakse punktides 1 ja 2 kaared. Need lõikavad ringjoont punktides 3 ja 5. Järgnevalt joonestatakse sama lõigu pikkusega kaared ka punktides 3 ja 5, mis peavad omavahel lõikuma täpselt ringjoone punktis 4. Nii saadakse jaotuspunktid, mis jaotavad ringjoone viieks võrdseks osaks.

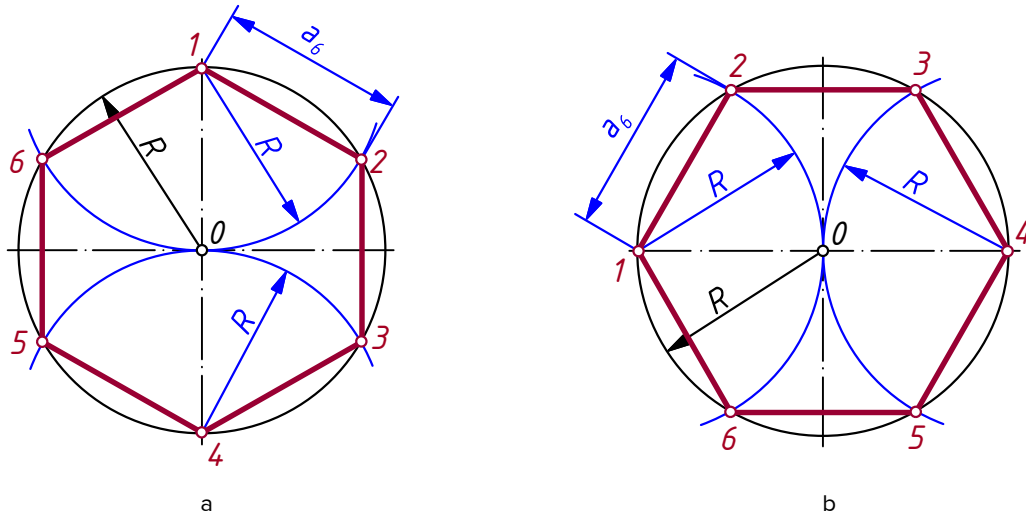


Joonis 2.12. Ringjoone jaotamine viieks võrdseks osaks.

**2. konstruktsioon.** Raadiuse  $R$  poolituspunktist  $A$  (joonis 2.12.b) joonestatakse kaar raadiusega  $R_1$  ( $R_1 = AI$ ). Kaar lõikab ringjoone horisontaalset teljoont punktis  $B$ . Seejärel joonestatakse punktist  $I$  kaar raadiusega  $R_2$  ( $R_2 = IB$ ). Ringjoonel saadakse punkt 2. Kõõl-lõigu  $12$  pikkus ongi korrapärase viisnurga külg  $a_5$ . Seejärel joonestatakse sama lõigu pikkusega kaar punktist 2 ning saadakse punkt 3. Järgnevalt joonestatakse lõigu pikkusega  $12$  kaar punktist 3 ja saadakse punkt 4, siis kaar punktis 4 ning saadakse punkt 5. Punktist 5 joonestatud kaar peab ringjoonega lõikuma täpselt punktis 1.

## 11.4 RINGJOONE JAOTAMINE KUUEKS VÖRDSEKS OSAKS

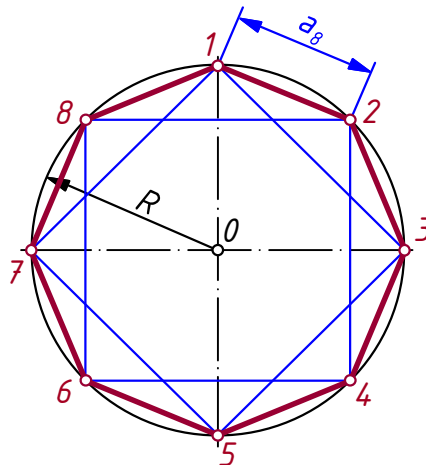
Ringjoone jaotamisel kuueks võrdseks osaks joonestatakse ringjoone ja telgjoone lõikepunktidest 1 ja 4 kaared ringjoone raadiusega  $R$  (joonis 2.13). Saadud lõikepunktid 2; 3; 5; 6 koos punktidega 1 ja 4 jaotavadki ringjoone kuueks võrdseks osaks. Joonisel 2.13.a on tipud 1 ja 4 võetud vertikaalsel telgjoonel ning joonisel 2.13.b horisontaalsel telgjoonel.



Joonis 2.13. Ringjoone jaotamine kuueks võrdseks osaks.

## 11.5 RINGJOONE JAOTAMINE KAHEKS AKS VÖRDSEKS OSAKS

Ringjoone jaotamisel kaheksaks võrdseks osaks (joon 2.14) kasutatakse joonisel 2.11 näidatud ringjoone neljaks võrdseks osaks jaotamise mõlemat viisi.



Joonis 2.14. Ringjoone jaotamine kaheksaks võrdseks osaks.

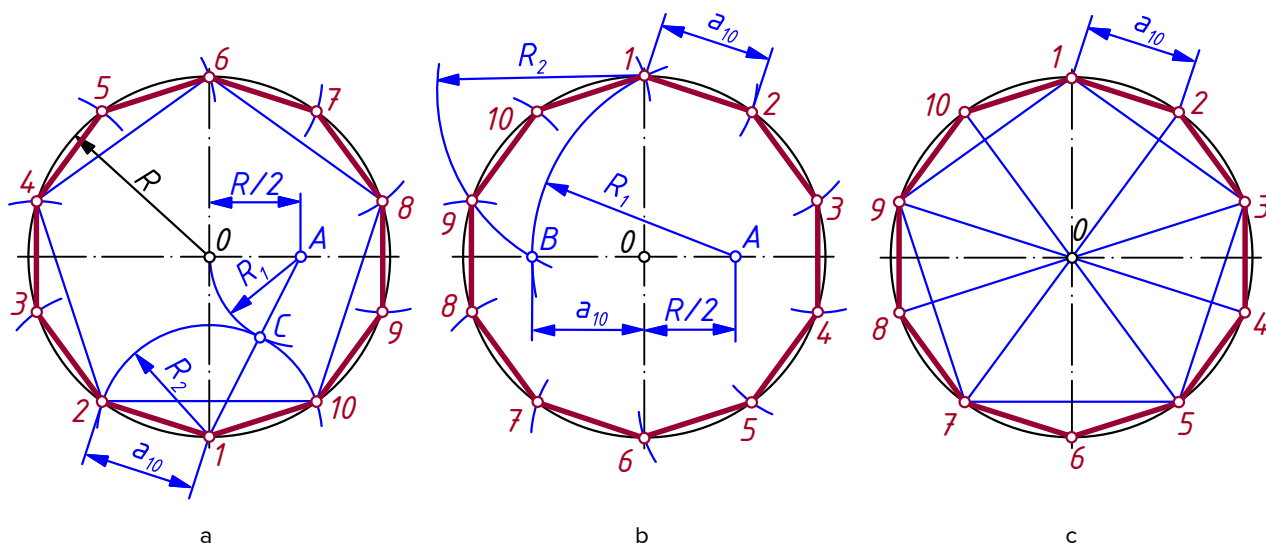
## 11.6 RINGJOONE JAOTAMINE KÜMNEKS VÖRDSEKS OSAKS

Ringjoont saab kümneks võrdseks osaks jaotada mitmel viisil.

**1. konstruktsioon.** Kõigepealt jaotatakse ringjoon viieks võrdseks osaks joonisel 2.12.a näidatud viisil. Saadud raadius  $R_2$  ( $R_2 = IC$ ) võrdub korrapärase kümnenurga külje pikkusega  $a_{10}$  (joonis 2.15.a).

**2. konstruktsioon.** Teisel juhul jaotatakse ringjoon viieks võrdseks osaks joonisel 2.12.b näidatud viisil. Saadud lõik  $OB$  võrdub korrapärase kümnenurga külje pikkusega  $a_{10}$  (joonis 2.15.b).

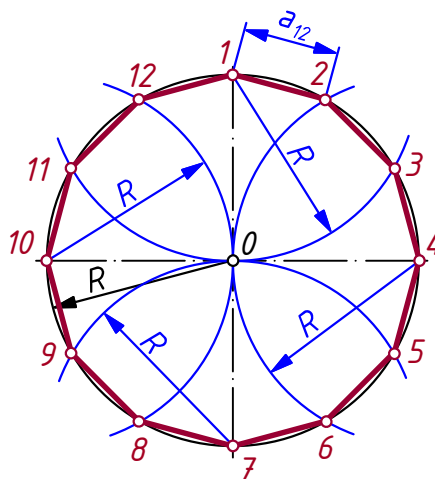
**3. konstruktsioon.** Kolmandal juhul kasutatakse saadud korrapärast viisnurka. Viieks jaotatud ringjoone jaotuspunktidest (antud joonisel punktid 1, 3, 5, 7 ja 9) tõmmatakse läbi tsentri diameetrid, mis jaotavad viiendikkaared omakorda pooleks (joonis 2.15.c).



**Joonis 2.15.** Ringjoone jaotamine 10 võrdseks osaks.

## 11.7 RINGJOONE JAOTAMINE KAHETEISTKÜMNEKS VÕRDSEKS OSAKS

Ringjoone jaotamisel kaheteistkümneks võrdseks osaks (joonis 2.16.) joonestatakse sama ringjoone raadiusega  $R$  mõlema diameetri otspunktidest (punktid 1; 4; 7; 10) kaared. Saadud lõikepunktid 2; 3; 5; 6; 8; 9; 11; 12 koos punktidega 1; 4; 7 ja 10 jagavadki ringjoone kaheteistkümneks võrdseks osaks.

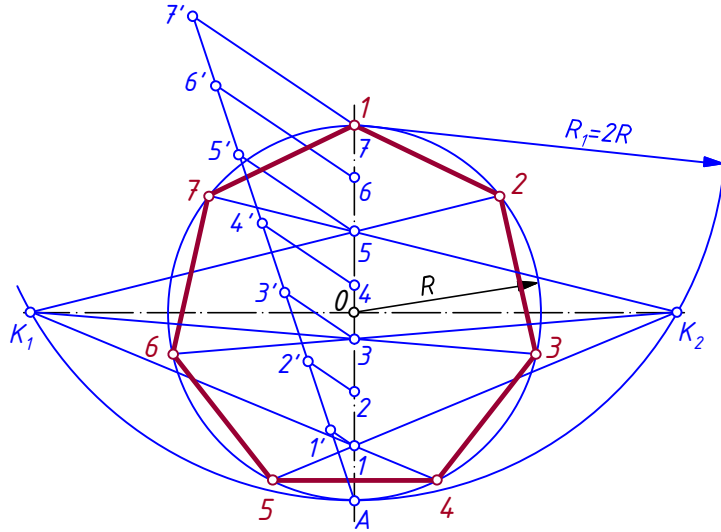


**Joonis 2.16.** Ringjoone jaotamine 12 võrdseks osaks.

## 11.8 RINGJOONE JAOTAMINE KUI TAHES MITMEKS VÕRDSEKS OSAKS

Näitena on toodud ringjoone, mille raadius on  $R$ , jaotamine seitsmeks võrdseks osaks (joonis 2.17). Joonestatakse kaks ristuvat läbimõõtu. Läbimõõtu, näiteks vertikaalne  $IA$ , jaotatakse  $n$  võrdseks osaks (antud näites seitsmeks). Läbimõõdu punktist  $I$  joonestatakse kaar raadiusega  $R_1$  ( $R_1 = 2R$ ) kuni lõikumiseni lõiguga  $IA$  risti oleva sümmeetriljega punktides  $K_1$  ja  $K_2$ . Ringjoone jaotuspunktide saamiseks tõmmatakse punktide  $K_1$  ja  $K_2$  sirged paaritu arvulise jaotuse korral läbi paaritu numbriga jaotuspunktide- ja paarisarvulise jaotuse korral läbi paarisnumbriga jaotuspunktide lõikumiseni ringjoonega. Antud näites on sirged joonestatud läbi punktide 1, 3 ja 5.

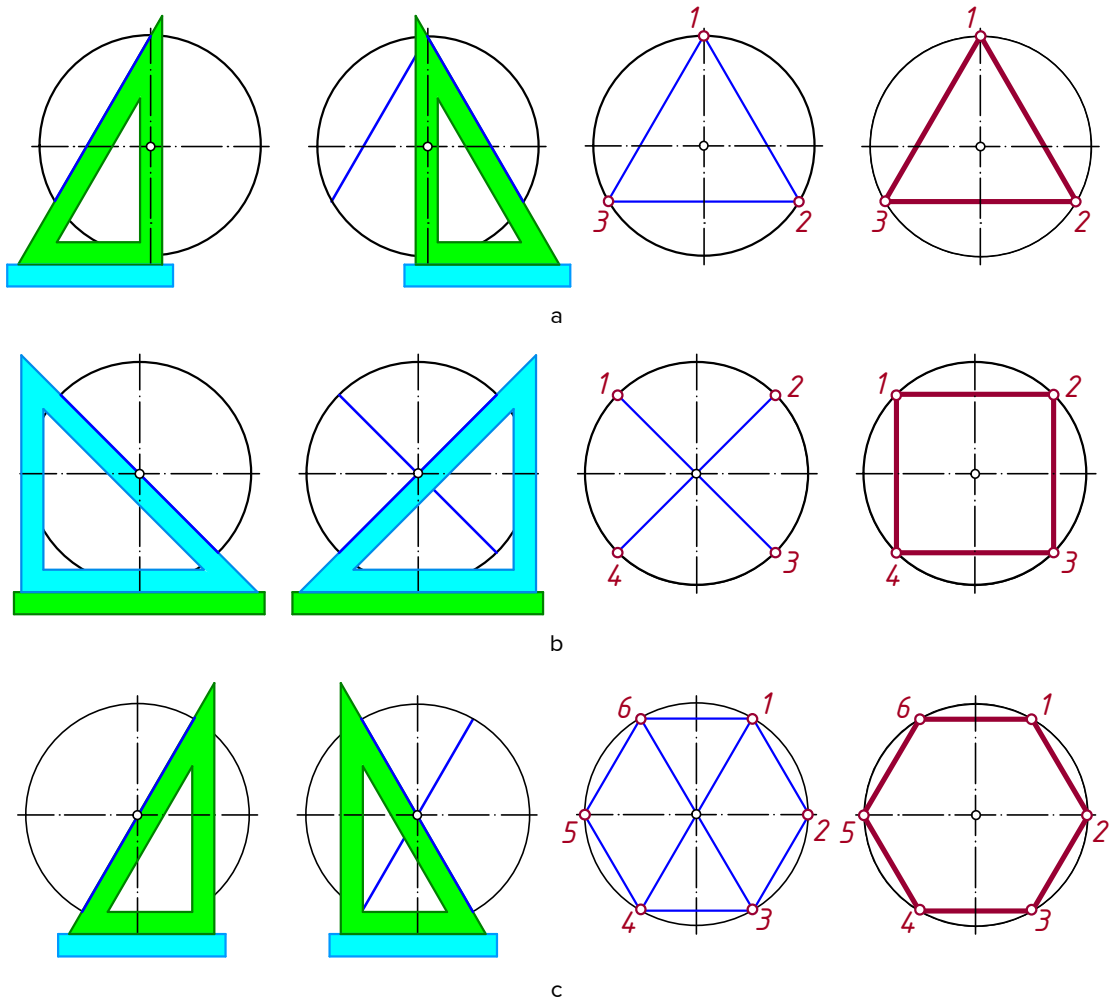
See meetod on ligikaudne, ringjoone jaotamisel saadud kaared ei ole ühepikkused. Ent kuna konstrueerimisel tekkiv viga ei ületa  $0,01R$ , siis antud täpsus rahuldab praktika vajadusi.



**Joonis 2.17.** Ringjoone jaotamine seitsmeks võrdseks osaks.

## 11.9 KORRAPÄRASTE HULKNUURKADE KONSTRUEERIMINE KOLMNURKADE ABIL

Joonisel 2.18 on näidatud ringjoone jaotamine võrdseteks osadeks kolmnurkade abil.



**Joonis 2.18.** Ringjoone jaotamine võrdseteks osadeks kolmnurkade abil: a – kolmeks; b – neljaks; c – kuueks.

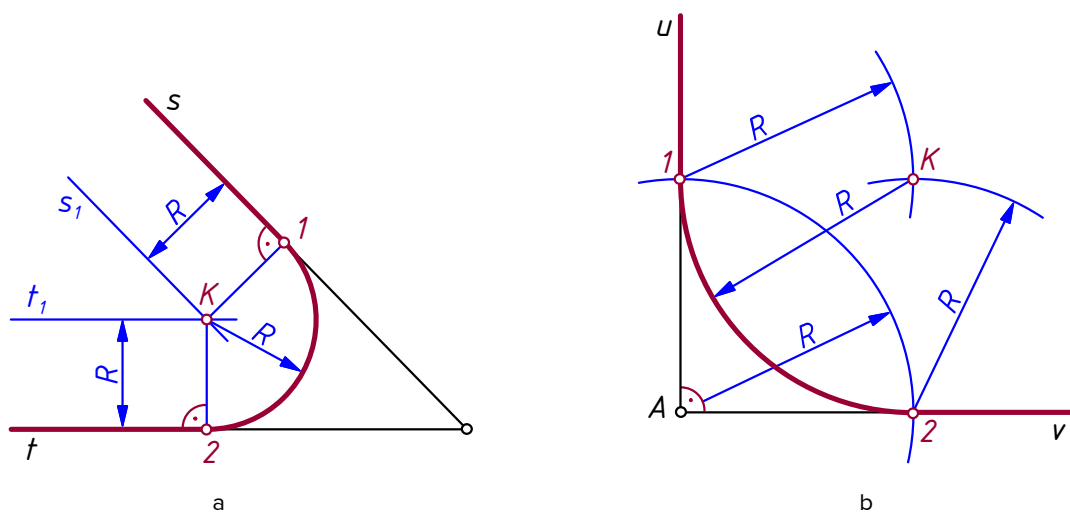
## 12 JOONTE SUJUVÜHENDID

Objektide kontuurid võivad sisaldada sujuvaid üleminekuid ühelt joonelt teisele. Neid üleminekuid nimetatakse sujuvühenditeks. Sujuvühendid konstrueeritakse ringjoone puutujate või puutuvate ringjoonte omadusi kasutades. Sujuvühendite konstrueerimisel tuleb tuletada ühenduskaare keskpunkt, mis asub mõlemast objektist võrdsel kaugusel. Samuti on vaja tuletada ülemineku-punktid, kus üks joon läheb sujuvalt üle teiseks jooneks.

### 12.1 LÕIKUVATE SIRGETE SUJUVÜHENDID, KUI ON ANTUD ÜHENDUSRINGJOONE RAADIUS $R$

Lõikuvate sirgete (nurk sirgete vahel võib olla vahemikus  $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ ) ümardamiseks etteantud raadiusega tuleb leida ümarduskaare tsenter. Sujuvühendi konstrueerimiseks sirgete  $s$  ja  $t$  vahel raadiusega  $R$  (joonis 2.19.a) joonestatakse nende sirgetega paralleelsirged  $s_1$  ja  $t_1$  raadiuse  $R$  kaugusele. Nende sirgete lõikepunkt  $K$  on ühenduskaare tsentriks. Punktist  $K$  joonestatakse antud sirgetele ristsirged ning saadakse sujuvühendi liitepunktid 1 ja 2 nendel sirgetel. Ümarduskaare tsentrist  $K$  joonestatakse liitepunktide vahele sujuvühend raadiusega  $R$ .

Täisnurka saab ümardada ka ainult sirklit kasutades. Sujuvühendi konstrueerimiseks sirgete  $u$  ja  $v$  vahel raadiusega  $R$  (joonis 2.19.b) joonestatakse nende sirgete lõikepunktist  $A$  raadiusega  $R$  kaar. See kaar lõikab sirgeid punktides 1 ja 2, mis on sujuvühendi liitepunktid sirgetel  $u$  ja  $v$ . Punktidest 1 ja 2 joonestatakse kaared raadiusega  $R$ . Kaarte lõikepunkt  $K$  on ühenduskaare tsenter. Ümarduskaare tsentrist  $K$  joonestatakse liitepunktide vahele sujuvühend raadiusega  $R$ .



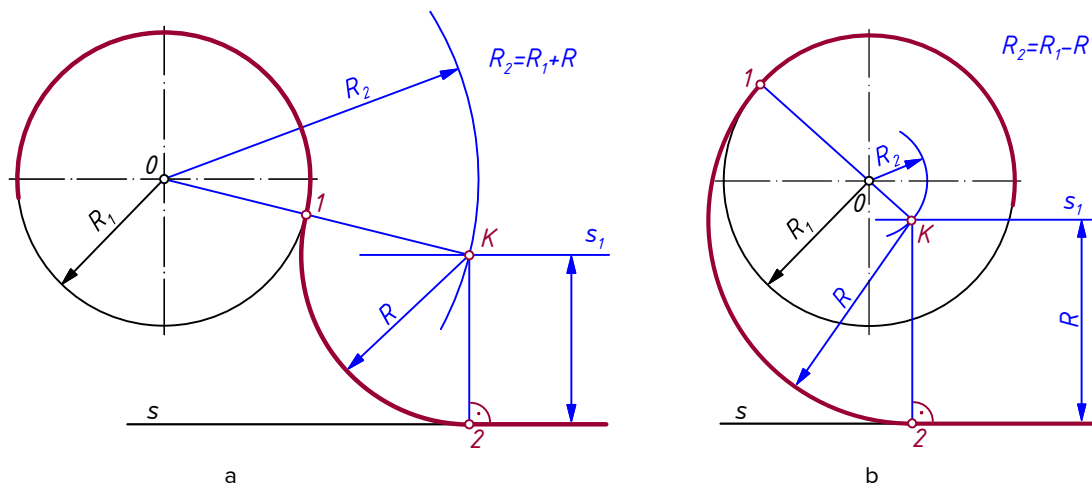
Joonis 2.19. Lõikuvate sirgete sujuvühendid.

### 12.2 SIRGE JA RINGIKAARE SUJUVÜHENDAMINE RINGIKAAREGA, MILLE RAADIUS ON ANTUD

On antud sirge  $s$  ja ringjoon raadiusega  $R_1$ . Tuleb konstrueerida sujuvühend ringikaarega  $R$ .

**Käändühendi** (joonis 2.20.a) puhul joonestatakse ringjoone tsentrist  $O$  abikaar raadiusega  $R_2$  ( $R_2 = R_1 + R$ ) ja sirgele paralleelsirge kaugusele  $R$ . Abikaare ja paralleelsirge lõikepunkt  $K$  on ühenduskaare tsenter. Tsentrist  $K$  tõmmatakse sirge ringjoone tsentrisse  $O$  ja ristsirge sirgele  $s$ . Saadakse liitepunktid 1 ja 2.

**Lookühendi** (joonis 2.20.b) puhul on abikaare raadius  $R_2 = R_1 - R$ . Ülejäänud konstruktsioon on sarnane käändühendi konstruktsiooniga.

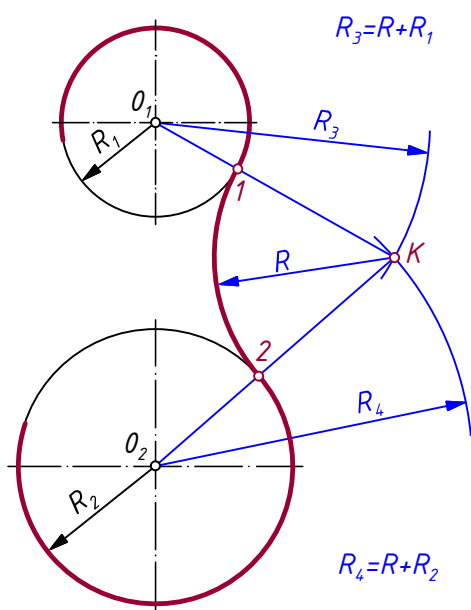


Joonis 2.20. Sirge ja ringikaare sujuvühendid.

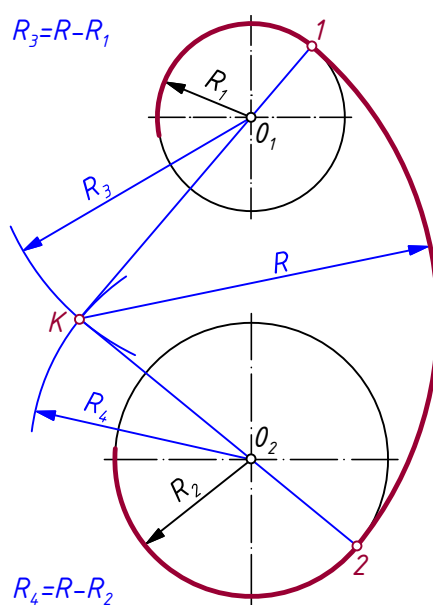
## 12.3 KAHE RINGJOONE SUJUVÜHENDAMINE RINGIKAAREGA, MILLE RAADIUS ON ANTUD

Ringjoonte või kaarte sujuvühendid jagunevad lookühenditeks, käändühenditeks ja segaühenditeks. On antud kaks ringjoont raadiustega  $R_1$  ja  $R_2$ . Tuleb konstrueerida sujuvühendid ette antud ringikaare raadiusega  $R$ .

**Käändühendi** puhul (joonis 2.21) ühenduskaare  $R$  tsentri  $K$  leidmiseks joonestatakse ringjoonte tsentritest  $O_1$  ja  $O_2$  abikaared vastavalt raadiustega  $R_3$  ( $R_3 = R + R_1$ ) ja  $R_4$  ( $R_4 = R + R_2$ ). Abikaarte lõikepunkt  $K$  on sujuvühendi tsenter. Sujuvühendi liitepunktide tuletamiseks ühendatakse tsenter  $K$  ringjoonte tsentritega  $O_1$  ja  $O_2$ . Sirgjoonte ja ringjoonte lõikepunktid 1 ja 2 on liitepunktid. Ümarduskaare tsentrist  $K$  joonestatakse liitepunktide vahele sujuvühend raadiusega  $R$ .



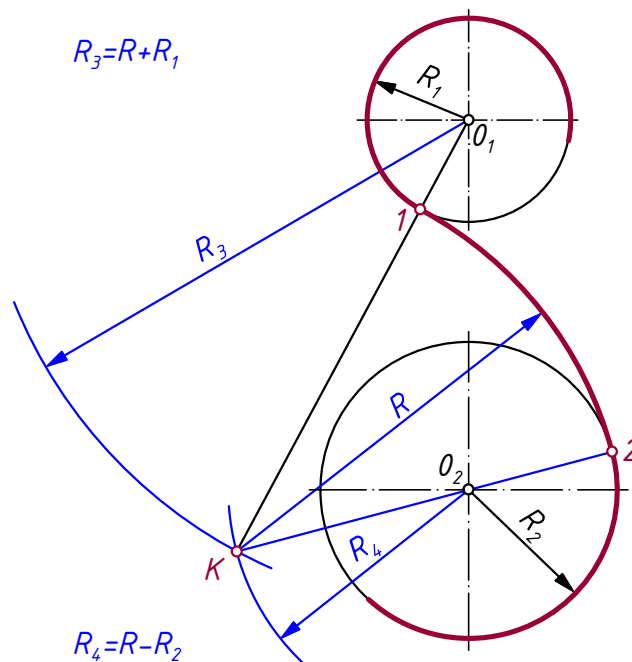
Joonis 2.21. Käändühend.



Joonis 2.22. Lookühend.

**Lookühendi** puhul (joonis 2.22) ühenduskaare  $R$  tsentri  $K$  leidmiseks joonestatakse ringjoonte tsentritest  $O_1$  ja  $O_2$  lõikuvad abikaared vastavalt raadiustega  $R_3$  ( $R_3 = R - R_1$ ) ja  $R_4$  ( $R_4 = R - R_2$ ). Liitepunktid jäävad tsentreid  $K$  ja  $O_1$  ning  $K$  ja  $O_2$  läbivatele sirgetele.

**Segaühend** koosneb käänd- ja lookühendist (joonis 2.23). Ühenduskaare  $R$  tsentri  $K$  leidmiseks joonestatakse ringjoonte tsentritest  $O_1$  ja  $O_2$  lõikuvad abikaared vastavalt raadiustega  $R_3$  ( $R_3 = R + R_1$ ) ja  $R_4$  ( $R_4 = R - R_2$ ). Liitepunktid jäävad siingi tsentreid  $K$  ja  $O_1$  ning  $K$  ja  $O_2$  läbivatele sirgetele.

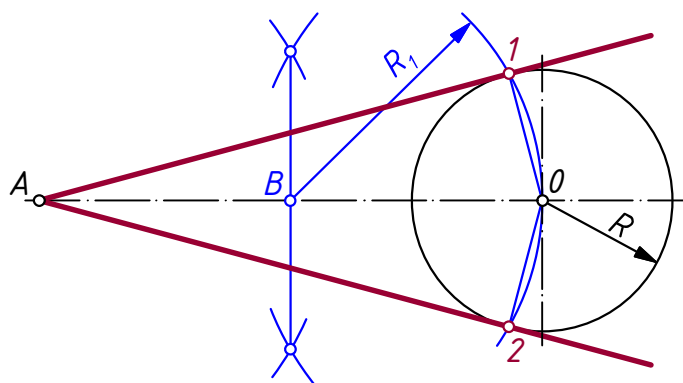


Joonis 2.23. Segauhend.

## 12.4 RINGJOONELE PUUTUJA KONSTRUEERIMINE

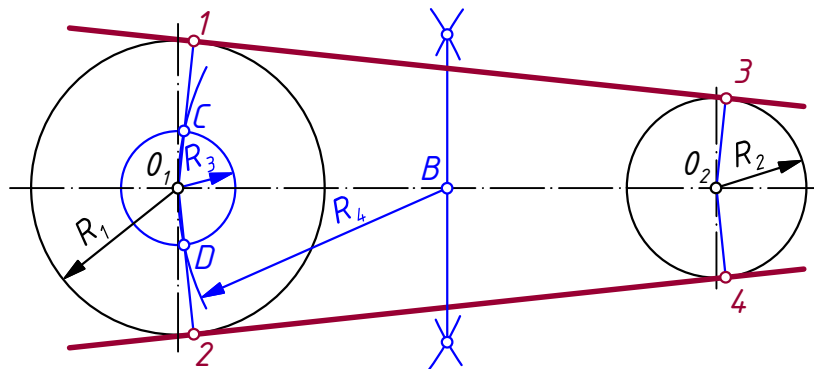
Sirget, millel on ringjoonega ainult üks ühine punkt, nimetatakse ringjoone puutujaks. Ringjoone ja puutuja ühist punkti nimetatakse puutepunktiks. Ringjoone puutuja on risti puutepunktist tõmmatud raadiusega.

**Ringjoonele puutuja konstrueerimine sellest väljaspool ette antud punktist.** Konstrueerida puutuja punktist  $A$  ringjoonele raadiusega  $R$  (joonis 2.24). Poolitades lõigu  $AO$ , saadakse punkt  $B$ . Punktist  $B$  joonestatakse abikaar raadiusega  $R_1$  ( $R_1 = BO$ ). Abikaar lõikab ringjoont punktides  $1$  ja  $2$ , mis ongi puutepunktid. Punktist  $A$  joonestatakse puutesirged läbi punktide  $1$  ja  $2$ .



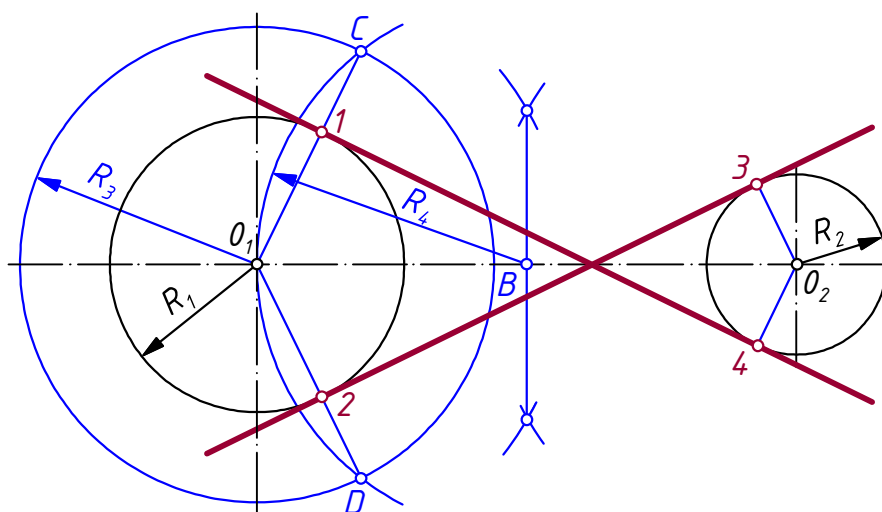
Joonis 2.24. Ringjoone puutuja konstrueerimine läbi punkti  $A$ .

**Kahele ringjoonele välispuutuja konstrueerimine.** Konstrueerida ringjoontele raadiustega  $R_1$  ja  $R_2$  välispuutujad (joonis 2.25). Välispuutujate konstrueerimiseks joonestatakse suurema ringjoone tsentrist abiringjoon raadiusega  $R_3$  ( $R_3 = R_1 - R_2$ ). Poolitades lõigu  $O_1O_2$ , saadakse punkt  $B$ . Punktist  $B$  joonestatakse kaar raadiusega  $R_4$  ( $R_4 = BO_1$ ). Kaare ja abiringjoone lõikepunkt  $C$  ja  $D$  määravad puutepunktidesse  $1$  ja  $2$  suunduvate raadiuste  $O_1I$  ja  $O_1J$  sihid. Puutepunktide leidmiseks väiksemal ringjoonel joonestatakse tsentrist  $O_2$  raadiused  $O_23$  ja  $O_24$ , mis on paralleelsed vastavalt raadiustega  $O_1I$  ja  $O_1J$ . Läbi punktide  $1$ ;  $3$  ja  $2$ ;  $4$  joonestatakse ringjoontele välispuutujad.



Joonis 2.25. Kahe ringjoone välispuutuja konstrueerimine.

**Kahele ringjoonele sisepuutuja konstrueerimine.** Sisepuutujate konstrueerimiseks joonestatakse suurema ringjoone tsentrist abiringjoon raadiusega  $R_3$  ( $R_3 = R_1 + R_2$ ) (joonis 2.26). Poolitades lõigu  $O_1O_2$ , saadakse punkt  $B$ . Punktist  $B$  joonestatakse kaar raadiusega  $R_4$  ( $R_4 = BO_1$ ). Abiringjoonel saadud punktid  $C$  ja  $D$  ühendatakse suurema ringjoone tsentriga  $O_1$ . Saadud lõikepunktid  $1$  ja  $2$  on suurema ringjoone puutepunktid. Puutepunktide leidmiseks väiksemal ringjoonel joonestatakse tsentrist  $O_2$  raadiused  $O_23$  ja  $O_24$ , mis on paralleelsed vastavalt raadiustega  $O_12$  ja  $O_11$ . Läbi punktide  $1$  ja  $4$  ning  $2$  ja  $3$  joonestatakse ringjoonte sisepuutujad.



Joonis 2.26. Kahe ringjoone sisepuutuja konstrueerimine.

## KORDAMISKÜSIMUSED

1. Millised on kaks peamist meetodit sirglõigu poolitamiseks?
2. Kuidas saab sirglõiku jaotada mitmeks võrdseks osaks?
3. Kuidas joonestatakse nurga poolitaja?
4. Millist meetodit kasutatakse täisnurga jaotamiseks kolmeks võrdseks osaks?
5. Kuidas jaotada ringjoon kolmeks, neljaks, kuueks võrdseks osaks?
6. Milliseid konstruktsioone kasutatakse ringjoone jaotamiseks viieks ja kümneks osaks?
7. Kuidas toimub ringjoone jaotamine seitsmeks võrdseks osaks ja miks on see meetod ligikaudne?
8. Mida nimetatakse sujuvühenditeks?
9. Kuidas leitakse kahe lõikuva sirge sujuvühendi tsenter, kui ümardusraadius on antud?
10. Milliseid sujuvühendeid kasutatakse kahe ringjoone ühendamiseks?
11. Kuidas konstrueeritakse kahe ringjoone vahel käänd- ja lookühend?
12. Kuidas segaühend erineb käänd- ja lookühendist?

### III KUJUTAV GEOMEETRIA

#### 13 TÄHISTUSED

Geomeetriliste elementide ja nende vastastikuste asendite kirjeldamiseks kasutatakse järgmisi üldiseid tähiseid ja märke:

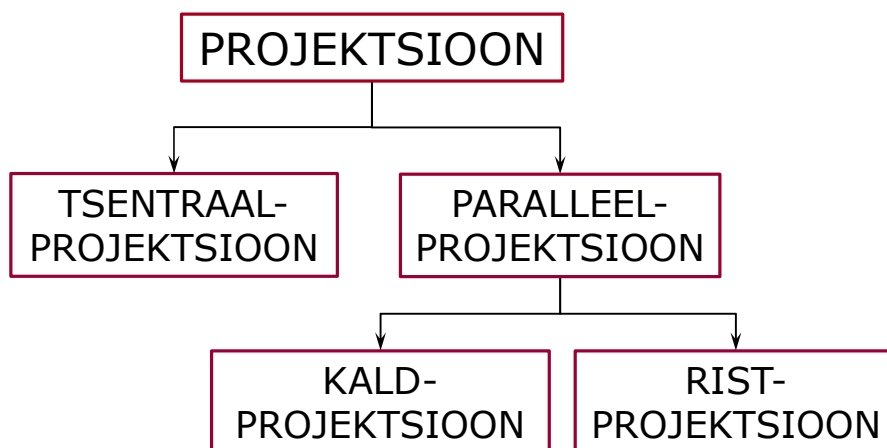
|                     |                                |                                                |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|
| - ruumipunktid      | $A, B, C, \dots$               | ladina suurtähed;                              |
|                     | $1, 2, 3, \dots$               | araabia numbrid;                               |
| - jooned            | $a, b, c, \dots$               | ladina väiketähed;                             |
| - pinnad ja nurgad  | $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ | kreeka väiketähed;                             |
| - paralleelsus      | $\parallel$                    | $a \parallel b$ ( $a$ on paralleelne $b$ -ga); |
| - lõikumine         | $\times$                       | $b \times c$ ( $b$ lõikub $c$ -ga);            |
| - ristseis          | $\perp$                        | $c \perp d$ ( $c$ on risti $d$ -ga);           |
| - kuuluvus          | $\subset$                      | $A \subset s$ (punkt $A$ kuulub joonele $s$ ); |
| - samasus, ühtimine | $\equiv$                       | $A' \equiv B'$ (punktid $A'$ ja $B'$ ühtivad). |

#### 14 PROJEKTEERIMINE

**Projekteerimiseks** nimetatakse geomeetrilist toimingut, mille tulemusena saadakse objektist kujutised. Projekteerimises osalevad järgmised elemendid:

- projekteerivad kiired ehk **kujutamiskiired**;
- projekteeritav ese ehk **objekt**;
- projektsioonitasand ehk **ekraan**.

Kaks esimest elementi, kujutamiskiired ja objekt, esinevad harilikult kujuteldavatena. Projektsioone tuleb vaadelda kui objekti kõiki punkte läbivate kujutamiskiirte ja ekraani lõikepunktide kogumit. Tegelikult tuletatakse kujutised jooniste valmistamisel ainult teadlikult valitud punktide järgi, kasutades oskuslikult geomeetriliste elementide projektsioonilisi omadusi. Projektsioone (kujutisi) liigitatakse kujutamiskiirte vastastikuse asendi põhjal kui ka sõltuvalt sellest, kas kiired langevad ekraanile kaldu või risti (joonis 3.1).



Joonis 3.1. Projektsioonide liigitus.

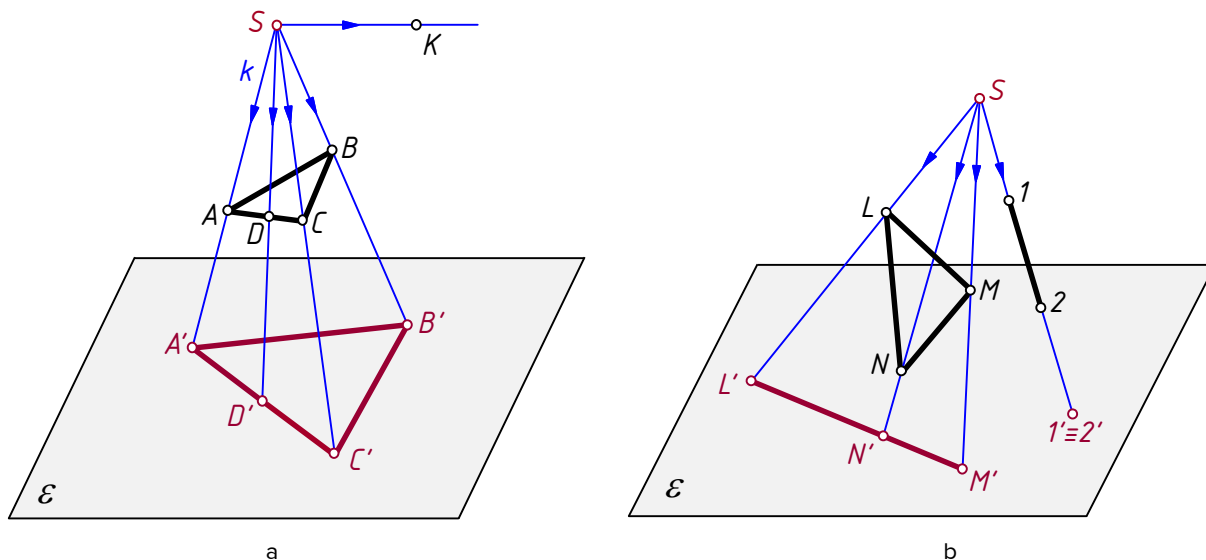
## 14.1 TSENTRAALPROJEKTEERIMINE

Tsentraalprojekteerimisel kasutatakse tsentraalseid kujutamiskiiri. Kõik kujutamiskiired lähtuvad ühest punktist (tsentrist  $S$ ), mida nimetatakse projekteerimistsentriks ehk silmapunktiks.

Tsentraalprojekteerimisel saadud kujutist nimetatakse **tsentraalprojeksiooniks** ehk **perspektiiviks**.

Joonisel 3.2.a on kirjeldatud tsentraalprojekteerimist. On antud ekraan  $\varepsilon$  ja väljaspool seda silmapunkt  $S$ . Kujutamisobjektiks on kolmnurk  $ABC$ . Silmapunktist  $S$  väljuvad kujutamiskiired läbides objekti tippe  $A$ ,  $B$  ja  $C$  lõikuvad ekraaniga  $\varepsilon$  punktides  $A'$ ,  $B'$  ja  $C'$ . Saadud lõikepunktid on nende punktide projeksioonid ekraanil  $\varepsilon$ . Neid punkte ühendades saadakse kolmnurk  $A'B'C'$ , mis on kolmnurga  $ABC$  tsentraalprojeksioon.

Tsentraalprojekteerimisega on võimalik saada igale ruumpunktile projeksioon, välja arvatud olukorras, kus kujutamiskiired on paralleelsed ekraaniga. Punktist  $K$  (joonis 3.2.a) ekraanile kujutist ei saa, kuna kiir  $SK \parallel \varepsilon$ .



Joonis 3.2. Tsentraalprojeksioon.

Eeltoodu põhjal võib sõnastada järgmised projeksioonide üldomadused:

**1. Punkti projeksioon ekraanil on seda punkti läbiva kujutamiskiire ja ekraani lõikepunkt.**

Näiteks (joonis 3.2.a)  $A' \equiv SA \times \varepsilon$ , (loe:  $A'$  on kiire  $SA$  ja ekraani  $\varepsilon$  lõike punkt).

**2. Mistahes objekti projeksioon koosneb selle objekti punktide projeksioonidest.**

Objekt koosneb punktidest. Objekti projekteerimiseks projekteeritakse iseloomulikud punktid ja seejärel need ühendatakse.

**3. Sirgjoone projeksioon on üldjuhul jälle sirge.**

Näiteks joonisel 3.2.a projekteerub sirglõik  $AB$  sirglõiguks  $A'B'$ . Erijuhul, kui sirge on paralleelne kujutamiskiirega, projekteerub see punktiks. Näiteks sirglõik  $l_2$  projekteerub punktiks, sest on paralleelne kujutamiskiirega (joonis 3.2.b).

**4. Kui punkt asub mingil joonel, siis selle punkti projeksioon asub selle joone projeksioonil.**

Kui  $D \subset AC$ , siis  $D' \subset A'C'$  (joonis 3.2.a).

**5. Kui kõik tasandilist kujundit projekteerivad kiired asetsevad kujundi tasandis, siis see kujund projekteerub sirglõiguks.**

Kolmnurk  $LMN$  projekteerub sirglõiguks  $L'N'M'$  (joonis 3.2.b).

**6. Objekti üksainus projeksioon ilma lisaandmeteta ei määra seda objekti ruumis.**

Näiteks, kui on antud silmapunkt, ekraan  $\varepsilon$  ja punkti  $A$  kujutis ekraanil  $A'$  (joonis 3.2.a), siis ruumis ei ole see punkt üheselt määratud. Punkt  $A$  võib asetseda ükskõik kus sellel kiirel.

## 14.2 PARALLEELPROJEKTEERIMINE

Kui kujutamiskiired on omavahel paralleelsed, siis on tegemist paralleelprojekteerimisega ja saadavat kujutist nimetatakse **paralleelprojektsiooniks**. Paralleelprojekteerimist võib vaadelda kui tsentraalprojekteerimise erijuhtu, kus silmapunkt on viidud lõpmata kaugele. Erinevalt tsentraalprojekteerimisest antakse paralleelprojekteerimisel silmapunkti  $S_\infty$  asemel ette kujutamiskiirte  $k$  siht (joonis 3.3). Paralleelprojektsioon jaguneb **kald- ja ristprojektsiooniks** vastavalt sellele, kas kiired langevad ekraanile kaldu või risti. Kuna projektsioone tuletatakse samadel alustel mis tsentraalprojektsioon, siis kehtivad siin eespool toodud laused 1...6.

Lisaks nendele kehtivad paralleelprojekteerimisel järgmised laused:

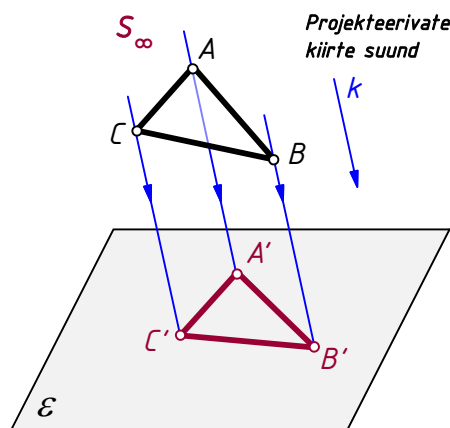
**7. Kui sirglõik on paralleelne ekraaniga, siis tema paralleelprojektsioon sellel ekraanil on pikkuselt võrdne ja paralleelne lõigu enesega.**

$A'B'$  on lõigu  $AB$  paralleelprojektsioon (joonis 3.4). Kui  $AB \parallel \varepsilon$ ,  $AB \subset \mu$ , kus  $\mu \parallel \varepsilon$  ja  $AA' \parallel BB'$ , siis  $A'B' = AB$  ja  $A'B' \parallel AB$ .

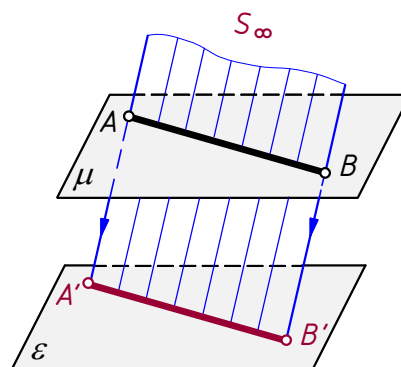
**8. Kui tasandiline kujund on paralleelne ekraaniga, siis tema paralleelprojektsioon on kongruentne kujundi enesega** (joonis 3.5).

**9. Paralleelsete sirgete paralleelprojektsioonid on üldjuhul jälle paralleelsed sirged, erijuhul punkti- kujulised või ühtivad sirged.**

Kui  $AB \parallel CD$ , siis  $A'B' \parallel C'D'$ , (joonis 3.6).



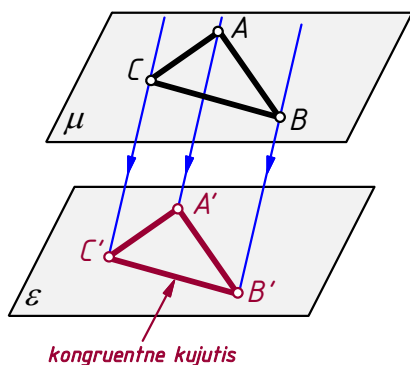
Joonis 3.3. Paralleelprojektsioon.



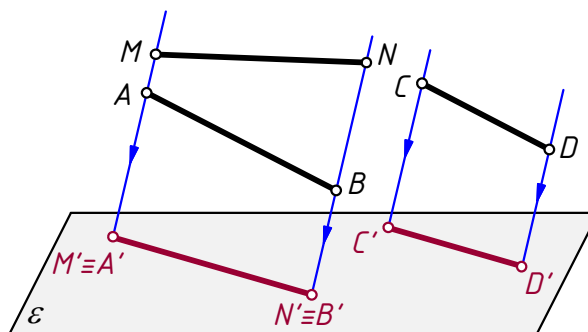
Joonis 3.4. Projekteeritav sirglõik on paralleelne ekraaniga.

Erijuhud:

- Kui antud paralleelsirged on kujutamiskiirtega paralleelsed, siis nad projekteeruvad punktideks;
- Kui sirged, sõltumata nende arvust, asuvad ühel ja samal tasapinnal, mis on kiirtega paralleelne, siis nad projekteeruvad üheks ainsaks sirgeks.



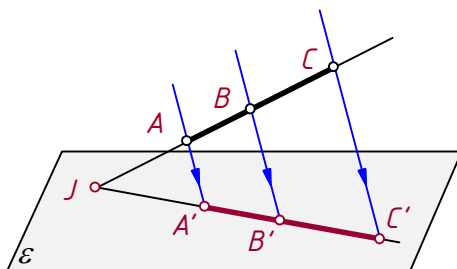
Joonis 3.5. Tasapinnaline kujund on paralleelne ekraaniga.



Joonis 3.6. Paralleelsete sirgete paralleelprojektsioonid.

Tähtis on teada, et lause 9 pole pööratav, s.t sirgete paralleelprojektsioonide paralleelsusest ei saa teha järeldust sirgete paralleelsuse kohta.  $MN \nparallel CD$ , ehkki  $M'N' \parallel C'D'$  (joonis 3.6).

**10. Sirglõigu lõigud on võrdelised oma paralleelprojektsioonidega** (joonis 3.7).



$$\frac{AB}{BC} = \frac{A'B'}{B'C'} \text{ ja } \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C'}{BC}$$

**Joonis 3.7.** Sirglõikude võrdelisus oma paralleelprojektsioonidega.

Sirglõigu paralleelprojektsioon võib olla lõigust kas lühem või pikem või sellega võrdne. See sõltub lõigu, kiirte ja ekraani vastastikusest asendist. Sirglõigu paralleelprojektsiooni pikkuse ja lõigu enda pikkuse suhet nimetatakse **moondeteguriks** ( $m$ ).

$$\frac{A'B'}{AB} = m$$

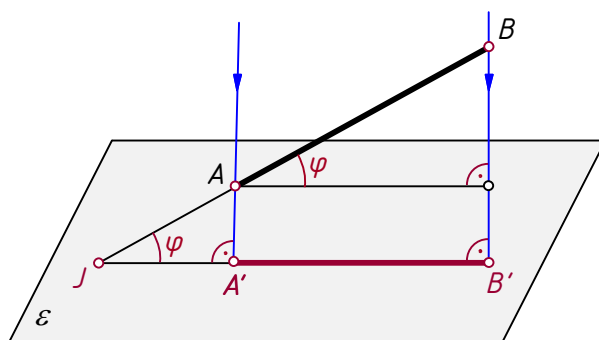
Sirglõigu moondetegurit võib defineerida ka kui arvu, millega tuleb korrutada lõigu pikkust, et saada tema paralleelprojektsiooni pikkus. Näiteks lõigu  $AB$  puhul on  $A'B' = m \cdot AB$ . Paralleelprojekteerimisel võib lõigu moondetegur olla vahemikus  $0 \leq m < \infty$ .

### 14.3 RISTPROJEKTEERIMINE

Kui kujutamiskiired on ekraaniga risti, siis objektist saadavat kujutist nimetatakse selle objekti **ristprojektsiooniks**. Et ristprojektsioon on paralleelprojektsiooni alaliik, siis kehtivad siin kõik eespool toodud laused 1...10. Lisaks sellele on ristprojektsioonil veel järgmised eriomadused.

**11. Sirglõigu ristprojektsiooni pikkus võrdub lõigu enda pikkuse ja kaldenurga koosinuse korrutisega:**

$$A'B' = AB \cdot \cos \varphi, \text{ (joonis 3.8).}$$



**Joonis 3.8.** Sirglõigu ristprojektsioon.

**Sirglõigu kaldenurgaks** ekraani suhtes nimetatakse teravnurka ( $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ) selle sirge ja tema ristprojektsiooni vahel. Sirglõigu ristprojektsioon ei saa olla lõigust enesest pikem, sest  $\cos \varphi \leq 1$ .

Kui  $\cos \varphi = 1$ , siis  $AB \parallel \varepsilon \Rightarrow A'B' = AB$ ;

Kui  $\cos \varphi = 0$ , siis ( $\varphi = 90^\circ$ )  $AB \perp \varepsilon \Rightarrow A'B' = 0$ .

Järelikult on ristprojekteerimisel lõigu moondetegur avaldatav nurgafunktsiooni kaudu  $m = A'B' / AB = \cos \varphi$ . Et  $\cos \varphi \leq 1$ , siis jääb lõigu moondetegur ristprojekteerimisel vahemikku  $0 \leq m \leq 1$ .

Sõltuvalt nurga tasandi asendist ekraani ja kiirte suhtes on nurga ristprojektsioon nurgast enesest kas suurem või väiksem või sellega võrdne. Teravnurga ristprojektsioon võib nurga asendist tingitud olla piires  $0^\circ$  kuni  $180^\circ$ .

## 12. Täisnurk projekteerub ristprojekteerimisel täisnurgaks, kui tema üks haar asetseb ekraanil või on sellega paralleelne, teine haar aga pole ekraaniga risti.

## 14.4 PROJEKTSIOONIDELE ESITATAVAD NÕUDED

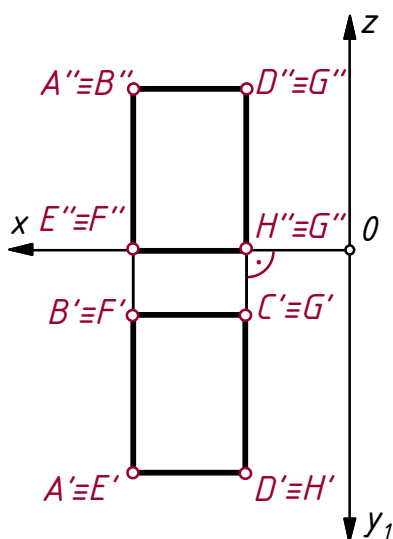
Kujutised peavad vastama kolmele olulisele omadusele:

- **lihtsus.** Kujutis on seda lihtsam, mida vähem jooni see sisaldab ja mida lihtsamad need jooned on. Lihtsat kujutist on kerge joonestada. Objektist lihtsama kujutise saamiseks asetatakse objekt projekteerivate kiirte ja ekraani suhtes eriasendisse. Sellisel juhul projekteeruvad objekti servad ja tahud vastavalt punktideks ja sirglõikudeks ning tulemuseks on lihtne kujutis;
- **mõõdetavus.** Kujutis on mõõdetavuselt seda parem, mida rohkem objekti tasandilisi kujundeid on projekteerunud moondevabalt;
- **piltlikkus.** Kujutis on seda piltlikum, mida hõlpsamalt objekt ära tuntakse. Objektist piltlikuma kujutise saamiseks asetatakse objekt projekteerivate kiirte ja ekraani suhtes üldasendisse. Sellisel juhul ei ole servad ja tahud risti ekraanidega ning tulemuseks on piltlikum kujutis.

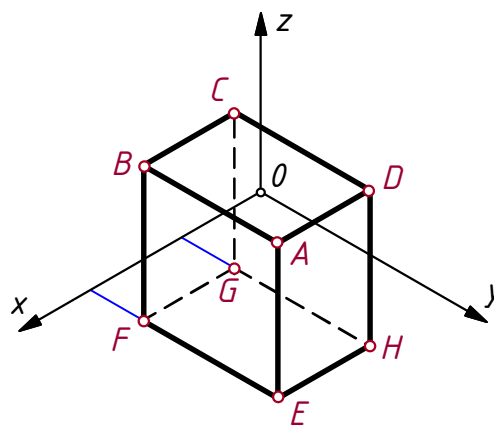
Ühe või teise omaduse eelistatus sõltub kujutise kasutamise valdkonnast ja eesmärgist. Kujutavas geomeetrias ja tehnilises joonestamises peetakse oluliseks kujutiste lihtsust ja mõõdetavust, sest joonised peavad olema objekti määravad, s.o üheselt määrama objekti kõik geomeetrilised omadused.

Kuna üksainus kujutis ilma lisaandmeteta ei määra objekti ruumis üheselt, tuleb seda täiendada lisaandmetega. Seetõttu kasutatakse praktikas lisaandmete valikust olenevalt järgmisi objekti määravate jooniste saamise meetodeid.

**1. Monge'i meetod.** Objekti määramiseks kasutatakse selle objekti kahte ristprojektsiooni teineteisega ristuvatel ekraanidel. Seejärel pööratakse ekraanid koos kujutistega ühele tasapinnale – joonisepinnale (joonis 3.9). See meetod on tuntud kaksvaate nimetuse all. Meetodi võttis kasutusele Prantsuse õpetlane ja insener Gaspard Monge (1746–1818).



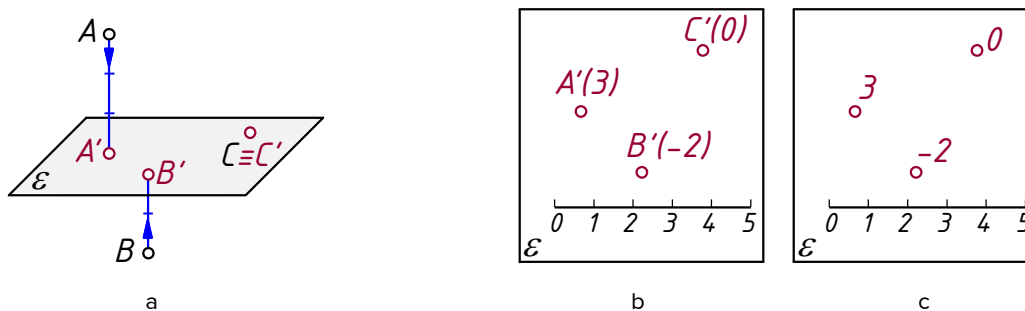
Joonis 3.9. Tahuka kaksvaade.



Joonis 3.10. Tahuka aksonomeetriline kujutis.

**2. Aksonomeetria meetod.** Praktikas on sageli vaja objektide piltlikke kujutisi, mille järgi oleks võimalik määrata objekti mõõtmeid. Piltkujutist, mille konstrueerimisel kasutatakse abivahendina teljestiku kujutist, nimetatakse aksonomeetriliseks kujutiseks. Aksonomeetriline projektsioon võimaldab objekti ruumilist kujutamist ühes vaates, s.o korraga kolmes mõõtmes: pikkus, laius, kõrgus. Selline olukord saavutatakse objekti paigutamisega ruumi nii, et ühele projektsioonpinnale projekteerub nähtavalt korraga tema kolm eri tasapinnas asetsevat külge. Nimetatud külgede kujutamiseks tuleb tõmmata kontuurid paralleelselt aksonomeetria teljestiku telgedega (joonis 3.10).

**3. Kvooditud ristprojektsiooni meetod.** Objekti ristprojektsioon tuletatakse horisontaalsel ekraanil. Objekti oluliste punktide üheseks määramiseks ekraani suhtes lisatakse nende punktide kaugused (kõrgused) ekraanist. Kujutist, millel lisaks objekti punktide ristprojektsioonidele on antud ka nende punktide kaugused ekraanist, nimetatakse kvooditud ristprojektsiooniks. Kaugusi ekraanist ülespoole loetakse positiivseteks, allapoole aga negatiivseteks. Joonisel 3.11.a on näidatud kolme punkti  $A$ ,  $B$  ja  $C$  aksonomeetriline kujutis. Kõrgused ekraanist mõõdetakse mingi ühikuga ja kirjutatakse arvudena sulgudesse vastavate punktide ristprojektsioonide tähistest juurde (joonis 3.11.b). Kui punktide tähistamine pole vajalik, kirjutatakse kõrgusarvud lihtsalt vastavate punktide ristprojektsioonide juurde (joonis 3.11.c). Lisaks antakse ka ühik või skaala (mõõtkava) kõrguste mõõtmiseks. Kvooditud ristprojektsiooni põhimõttel on valmistatud kõik topograafilised kaardid.



**Joonis 3.11.** Punktide kvooditud ristprojektsioon.

Kujutavas geometrias ja tehnilises joonestamises kasutatakse põhiliselt kahte esimest kirjeldatud objekti määravate jooniste saamise meetodit.

## 15 MONGE'I MEETOD

### 15.1 PUNKTI KAKSVAADE

**Monge'i meetodi olemus.** Objektist tuletatakse mitu ristprojektsiooni ekraanidel, mis on üksteisega risti. Seejärel pööratakse ekraanid koos kujutistega ühele tasandile – joonisepinnale. Niiviisi saadud joonist, mis koosneb mitmest omavahel seotud ristprojektsioonist, nimetatakse **mituvaateks**.

Kaksvaate saamiseks võetakse kaks teineteisega risti olevat ekraani (joonis 3.12.a), kus

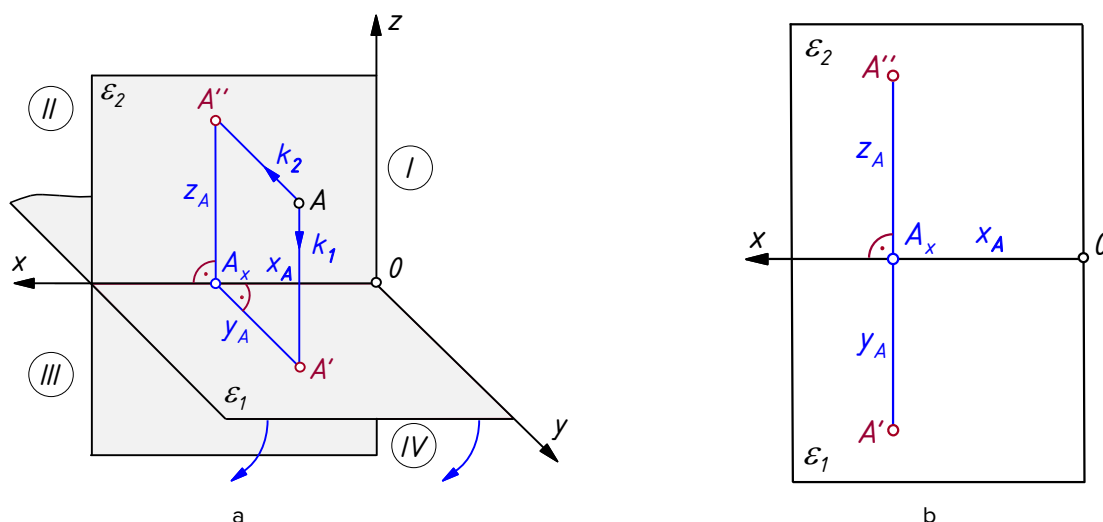
$\varepsilon_1 \equiv xy$  - tasand (horisontaalne) – **põhiekraan**;

$\varepsilon_2 \equiv xz$  - tasand (vertikaalne) – **esiekraan**;

$x \equiv \varepsilon_1 \times \varepsilon_2$  (ekraanide  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_2$  lõikejoon) – **x-telg**.

Edasi tuletatakse ruumipunkti  $A$  ristprojektsioonid ekraanidel  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_2$ . Projekteeriv kiir  $k_1$  (põhikiir) on risti põhiekraaniga ( $k_1 \perp \varepsilon_1$ ) ja lõikudes ekraaniga  $\varepsilon_1$  annab punkti  $A$  ristprojektsiooni põhiekraanil  $A'$  (loe:  $A$  prim), mida nimetatakse punkti  $A$  **pealtvaateks** (horisontaalprojektsiooniks).

Projekteeriv kiir  $k_2$  (esikiir) on risti esiekraaniga ( $k_2 \perp \varepsilon_2$ ) ja lõikudes ekraaniga  $\varepsilon_2$  annab punkti  $A$  ristprojektsiooni esiekraanil  $A''$  (loe:  $A$  sekund), mida nimetatakse punkti  $A$  **eestvaateks** (frontaalprojektsiooniks).



**Joonis 3.12.** Punkti  $A$  kaksvaate tuletamine: a – projekteerimine kahele ristuvale ekraanile; b – punkti  $A$  kaksvaade.

Punkti  $A$  kaugust põhiekraanist  $AA'$  nimetatakse selle punkti **põhikvoodiks** ja kaugust esiekraanist  $AA''$  punkti **esikvoodiks**.

Kahel ristuvale ekraanil asetsevad kujutised (joonis 3.12.a) ei saa vaadelda joonisena. Joonise saamiseks pööratakse põhiekraan  $\varepsilon_1$  koos punkti  $A$  pealtvaatega  $A'$  ümber  $x$ -telje ühtivaks esiekraaniga  $\varepsilon_2$ . Saadud joonist nimetatakse punkti  $A$  kaksvaateks (joonis 3.12.b).

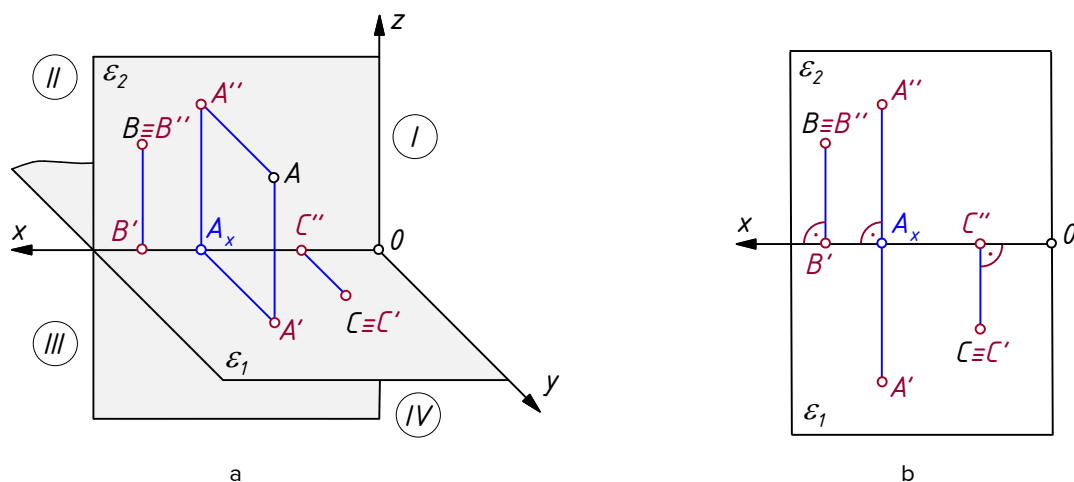
Projektsioone ühendavat sirget  $AA''$  nimetatakse **sidejooneks** ja telge  $x$  **kaksvaate teljeks**.

**Kaksvaate tähtsamad omadused on järgmised:**

1. Projektsioone ühendav sidejoon on alati risti kaksvaate teljega. Sidejoone kaudu avaldub kujutiste projektsiooniline seos.
2. Punkti kaugust põhiekraanist (põhikvooti) näitab kaksvaatel eestvaate kaugus  $x$ -teljest ( $AA' = A''A_x$ ); punkti kaugust esiekraanist (esikvooti) näitab pealtvaate kaugus  $x$ -teljest ( $AA'' = A'A_x$ ).
3. Kui punkt on esiekraanil (nagu punkt  $B$  joonisel 3.13.a ja b), siis tema eestvaade ühtib punkti enesega, pealtvaade aga on  $x$ -teljel. Paikneb aga punkt põhiekraanil (nagu  $C$ ), siis ühtib tema pealtvaade punkti enesega ja eestvaade on  $x$ -teljel.

Kui punkti ükski koordinaat ei võrdu nulliga (nagu punktil  $A$ ), siis on tegemist üldasendilise punktiga. Kui vähemalt üks punkti koordinaat on võrdne nulliga (nagu punktidel  $B$  ja  $C$ ), siis on tegemist eriasendilise punktiga.

Punkti kaksvaade määrab punkti asukoha ekraanide suhtes üheselt.



**Joonis 3.13.** Punktide  $A$ ,  $B$  ja  $C$  kaksvaate tuletamine: a – projekteerimine kahele ristuvale ekraanile; b – punktide kaksvaated.

Nagu näha jooniselt 3.12.a ja 3.13.a, jaotavad ristuvad ekraanid  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_2$  kogu ruumi neljaks ruumiveerandiks:

- I ruumiveerand asetseb esiekraani ees ja põhiekraanist ülevalpool;
- II ruumiveerand asetseb esiekraani taga ja põhiekraanist ülevalpool;
- III ruumiveerand asetseb esiekraani taga ja põhiekraanist allpool;
- IV ruumiveerand asetseb esiekraani ees ja põhiekraanist allpool.

Näitamaks punktide kaksvaate saamist vastavalt ruumiveerandile, milles nad asuvad, on esitatud ekraanid  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_2$  serviti nähtuna nii, et  $x$ -telg on suunatud joonisepinnast vaatleja poole (joonis 3.14.a). Põhiekraani pööramise suunda näitab nool.

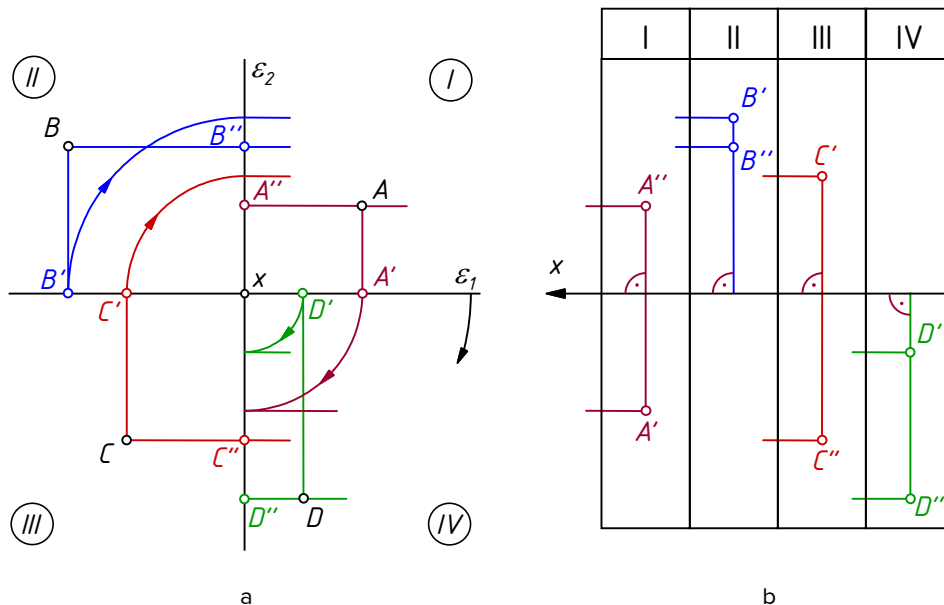
Punktide kaksvaated (joonis 3.14.b):

- I ruumiveerandi punkti  $A$  eestvaade  $A''$  on  $x$ -teljest kõrgemal ja pealtvaade  $A'$  madalamal;
- II ruumiveerandi punkti  $B$  eestvaade  $B''$  on  $x$ -teljest kõrgemal ja pealtvaade  $B'$  satub pärast pööramist samuti  $x$ -teljest kõrgemale;
- III ruumiveerandi punkti  $C$  pealtvaade  $C'$  on  $x$ -teljest kõrgemal, eestvaade  $C''$  madalamal;
- IV ruumiveerandi punkti mõlemad vaated  $D'$  ja  $D''$  tulevad  $x$ -teljest madalamale.

Punkti asukoha määramiseks ruumis kaksvaate järgi peab teadma, et punkt on ruumis

- 1) esiekraani ees või taga vastavalt sellele, kas pealtvaade on teljest madalamal või kõrgemal;
- 2) põhiekraanist kõrgemal või madalamal vastavalt sellele, kas eestvaade on teljest kõrgemal või madalamal.

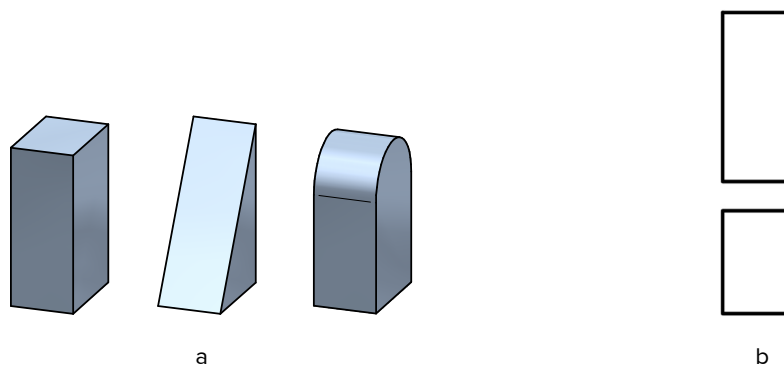
Esimese ruuminurga meetod järgi asetatakse kujutatav objekt esimesse ruumiveerandisse. Sel juhul saadakse kaksvaatel harjumuspärane kujutiste paiknemine – eestvaade teljest kõrgemal, pealtvaade madalamal (punkt  $A$ ).



Joonis 3.14. Punktide kaksvaate tuletamine vastavalt ruumiveerandile, milles nad asuvad.

## 15.2 PUNKTI KOLMVAADE

Kaksvaade määrab küll punkti asukoha ekraanide suhtes, kuid ei suuda ära määrata keerukamaid objekte. Keerukama objekti puhul on punktide arv väga suur ning kõikide punktide tähistamine teeb joonise väga kirjuks ja ebaülevaatlikuks. Seetõttu on tehnilises joonestamises loobutud punktide projektsioonide tähistamisest. Tähisteta kaksvaade aga ei tarvitse määrata objekti üheselt. Näiteks on joonisel 3.15.a kujutatud kolm objekti, millel on ühesugused projektsioonid (joonis 3.15.b).



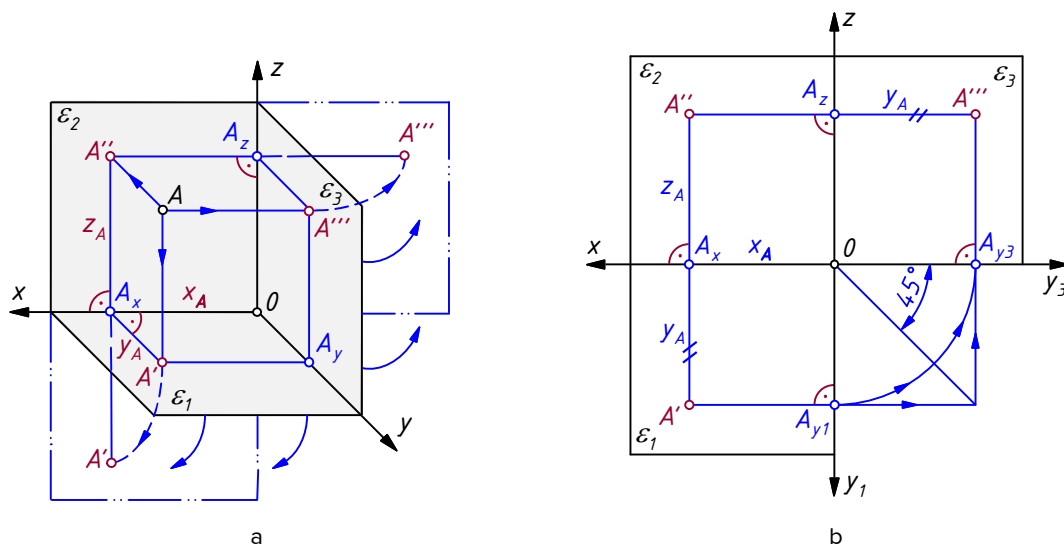
**Joonis 3.15.** Objektid, millel on ühesugune kaksvaade: a – aksonomeetrilised kujutised; b – kaksvaade.

Kui kaksvaade ei määra objekti üheselt, siis antakse kahele vaatele lisaks uusi ristprojektsioone (lisavaateid) lisaekraanidel. Esimene lisaekraan  $\varepsilon_3$  võetakse harilikult risti  $x$ -teljega, s.o risti nii põhi- kui ka esiekraaniga (joonis 3.16.a):

$\varepsilon_3 \equiv yz$ -tasand – **külgekraan**.

Külgekraan lõikab põhi- ja esiekraani mööda telgsirgeid  $y$  ja  $z$ . Objekti ristprojektsiooni külgekraanil nimetatakse **külgsaateks** ehk **vasaksaateks** (profiilprojektsiooniks). Punktist  $A$  saame siis ekraanil  $\varepsilon_3$  ristprojektsiooni  $A'''$  (loe:  $A$  terts).

Projekteerides ruumpunkti  $A$  ristprojektsioonid ekraanidele  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  ja  $\varepsilon_3$ , saadakse selle pealtvaade  $A'$ , eestvaade  $A''$  ja külgsaade  $A'''$  (joonis 3.16.a). Punkti  $A$  kaugus külgekraanist võrdub lõiguga  $AA'''$ . Ekraanide lõikesirged koos nende ühise  $O$ -punktiga võetakse ristkoordinaatide teljestikuks  $Oxyz$ .  $O$ -punkti loetakse koordinaatide alguspunktiks. Pöörates põhiekraani  $\varepsilon_1$  ümber  $x$ -telje ja külgekraani  $\varepsilon_3$  ümber  $z$ -telje esiekraani  $\varepsilon_2$  tasandile, saadakse punkti  $A$  **kolmvaade** (joonis 3.16.b). Kolmvaatel on projektsioone  $A'$  ja  $A''$  ühendav sirge (püstsidejoon) risti  $x$ -teljega, ning projektsioone  $A''$  ja  $A'''$  ühendav sirge (rõhtsidejoon) risti  $z$ -teljega.



**Joonis 3.16.** Punkti  $A$  kolmvaade tuletamine: a – punkti  $A$  projekteerimine kolmele ristuvale ekraanile; b – punkti  $A$  kolmvaade.

Sisuliselt koosneb kolmvaade kahest kaksvaatest, moodustatuna ekraanipaaridest  $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2$  ja  $\varepsilon_2 \perp \varepsilon_3$ . Et esiekraan esineb kummaski kaksvaates, nimetatakse siin esiekraani peaeakraaniks ja eestvaadet peakujutiseks. Objektist võetakse eest- ehk peavaateks selline vaade, mis annab selle objekti kohta kõige rohkem infot.

Punkti  $A$  esikvoot ehk peakvoot esineb kolmvaates kaks korda – pealtvaate  $A'$  kaugusena  $x$ -teljest ja külgsaate  $A''$  kaugusena  $z$ -teljest (joonis 3.16) koordinaat-lõiguga  $y_A$  (punkti  $A$   $y$ -koordinaat):

$$A_x A' = A_z A'' = A'' A = y_A.$$

Seda seost nimetatakse **kolmvaate peaomaduseks** ja see on aluseks objekti kolmanda kujutise tuletamisel antud kaksvaate põhjal. Kui on antud punkti kaks projektsiooni, siis need määravad üheselt kolmanda projektsiooni.

Kui punkt on antud oma koordinaatidega ja soovitakse saada tema kaks- või kolmvaadet, siis tuletatakse kujutised koordinaatlõikude abil (joonis 3.16).

$x$ -koorinaatlõik (külkvoot – kaugust külgekraanist)

$$x_A = OA_x = A''A = A_z A'';$$

$y$ -koorinaatlõik (esikvoot – kaugust esiekraanist)

$$y_A = OA_y = A''A = A_x A' = A_z A'';$$

$z$ -koorinaatlõik (põhikvoot – kaugust põhiekraanist)

$$z_A = OA_z = A'A = A_x A'.$$

Et koordinaatlõigud on suunatud suurused, s.o positiivsed või negatiivsed, tuleb kujutiste märkimisel igale ekraanile hoolikalt jälgida telgede suunda.

Tuleb arvestada, et  $y$ -telg sattus pööramisel kahele eri ekraanile:

- telg  $y_1$  kuulub põhiekraani  $\varepsilon_1$  juurde ja tema positiivne suund on alla (vastandsuunaliselt  $z$ -teljega);
- telg  $y_3$  kuulub külgekraani  $\varepsilon_3$  juurde ja tema positiivne suund on paremale (vastandsuunaliselt  $x$ -teljega).

Seega märgitakse  $y$ -koordinaatlõik pealtvaate tuletamisel  $y_1$  ja külgsaate tuletamisel  $y_3$  järgi.

Siinses kursuses kasutatakse punkti  $A(x_A; y_A; z_A)$  kolmvaate tuletamist järgmiselt koostatud murdjoonte joonestamises (joonis 3.16.b):

pealtvaate  $A'(x, y)$  jaoks lõikudest  $OA_x$  ja  $A_x A'$ ;

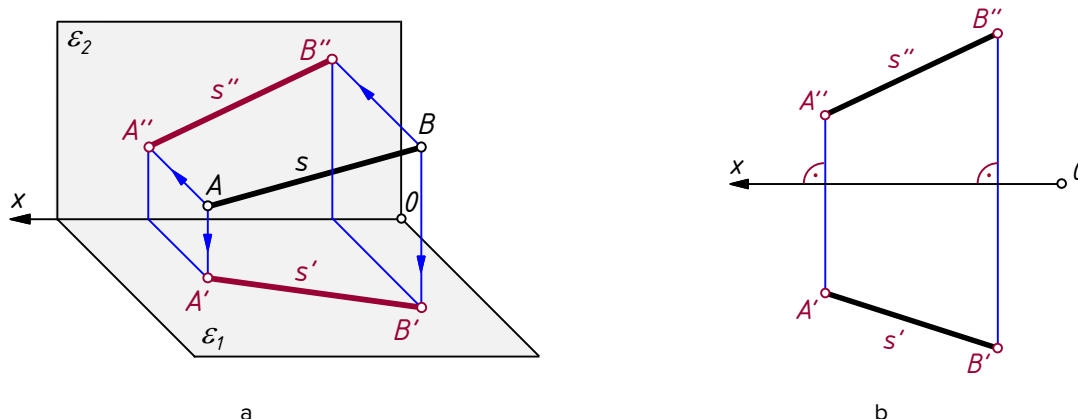
eestvaate  $A''(x, z)$  jaoks lõikudest  $OA_x$  ja  $A_x A''$ ;

külgsaate  $A'''(y, z)$  jaoks lõikudest  $OA_z$  ja  $A_z A'''$ .

Punkti külgsaadet on kaksvaate järgi veel võimalik tuletada (joonis 3.16.b) kas kasutades  $O$ -punktist joonestatud kaart raadiusega  $OA_{y1}$  või abisirget, mis on joonestatud  $45^\circ$  nurga all.

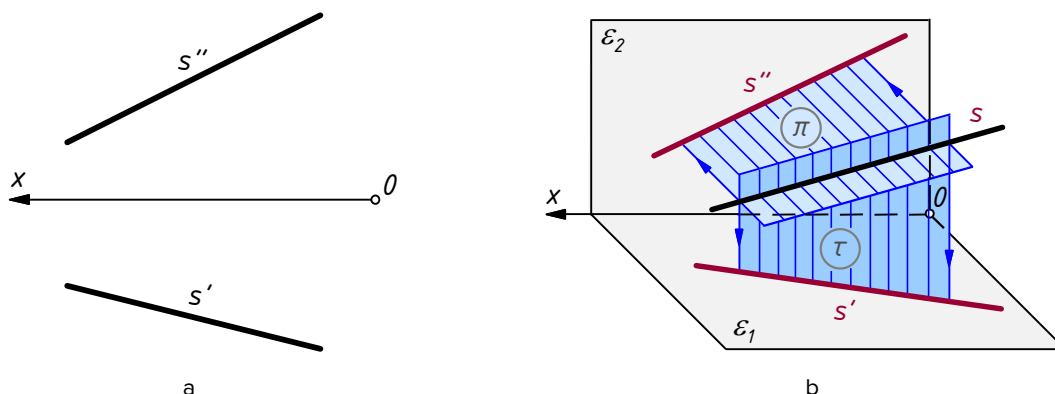
### 15.3 SIRGJOONE KAKS- JA KOLMVAADE

Sirgjoon on määratud oma kahe punktiga, iga punkt aga oma kaksvaatega. Järelikult sirgjoon on määratud oma kahe punkti kaksvaatega (joonis 3.17.a ja b). Kui on tuletatud kahe punkti  $A$  ja  $B$  projektsioonid ( $A', A'', B', B''$ ), siis ühendades samanimelised projektsioonid, saadakse sirgjoone  $AB$  kaksvaade (pealtvaade  $s' = A'B'$  ja eestvaade  $s'' = A''B''$ ).



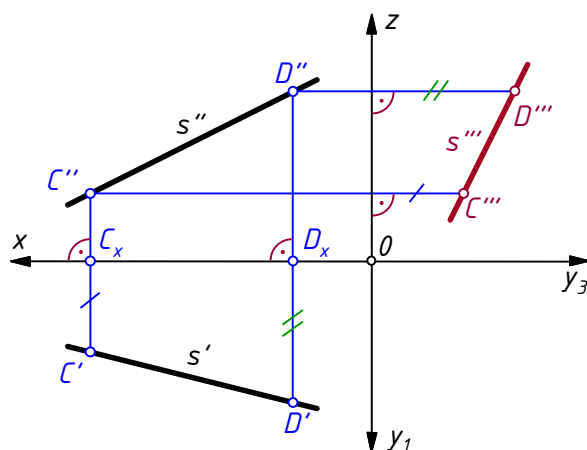
**Joonis 3.17.** Sirglõigu  $AB$  kaksvaate tuletamine: a – sirglõigu  $AB$  projekteerimine kahele ristuvale ekraanile kahe punktiga; b – sirglõigu  $AB$  kaksvaade.

Sirge võib üldjuhul olla määratud ka lihtsalt oma kaksvaatega ( $s'$ ,  $s''$ ), millel ei ole fikseeritud selle sirge ühegi punkti projektsioone (joonis 3.18.a). Sirgjoone kõiki punkte projekteerivad kiired moodustavad seda sirgjoont projekteeriva tasapinna. Sirge  $s$  pealtvaate määrab projekteeriv tasand  $\tau$  ja eestvaate projekteeriv tasand  $\pi$ , kusjuures  $\tau \perp \varepsilon_1$  ja  $\pi \perp \varepsilon_2$ , ning  $\tau$  ja  $\pi$  lõikejoon on sirge  $s$  (joonis 3.18.b).



**Joonis 3.18.** Sirge  $s$  kaksvaate tuletamine: a – sirge  $s$  kaksvaade; b – sirge  $s$  projekteerimine kahele ristuvale ekraanile.

Kaksvaatega ( $s'$ ,  $s''$ ) antud sirge külgsaate  $s'''$  tuletamiseks valitakse vabalt kaks punkti (joonis 3.19)  $C$  ja  $D$  ning tuletatakse nende külgsaated  $C'''$  ja  $D'''$ . Selleks tõmmatakse punktide  $C''$  ja  $D''$  sidejooned risti  $z$ -teljega, mõõdetakse punktide  $y$ -koordinaatlõigud  $C_x C'$  ja  $D_x D'$  ning kantakse  $z$ -teljest sidejoontele. Ühendades saadud punktid  $C'''$  ja  $D'''$ , saadakse sirge  $s$  külgsaade  $s'''$ .



**Joonis 3.19.** Üldasendilise sirge kolmanda vaate tuletamine.

## 15.4 ERIASENDILISED SIRGED

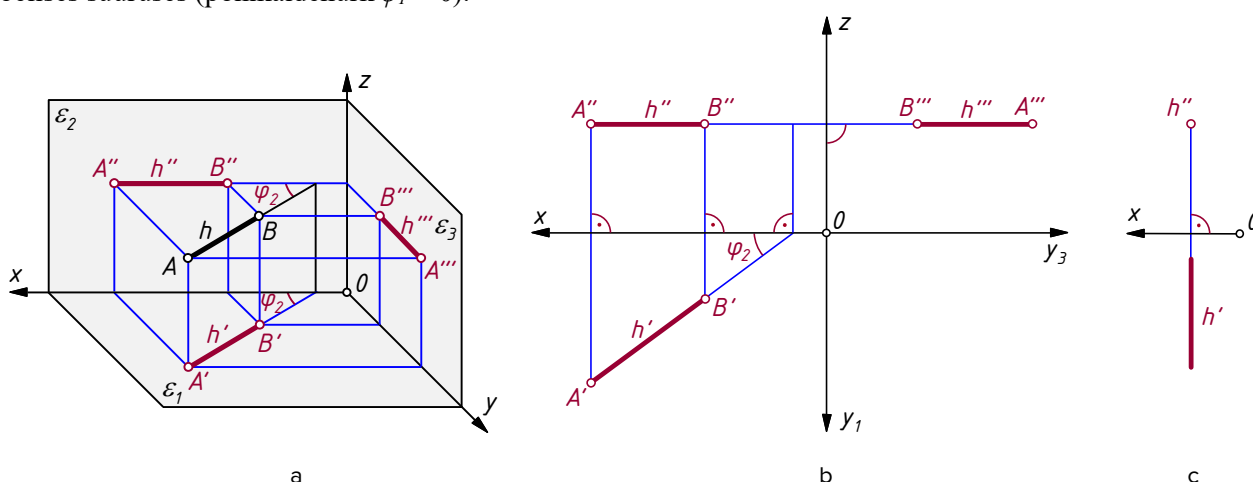
Sirge võib ekraanide suhtes olla kas üldasendis või eriasendis:

1. **Üldasendiliseks sirgeks** nimetatakse sirget, mis ei ole ühegi ekraaniga paralleelne ega asetse ühelgi ekraanil. Üldasendilise sirge kõik kolm projektsiooni on telgede suhtes kaldu (joonis 3.19). Sirglõigu ristprojektsioonid on sirglõigust enesest lühemad. Sirge kaldenurgad ei esine üheski vaates õiges suurus.
2. **Eriasendiliseks sirgeks** nimetatakse sirget, mis on mõne ekraaniga paralleelne või asetseb mõnel neist. Ekraaniga paralleelset sirget nimetatakse nivoosirgeks selle ekraani suhtes. Sirge kolmest ristprojektsioonist kaks on paralleelsed mõne teljega või ühtivad sellega. Sirglõigu pikkus ja kaldenurgad esinevad mõnes vaates oma tegelikus suurus.

Eriasendilised sirged on

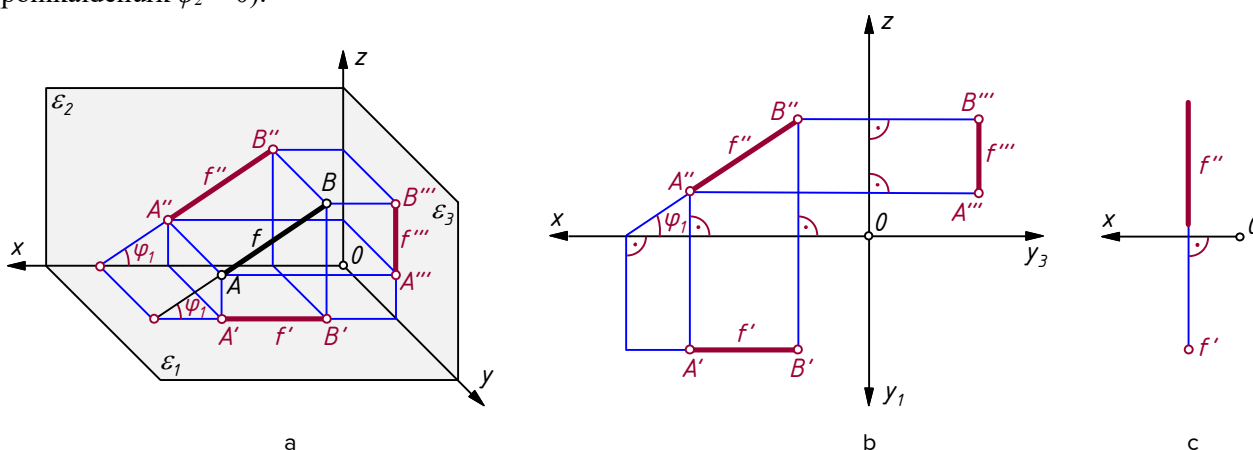
- **horisontaal** – põhiekraani paralleelsirge (tähis  $h$ );
- **frontaal** – esiekraani paralleelsirge (tähis  $f$ );
- **profiilsirge** – külgekraani paralleelsirge (tähis  $r$ ).

**1. Horisontaal  $h$  ( $h \parallel \varepsilon_1$ ).** Horisontaali piltkujutis on toodud joonisel 3.20.a. Kuna horisontaali kõik punktid asuvad põhiekraanist võrdsel kaugusel, siis eestvaade on  $x$ -teljega paralleelne ( $h'' \parallel x$ ) (joonis 3.20.b); erijuhul punkt, kui  $h \perp \varepsilon_2$  (joonis 3.20.c). Kõik lõigud, mis asuvad horisontaalil, projekteeruvad põhiekraanile tõelises pikkuses ( $A'B' = AB$ ). Esikaldenurk  $\varphi_2$  (nurk sirge ja esiekraani vahel) projekteerub põhiekraanile tõelises suurus (põhikaldenurk  $\varphi_1 = 0$ ).



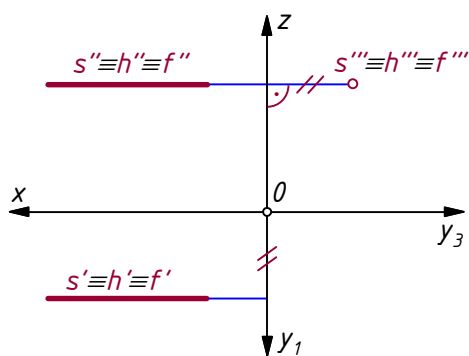
**Joonis 3.20.** Horisontaal: a – horisontaali piltkujutis; b – horisontaali kolmvaade; c – horisontaali erijuht  $h \perp \varepsilon_2$ .

**2. Frontaal  $f$  ( $f \parallel \varepsilon_2$ ).** Frontaali piltkujutis on toodud joonisel 3.21.a. Et frontaali kõik punktid asuvad esiekraanist võrdsel kaugusel, siis pealtvaade on  $x$ -teljega paralleelne ( $f' \parallel x$ ) (joonis 3.21.b); erijuhul punkt, kui  $f \perp \varepsilon_1$  (joonis 3.21.c). Kõik lõigud, mis asuvad frontaalil, projekteeruvad esiekraanile tõelises pikkuses ( $A''B'' = AB$ ). Põhikaldenurk  $\varphi_1$  (nurk sirge ja põhiekraani vahel) projekteerub esiekraanile tõelises suurus (põhikaldenurk  $\varphi_2 = 0$ ).



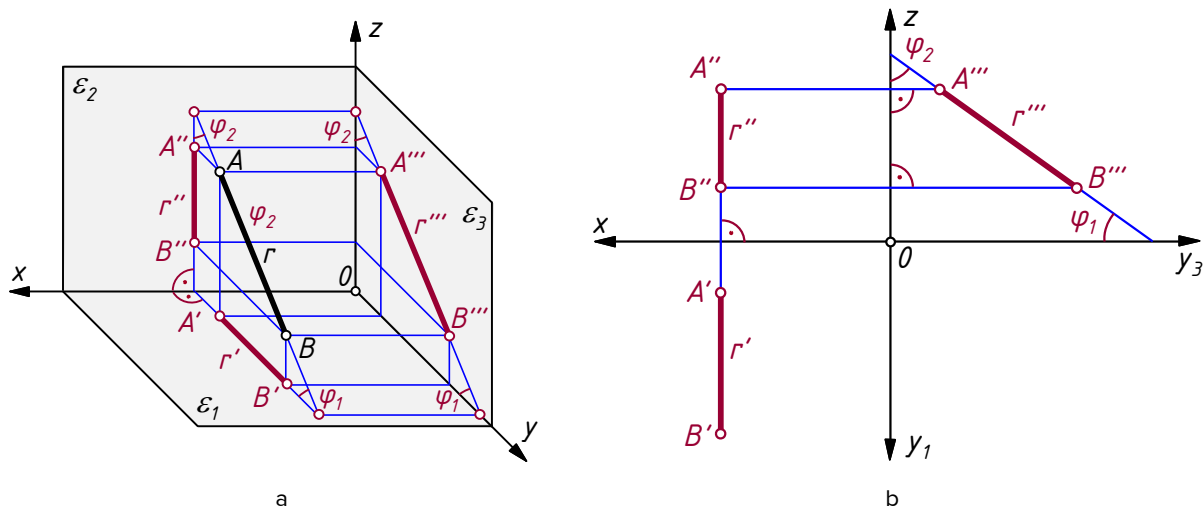
**Joonis 3.21.** Frontaal: a - frontaali piltkujutis; b - frontaali kolmvaade; c - frontaali erijuht  $f \perp \varepsilon_1$ .

Kui sirge  $s$  on paralleelne nii põhi- kui ka esiekraaniga, siis on ta ühtaegu nii horisontaal kui ka frontaal (joonis 3.22). Niisugune sirge on paralleelne  $x$ -teljega ja risti külgekraaniga ning külgevaateks on punkt. Sirget, mis on ekraaniga risti, nimetatakse selle ekraani suhtes **projekteerivaks sirgeks**.



Joonis 3.22. Projekteeriv sirge.

**3. Profiilsirge  $r$  ( $r \parallel \varepsilon_3$ ).** Profiilsirge piltkujutis on toodud joonisel 3.23.a. Kuna profiilsirge kõik punktid asuvad külgekraanist võrdsel kaugusel, siis pealt- ja eestvaade on üldjuhul sirged, mis on risti  $x$ -teljega ning asetsevad ühel ja samal sidejoonel ( $r' \perp x$ ,  $r'' \perp x$ ) (3.23.b). Erijuhul võib profiilsirge projektsiooniks tulla punkt (joonised 3.20.c ja 3.21.c), kus  $h \perp \varepsilon_2$  ja  $f \perp \varepsilon_1$ . Need sirged on ühtlasi profiilsirged.



Joonis 3.23. Profiilsirge: a – profiilsirge piltkujutis; b – profiilsirge kolmvaade.

Kui profiilsirge  $s$  on antud lihtsalt oma kaksvaatega ( $r'$ ,  $r''$ ), siis kaksvaade ei määra seda profiilsirget üheselt. See tähendab, et profiilsirge ei ole oma pealt- ja eestvaate kaudu määratud. Erandiks on profiilsirged, mis on risti põhi- ja esiekraaniga. Nende sirgete üks projektsioon on punkt ja nende asend ruumis on täielikult määratud punkt kujutisega (joonised 3.20.c ja 3.21.c). Profiilsirgeid saab üheselt määrata kas näidates sirge kahe punkti kaksvaated või täpsustades sirge asendit ruumis kujutisega külgekraanil (joonis 3.23.b).

Kõik lõigud, mis asuvad profiilsirgel, projekteeruvad külgekraanile tõelises pikkuses ( $A'''B''' = AB$ ). Põhikaldenurk  $\varphi_1$  ja esikaldenurk  $\varphi_2$  projekteeruvad külgekraanile tõelises suurus.

## 15.5 SIRGLÕIGU PIKKUS JA KALDENURGAD

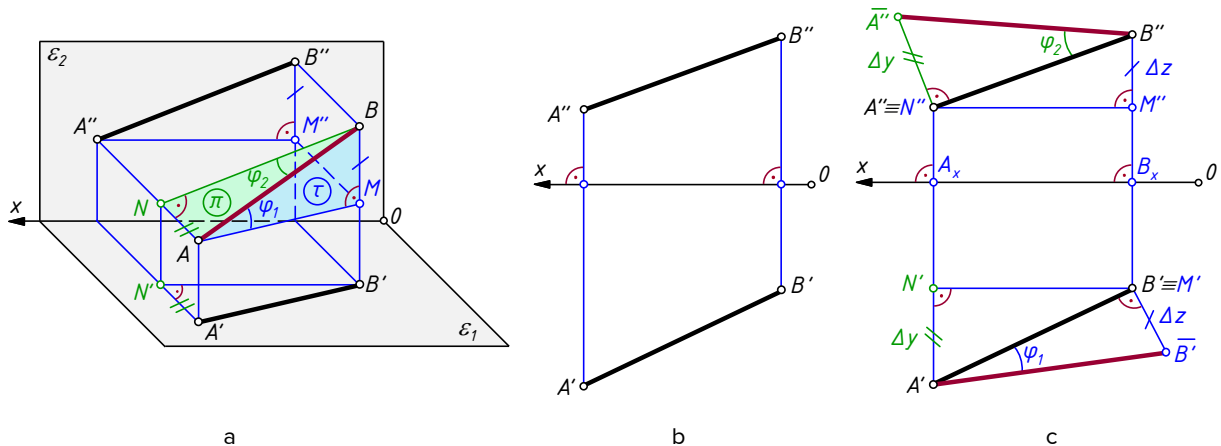
Eriasendilise sirglõigu pikkus ja kaldenurgad ekraanide suhtes projekteeruvad oma tõelises suurus ekraanile, millega nad on paralleelsed. Üldasendilise sirglõigu pikkus ja kaldenurgad projekteeruvad ekraanidele moonutatult. Sirglõigu pikkus on kõikidel ekraanidel tegelikust pikkusest lühem. Üldasendilise sirglõigu tegelik pikkus määratakse **täisnurkse kolmnurga võttega**.

**Näide 3.1.** Joonisel 3.24.a on toodud täisnurkse kolmnurga võtte piltkujutis. Tuletatav täisnurkne kolmnurk sisaldab ka kaldenurka vastava ekraani suhtes.

On antud üldasendiline sirglõik  $AB$  kaksvaatel (joonis 3.24.b). Leida antud sirglõigu  $AB$  tegelik pikkus ja kaldenurgad  $\varphi_1$  ja  $\varphi_2$  vastavalt põhi- ja esiekraani suhtes. Võetakse sirglõik  $AM \parallel A'B'$  (joonis 3.24.a). Lõik  $AB$  osutub hüpotenuusiks täisnurkses kolmnurgas  $ABM$ , mille üks kaatet  $AM$  võrdub lõigu  $AB$  pealtvaatega ( $AM = A'B'$ ) ja teine kaatet  $BM$  lõigu  $AB$  otspunktide põhikvootide vahega  $\Delta z$  ( $BM = BB' - AA'$ ). Samuti on selles kolmnurgas lõigu  $AB$  põhikaldenurk  $\varphi_1$ . Kaksvaatel (joonis 3.24.c) konstrueeritakse täisnurkne kolmnurk, kus üheks kaatetiks on lõigu  $AB$  pealtvaade  $A'B'$  ja teiseks kaatetiks  $B'\bar{B}'$  ( $\bar{B}$  on punkti  $B$  pöörend loe:  $B$  kaetud), mis on punktide  $A$  ja  $B$  põhikvootide vahe  $B'\bar{B}' = B''B_x - A''A_x$ . Saadud kolmnurga  $A'B'\bar{B}'$  hüpotenuus  $A'\bar{B}'$  ongi lõigu  $AB$  tegelik pikkus. Samas kolmnurgas saadakse ka põhikaldenurk  $\varphi_1$  (nurk sirge ja põhiekraani vahel), see jääb sirglõigu ja tema pealtvaate vahele.

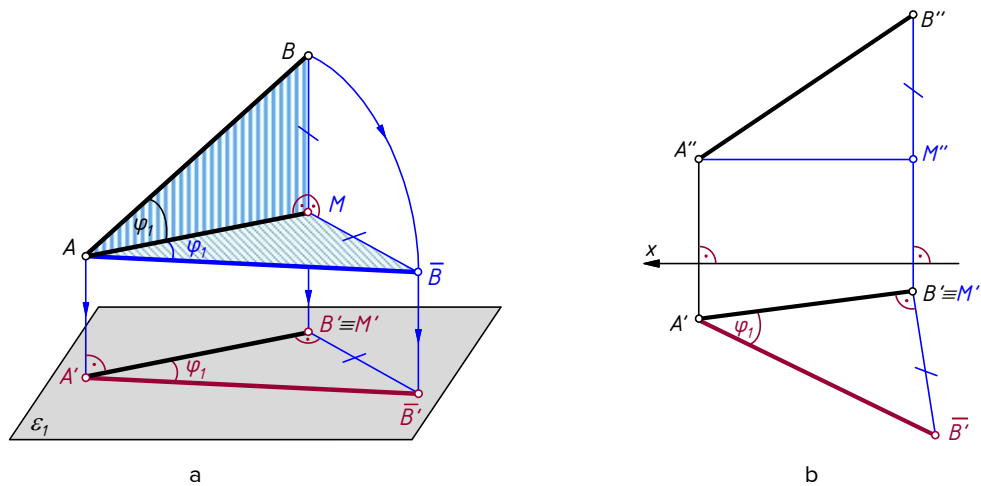
Analoogset lahendust saab kasutada ka esiekraani suhtes. Võetakse sirglõik  $BN \parallel A''B''$  (joonis 3.24.a). Lõik  $AB$  osutub hüpotenuusiks täisnurkses kolmnurgas  $ABN$ , mille üks kaatet  $BN$  võrdub lõigu  $AB$  eestvaatega ( $BN = A''B''$ ) ja teine kaatet  $AN$  lõigu  $AB$  otspunktide esikvootide vahega  $\Delta y$  ( $AN = AA'' - BB''$ ). Samuti on selles kolmnurgas lõigu  $AB$  esikaldenurk  $\varphi_2$  (nurk sirge ja esiekraani vahel), see jääb sirglõigu ja tema eestvaate vahele.

Kaksvaatel (joonis 3.24.c) konstrueeritakse täisnurkne kolmnurk, kus üheks kaatetiks on lõigu  $AB$  eestvaade  $A''B''$  ja teiseks kaatetiks  $A''\bar{A}''$ , mis on punktide  $A$  ja  $B$  esikvootide vahe  $A''\bar{A}'' = A'A_x - B'B_x$ . Saadud kolmnurga  $A''B''\bar{A}''$  hüpotenuus  $B''\bar{A}''$  ongi lõigu  $AB$  tegelik pikkus. Samas kolmnurgas saadakse ka esikaldenurk  $\varphi_2$ .



**Joonis 3.24.** Täisnurkse kolmnurga võtte: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – sirglõigu  $AB$  tegeliku pikkuse ja kaldenurkade  $\varphi_1$  ja  $\varphi_2$  tuletamine kaksvaatel.

Kuna otsitav lõigu pikkus esineb mõlemas kolmnurgas hüpotenuusina (mille pikkused on võrdsed), siis piisab pikkuse määramiseks ükskõik kumma kolmnurga tõelise kuju väljajoonestamisest. Lõigu kumbki kaldenurk esineb aga ainult vastava ekraani ristasapinnas olevas kolmnurgas ( $\varphi_1$ , tasapinnas  $\tau$  ja  $\varphi_2$  tasapinnas  $\pi$ ) (joonis 3.24.a). Sõltuvalt otsitavast kaldenurgast, tuleb konstrueerida vastav täisnurkne kolmnurk.



Joonis 3.25. Sirglõigu  $AB$  pööramine ekraani paralleeltasandile: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

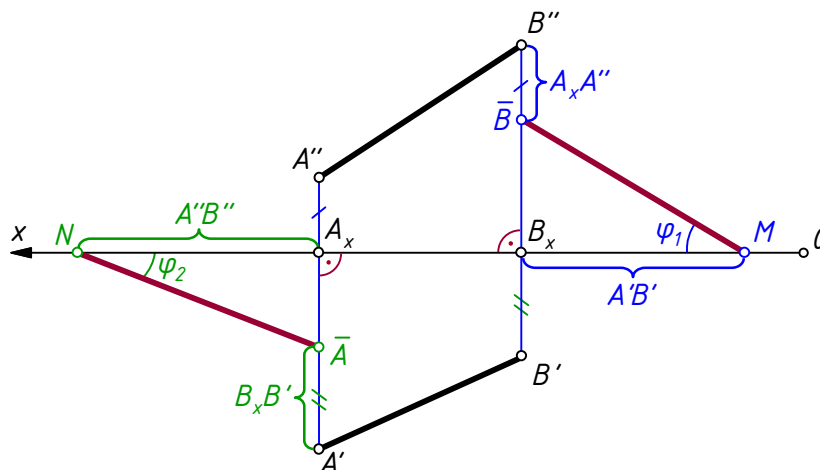
Kolmnurga tõeline kuju saadakse kujundi pööramisel ekraani paralleeltasandile ja seejärel projekteeritakse vastavale ekraanile. Joonisel 3.25 on toodud põhiekraanile pööramise piltkujutis. Sirgjoone kaldenurka ekraani suhtes näitab joonisel nurk pöörendi ja vastava projektsiooni vahel.

Sirglõigu pikkuse leidmisel täisnurkse kolmnurga konstrueerimisel võib kasutada joonisel olemas olevat täisnurka. Kuna täisnurkse kolmnurga konstrueerimisel kasutatakse ainult sirklit, siis nimetatakse seda võtet **sirklivõtteks**.

Toodud näites (joonis 3.26) on kasutatud  $x$ -telje ja sidejoone vahelist täisnurka.

Lahenduskäik esiekraani suhtes. Punktist  $A_x$  kantakse  $x$ -teljele lõik  $A_xN$ , mis võrdub lõigu  $AB$  eestvaate pikkusega ( $A_xN = A''B''$ ), ja sidejoonele punktist  $A'$  lõik  $A'\bar{A}$  ( $A'\bar{A} = B_xB'$ ). Tekkinud lõik  $A_x\bar{A}$  on punktide  $A$  ja  $B$  esikvootide vahe ning on teiseks kaatetiks. Saadud hüpotenuus  $N\bar{A}$  on lõigu  $AB$  pikkus ( $N\bar{A} = AB$ ).

Lahenduskäik põhiekraani suhtes. Punktist  $B_x$  kantakse  $x$ -teljele lõik  $B_xM$ , mis võrdub lõigu  $AB$  pealtvaate pikkusega ( $B_xM = A'B'$ ) ja sidejoonele punktist  $B''$  lõik  $B''\bar{B}$  ( $B''\bar{B} = A_xA''$ ). Tekkinud lõik  $B_x\bar{B}$  on punktide  $A$  ja  $B$  põhikvootide vahe ning on teiseks kaatetiks. Saadud hüpotenuus  $M\bar{B}$  on lõigu  $AB$  pikkus ( $M\bar{B} = AB$ ).

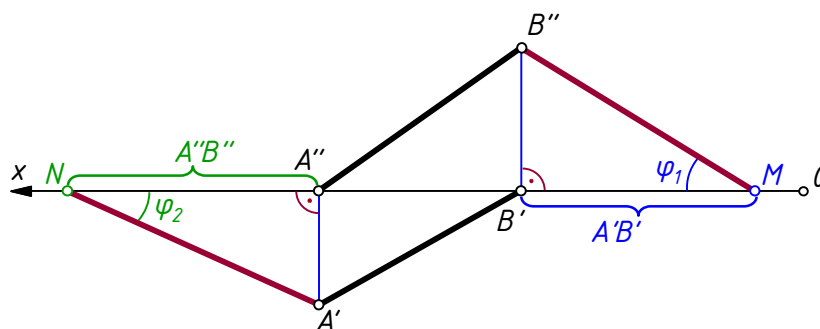


Joonis 3.26. Sirklivõte.

Joonisel võib olla antud täisnurkse kolmnurga üks kaatet (joonis 3.27).

Lahenduskäik esiekraani suhtes. Lõik  $A''A'$  on punktide  $A$  ja  $B$  esikvootide vahe. Punktist  $A''$  kantakse  $x$ -teljele lõik  $A_xN$  ( $A_xN = A''B''$ ), mis on teiseks kaatetiks. Saadud hüpotenuus  $NA'$  on lõigu  $AB$  pikkus ( $NA' = AB$ ).

Lahenduskäik põhiekraani suhtes. Lõik  $B'B''$  on punktide  $A$  ja  $B$  põhikvootide vahe. Punktist  $B'$  kantakse  $x$ -teljele lõik  $B_xM$  ( $B_xM = A'B'$ ), mis on teiseks kaatetiks. Saadud hüpotenuus  $MB''$  on lõigu  $AB$  pikkus ( $MB'' = AB$ ).



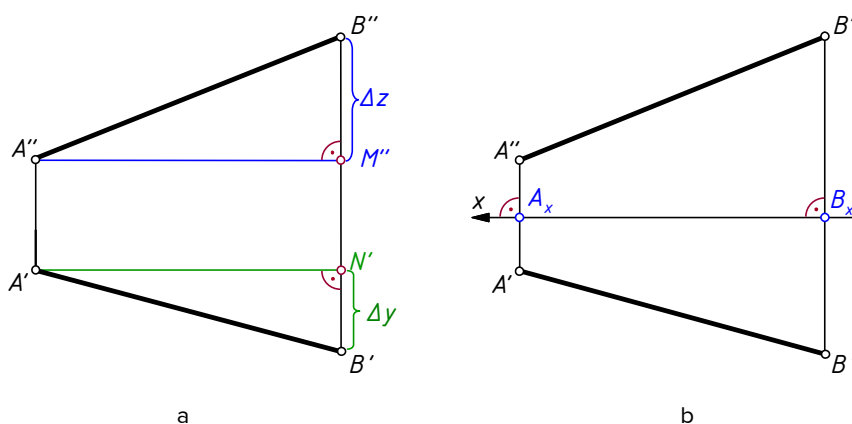
Joonis 3.27. Sirklivõte.

Kokkuvõtte võib sõnastada järgmise eeskirja sirglõigu tõelise pikkuse tuletamiseks.

- 13. Sirglõigu pikkus võrdub hüpotenuusiga täisnurkses kolmnurgas, mille kaatetiteks on kas lõigu pealtvaate pikkus ja lõigu otspunktide põhikvootide vahe või lõigu eestvaate pikkus ja lõigu otspunktide esikvootide vahe.**

## 15.6 TELJEVABA KAKSVAADE

Kas kaksvaate telg on alati joonisel vajalik? Kui mingi objekti kaksvaatel puudub  $x$ -telg (joonis 3.28.a), siis pole võimalik mõõta objekti punktide põhi- ja esikvootide. Saab kindlaks teha punktide kvootide vahesid. Kui joonestada antud teljevabal kaksvaatel lõigud  $A''M''$  ja  $A'N'$  risti sidejoontega, saadakse punktide  $A$  ja  $B$  põhikvootide vahe  $\Delta z = B''M''$  ja esikvootide vahe  $\Delta y = B'N'$ .



Joonis 3.28. Sirglõigu  $AB$  kaksvaated.

Kui joonestada lõigu  $AB$  teljevabal kaksvaatel vabalt valitud kohas  $x$ -telg risti sidejoontega (joonis 3.28.b), siis saavad selle lõigu punktid endale kindlad kvootide väärtused. Sellega on aga lõigu  $AB$  ja ekraanide vastastikune asend ruumis täielikult määratud.

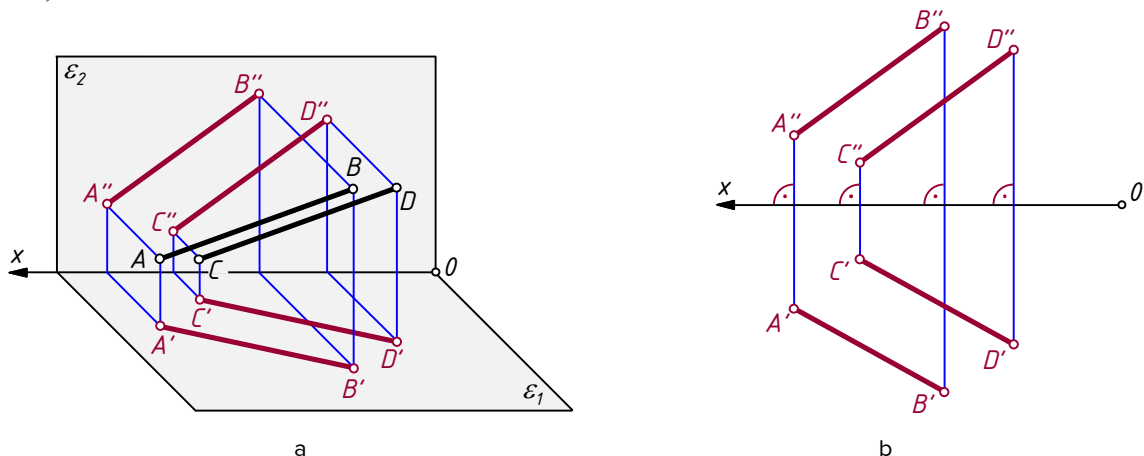
Kui ülesande lahendamisel läheb vaja ainult objekti projektsioone ja punktide kvootide vahesid, siis võib kasutada teljevaba kaksvaadet. Kui ülesandes kasutatakse punktide kvootide või küsitakse objekti ja ekraanide ühiseid elemente (näiteks sirgjoone jälgpunkte), siis on kaksvaate telg joonisel vajalik.

Tehniliste jooniste valmistamisel pole vaja teada punktide kvootide ega objekti sirgete jälgpunkte. Seepärast kasutatakse tehnilises joonestamises mituvaateid eranditult teljevabal kujul. Seejuures peetakse silmas, et pealt- ja eestvaadet ühendavad sidejooned oleksid vertikaalsed, eest- ja külgsuurtelje ühendavad sidejooned aga horisontaalsed. Sidejooned on tehnilistel joonistel kujuteldavad.

## 15.7 KAHE SIRGE VASTASTIKUNE ASEND

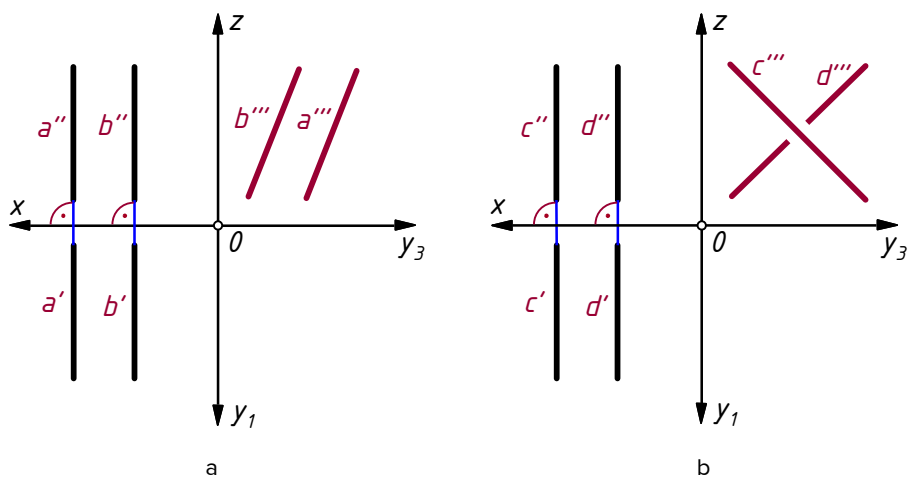
Kaks sirget võivad ruumis olla paralleelsed, lõikuvad või kiivsed.

**1. Paralleelsed sirged.** Paralleelseteks sirgeteks nimetatakse sirgeid, mis projekteeruvad kõikidele ekraanidele paralleelsete sirgetena, nende samanimelised projektsioonid on omavahel paralleelsed (joonis 3.29). Kui  $AB \parallel CD$ , siis  $A'B' \parallel C'D'$  ja  $A''B'' \parallel C''D''$ . Üldjuhul on õige ka vastupidine väide: kui  $A'B' \parallel C'D'$  ja  $A''B'' \parallel C''D''$ , siis ka  $AB \parallel CD$ .



**Joonis 3.29.** Paralleelsed sirged: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Erandiks on profiilsirged. Profiilsirgete vastastikuse asendi täpsustamiseks on vaja tuletada nende sirgete külgvaated (joonis 3.30). Kui külgvaated on paralleelsed (joonis 3.30.a), siis sirged  $a$  ja  $b$  on paralleelsed. Kui külgvaated lõikuvad (joonis 3.30.b), siis sirged  $c$  ja  $d$  on kiivsed, kuigi  $c' \parallel d'$  ja  $c'' \parallel d''$ .



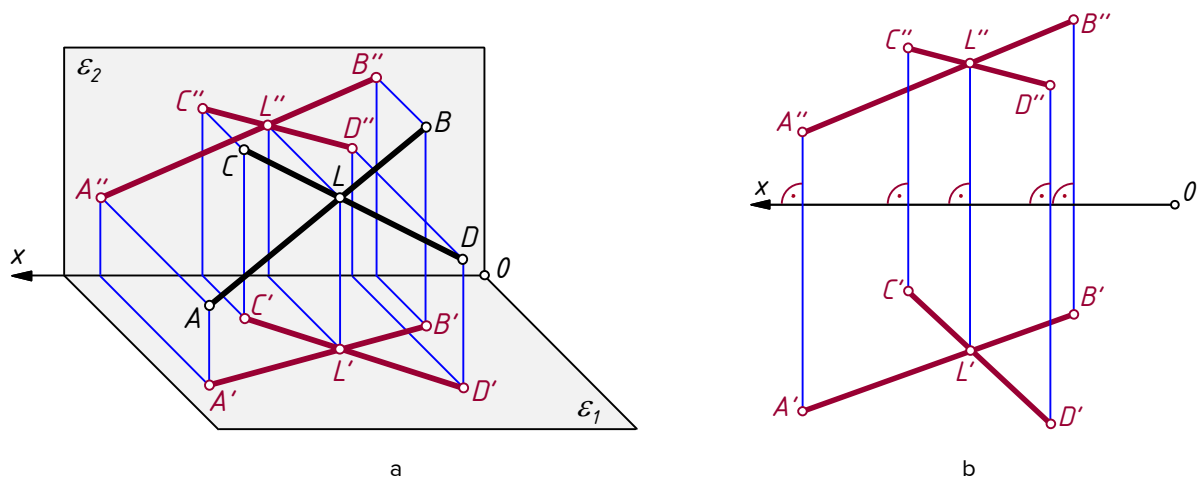
**Joonis 3.30.** Paralleelsuse täpsustamine profiilsirgete korral: a – paralleelsed sirged; b – kiivsirged.

Sirgjoonte paralleelsuse tunnus:

**14. Kui sirgete samanimelised projektsioonid on omavahel paralleelsed, kuid pole risti kaksvaate teljega, siis need sirged on paralleelsed.**

**2. Lõikuvad sirged.** Kui sirged lõikuvad, siis nad omavad ühist punkti ehk lõikepunkti, mis asetseb ühel sidejoonel. Sirgete  $AB$  ja  $CD$  (joonis 3.31) lõikepunkt on  $L$ . Järelkult pealtvaates  $A'B'$  ja  $C'D'$  lõikuvad lõikepunktis  $L'$  ja eestvaates  $A''B''$  ja  $C''D''$  lõikuvad lõikepunktis  $L''$ . Lõikepunkti  $L$  pealt- ja eestvaade asetsevad ühel ja samal sidejoonel.

Lühidalt:  $L \equiv AB \times CD$ , sest  $L' \equiv A'B' \times C'D'$  ja  $L'' \equiv A''B'' \times C''D''$ ;  $L''L' \perp x$ .

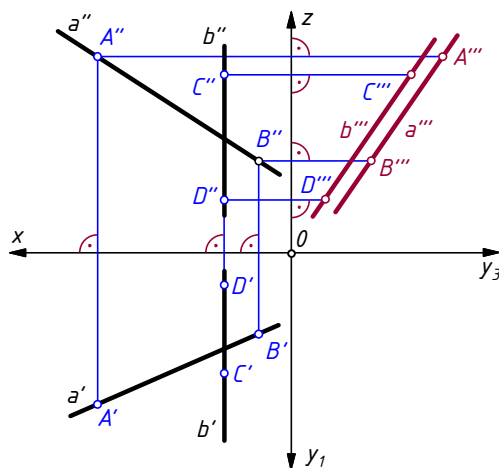


**Joonis 3.31.** Lõikuvad sirged: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Sirgjoonte lõikumise tunnus:

**15. Kui kahe sirge samanimeliste projektsioonide lõikepunktid asetsevad ühel ja samal sidejoonel ning kummagi sirge mõlemad vaated pole risti  $x$ -teljega, siis need sirged ruumis lõikuvad.**

Kui ühe sirge mõlemad projektsioonid on risti  $x$ -teljega (kui sirge on profiilsirge), siis võib olla tegemist nii lõikuvate kui ka kiivsete sirgetega. Nende vastastikuse asendi täpsustamiseks on vaja tuletada külgsuuna (joonis 3.32).

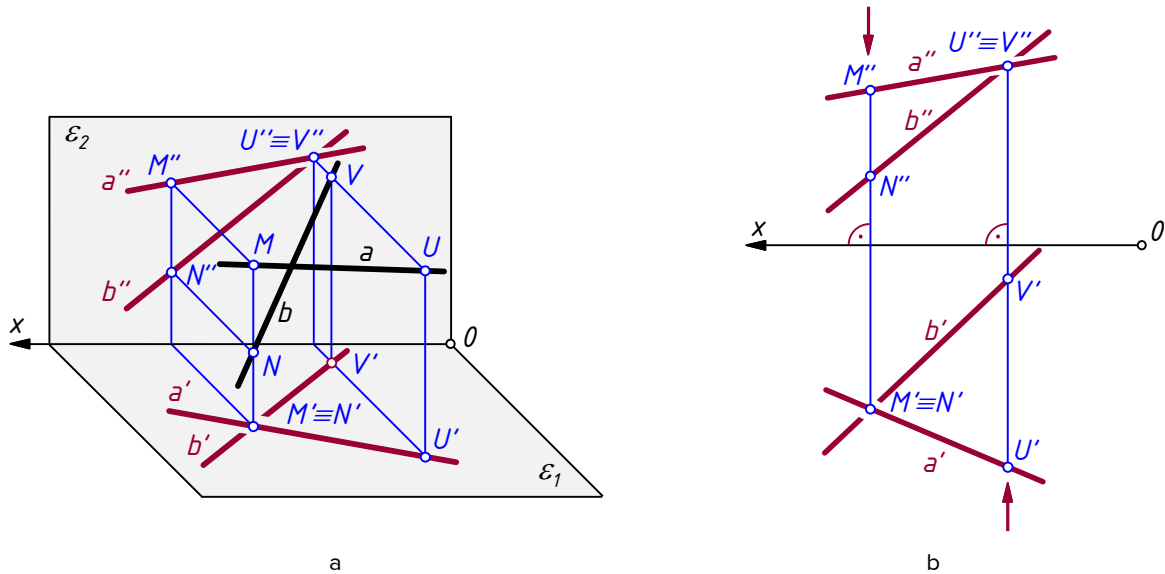


**Joonis 3.32.** Lõikuvate sirgete erand: üks sirge on profiilsirge.

Sirgete  $a$  ja  $b$  külgsuuna tuletamiseks valitakse sirgetel punktid, mille abil tuletatakse sirgete külgsuuna. Kui lõikepunkt külgsuunal ei asetse ühel ja samal sidejoonel eestvaate lõikepunktiga, siis sirged on kiivsed.

**3. Kiivsirged.** Kui sirged ei lõiku ega ole paralleelsed, siis on tegemist kiivsirgetega (joonis 3.33). Kiivsirged asetsevad ruumis alati nii, et üks sirge läheb teise pealt või eest läbi, varjates teist vastaval vaatel. Kiivsirgete korral tuleb lahendada nähtavuse probleem.

Otsustamaks pealtvaatel, kumb sirge läheb teisest üle, tähistatakse sirgete  $a$  ja  $b$  pealtvaadete lõikepunkt, kus  $M' \equiv N'$ . Punktid  $M$  ja  $N$  asuvad ühel ja samal põhikiirel. Sidejoone abil tuletatakse need punktid eestvaatel, kus  $M \subset a$  ja  $N \subset b$ . Eestvaatelt on näha, et punkt  $M$  on kõrgemal kui punkt  $N$ . Ült vaadates on punkt  $M$  vaatlejale lähemal kui punkt  $N$ ; järelkult läheb sirge  $a$  sirgest  $b$  üle. Et joonist ilmekamalt näidata on sirge  $b$  varjatud kohas katkestatud.



**Joonis 3.33.** Kiivsirged: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Analoogiliselt otsustatakse eestvaatel, kumb sirge läheb eest läbi. Nüüd tähistatakse sirgete  $a$  ja  $b$  eestvaadete lõikepunkt, kus  $U'' \equiv V''$ . Punktid  $U$  ja  $V$  asuvad ühel ja samal esikiirel. Sidejoone abil tuletatakse need punktid pealtvaatel, kus  $U \subset a$  ja  $V \subset b$ . Pealtvaatelt on näha, et punkti  $U$  kaugus esiekraanist on suurem kui punkti  $V$  kaugus. Eest vaadates on punkt  $U$  vaatlejale lähemal kui punkt  $V$ , järelkult sirge  $a$  läheb sirge  $b$  eest läbi.

Nähtavuse ehk varjumise probleem lahendatakse **konkureerivate punktide** meetodil, s.t võrreldakse ühisel kujutamiskiirel asetsevate punktide kvootide väärtusi. Nähtav on suurema kvoodiga punkt. On oluline, et jooniste valmistamisel lahendatakse samal meetodil mis tahes objekti elementide nähtavuse probleem.

## 15.8 SIRGJOONE JÄLGPUNKTID

**Sirge jälgpunktiks** ehk **jäljeks** nimetatakse selle sirgjoone ja ekraani lõikepunkti (joonis 3.34.a). Kui sirge  $s$  ei ole ühegi ekraaniga paralleelne, siis on tal kolm jälgpunkti:

- lõikepunkt põhiekraaniga – **põhijälg**  $P$  (põhijälgpunkt)  $P \equiv s \times \varepsilon_1$ ;
- lõikepunkt esiekraaniga – **esijälg**  $E$  (esijälgpunkt)  $E \equiv s \times \varepsilon_2$ ;
- lõikepunkt külgekraaniga – **külgjälg**  $K$  (külgjälgpunkt)  $K \equiv s \times \varepsilon_3$ .

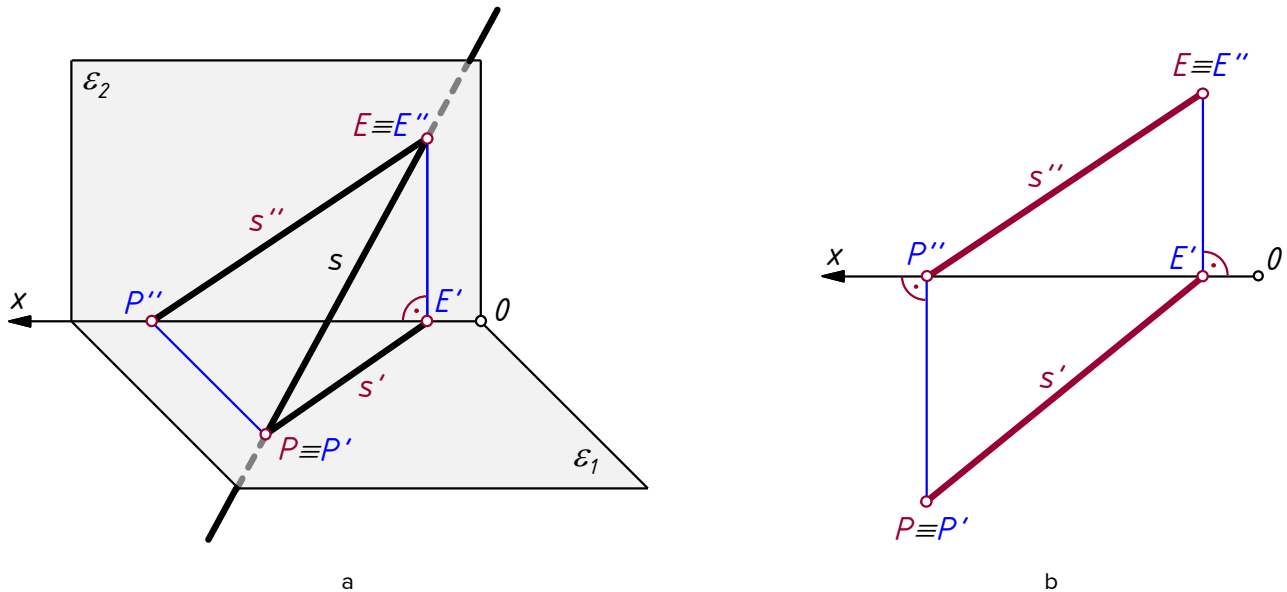
Sirgel, mis on paralleelne ühe ekraaniga, on kaks jälgpunkti, ühe ekraaniga ristsirgel on üks jälgpunkt.

Sirge põhijälg  $P$  ja tema pealtvaade  $P'$  asetsevad nii põhiekraanil ja kui ka sirgel  $s$  (ka sirge pealtvaatel  $s'$ ), sirge põhijälje eestvaade  $P''$  asetseb  $x$ -teljel ja sirge eestvaatel  $s''$  (joonis 3.24.a ja b). Põhijälje eestvaade  $P''$  tuletamiseks pikendatakse sirge  $s$  eestvaadet  $s''$  kuni lõikumiseni  $x$ -teljega ( $P'' \equiv x \times s''$ ). Sirge põhijälje

pealtvaate  $P'$  tuletamiseks tõmmatakse punktist  $P''$  sidejoon kuni lõikumiseni sirge pealtvaatega  $s'$ . Saadud punkt  $P'$  langeb kokku sirge  $s$  põhijäljega  $P$  ( $P' \equiv P$ ). Lahenduskäik lühidalt:

$$P \subset s \Rightarrow P'' \subset s'' \wedge P' \subset s';$$

$$P \subset \varepsilon_l \Rightarrow P'' \subset x \wedge P' \equiv P.$$



**Joonis 3.34.** Sirgjoone jälgpunktid: a – piltkujutis; b – sirgjoone jälgpunktide  $P$  ja  $E$  tuletamine kaksvaatel.

Analoogselt tuletatakse sirge esijälje  $E$  projektsioonid. Sirge esijalg  $E$  ja tema eestvaade  $E''$  asetsevad esiekraanil ja sirgel  $s$  (ka sirge eestvaatel  $s''$ ), tema pealtvaade  $E'$  asetseb  $x$ -teljel ja sirge  $s$  pealtvaatel  $s'$ . Esijälje pealtvaate  $E'$  tuletamiseks pikendatakse sirge  $s$  pealtvaadet  $s'$  kuni lõikumiseni  $x$ -teljega ( $E' \equiv x \times s'$ ). Sirge esijälje  $E$  eestvaate  $E''$  tuletamiseks tõmmatakse punktist  $E'$  sidejoon kuni lõikumiseni sirge eestvaatega  $s''$ . Saadud punkt  $E''$  langeb kokku sirge  $s$  esijäljega  $E$  ( $E'' \equiv E$ ). Lahenduskäik lühidalt:

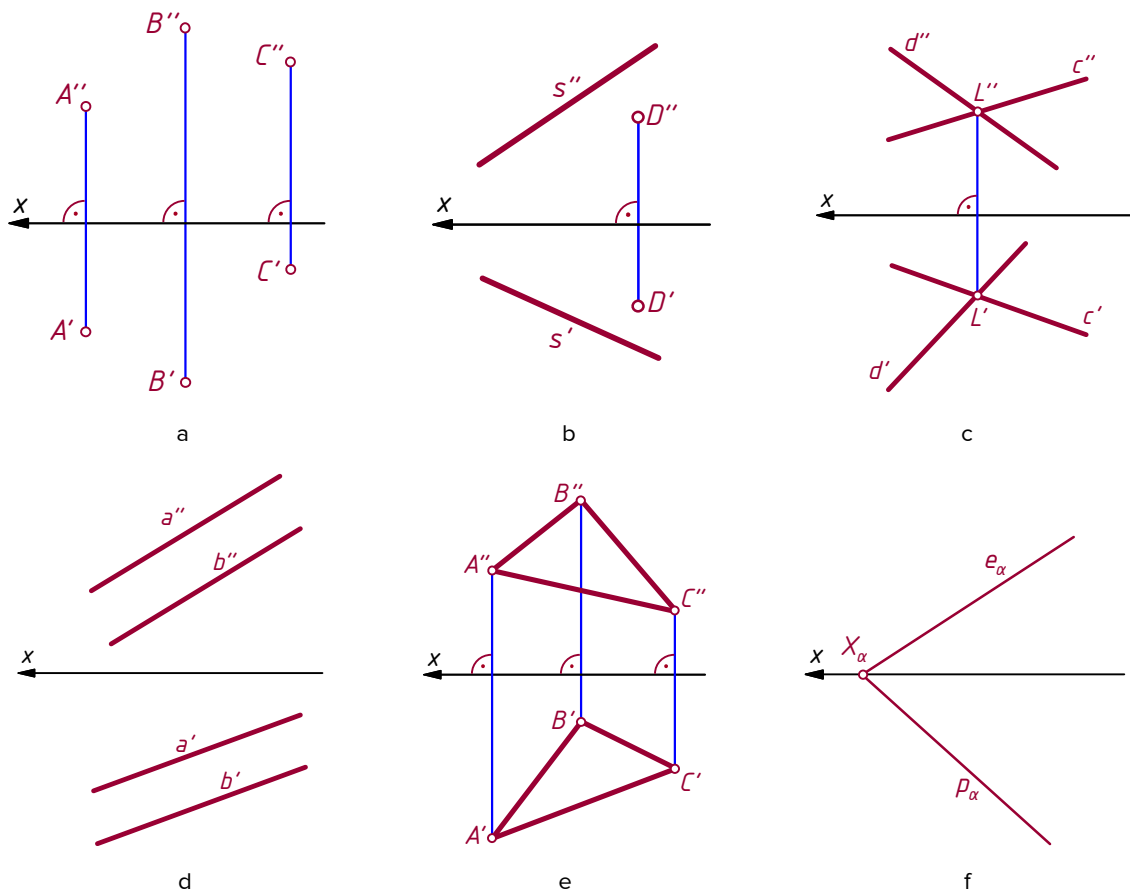
$$E \subset s \Rightarrow E' \subset s' \wedge E'' \subset s'';$$

$$E \subset \varepsilon_2 \Rightarrow E' \subset x \wedge E'' \equiv E.$$

## 15.9 TASANDI KUJUTAMINE. TASANDI JÄLGSIRGED

Tasand on määratud järgmiste geomeetriliste elementidega (joonis 3.35):

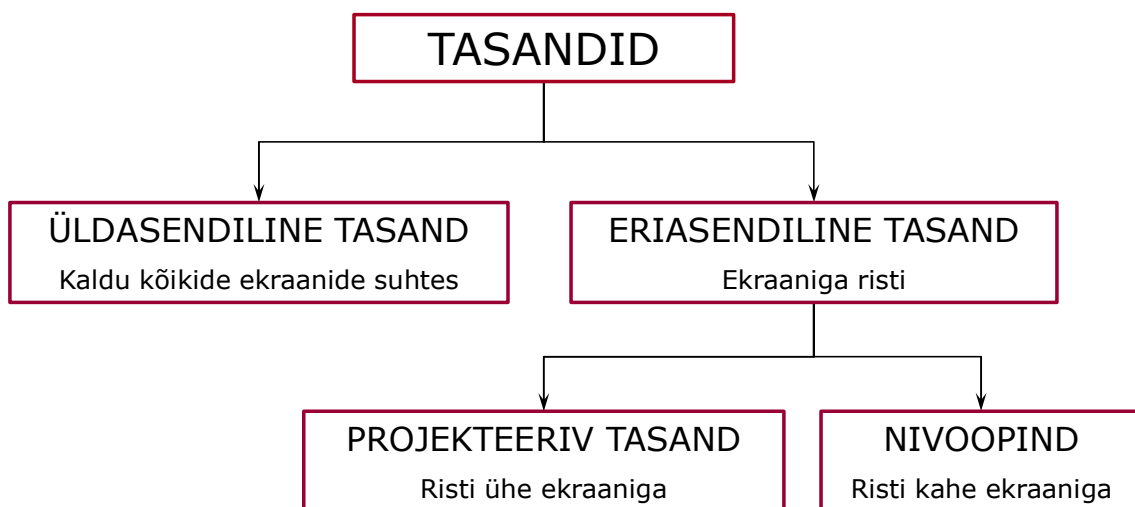
- kolm punkti, mis ei asetse ühel sirgel ( $\alpha(A, B, C)$ ;  $C \notin AB$ );
- punkt ja sirge, mis ei läbi seda punkti ( $\alpha(A, a)$ ;  $A \notin a$ );
- kaks lõikuvat sirget ( $\alpha(a \times b)$ );
- kaks paralleelset sirget ( $\alpha(a \parallel b)$ );
- mistahes tasapinnaline kujund (näiteks hulknurk või ring);
- tasandi jälgsirged.



**Joonis 3.35.** Tasandit määravad elemendid.

Joonisel 3.35 toodud määramisandmeid saab muuta teisteks andmeteks. Näiteks ühendades joonisel 3.35.a punktid  $A$  ja  $B$  sirglõiguga, saame joonisel 3.35.b toodud andmed. Kui edasi saadud andmetel joonestada läbi punkti  $C$  paralleelsirge sirgele  $AB$ , saame joonisel 3.35.d toodud andmed.

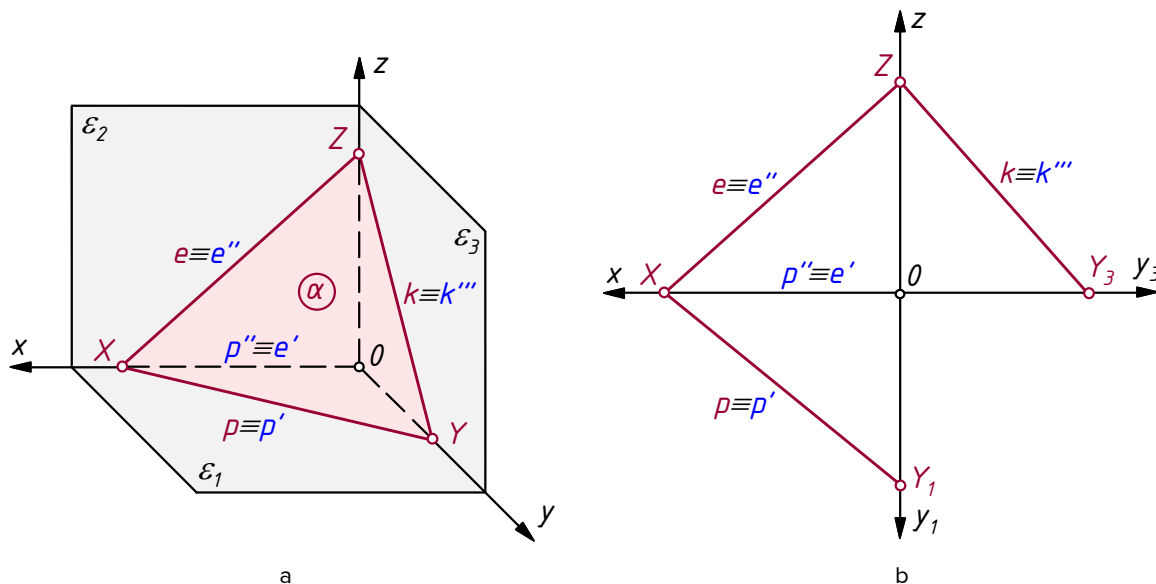
Kui tasand pole ühegi ekraaniga risti, siis on ta **üldasendiline**, vastasel korral **eriasendiline**. Joonisel 3.36 on näidatud tasandite liigitus nende asendite järgi ekraanide suhtes.



**Joonis 3.36.** Tasandite liigitus.

Tasandi ja ekraani lõikesirget nimetatakse selle tasandi **jälgsirgeks** ehk **jäljeks**. Üldasendilisel tasandil on kolm jälgsirget (joonis 3.37.a). Jälgsirged lõikuvad paarikaupa telgedel  $x, y, z$  punktides  $X, Y, Z$ , mida nimetatakse telgpunktideks. Üldasendilise tasandi jälgsirged ei ole kunagi risti telgedega. Tasandi jälgkolmnurgaks nimetatakse kolmnurka, mille tippudeks on telgpunktid ja külgedeks jälgsirgete lõigud:

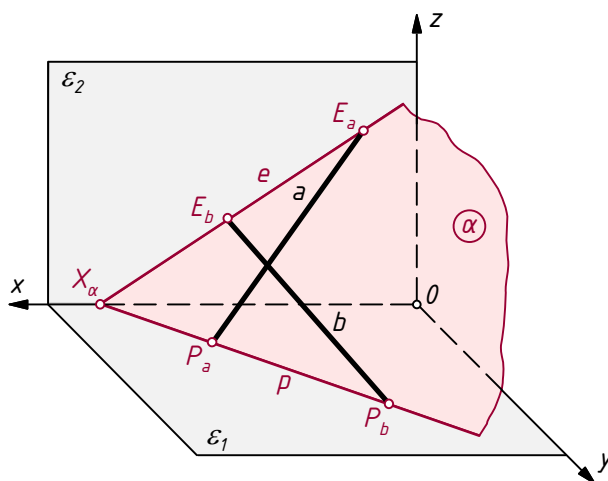
- **põhijalg** (sirge)  $p \equiv \alpha \times \varepsilon_1$ ;  $x$ -telgpunkt  $X \equiv \alpha \times x$ ;
- **esijalg** (sirge)  $e \equiv \alpha \times \varepsilon_2$ ;  $y$ -telgpunkt  $Y \equiv \alpha \times y$ ;
- **küljajalg** (sirge)  $k \equiv \alpha \times \varepsilon_3$ ;  $z$ -telgpunkt  $Z \equiv \alpha \times z$ .



**Joonis 3.37.** Tasandi jäljed: a – piltkujutis; b – tasandi jälgede kolmvaade.

Pöörates ekraanid ühele tasapinnale, saadakse tasapinna  $\alpha$  jälgede kolmvaade (joonis 3.37.b). Telgpunkt  $Y$  nagu  $y$ -telg esineb kolmvaatel kahes kohas:  $Y_1$  teljel  $y_1$  ja  $Y_3$  teljel  $y_3$ , nii, et  $0Y_1 = 0Y_3$ .

Teades sirge ja tasandi jälje olemust, võib väita, et tasandil asetsevat sirgete jälgpunktid on selle tasandi vastavatel jälgsirgetel. Näiteks joonisel 3.38 sirgete  $a$  ja  $b$  jälgpunktid on tasandi  $\alpha$  jälgsirgetel. Järelikult tasandi mis tahes kahe sirge jälgpunktid määravad selle tasandi jälgsirged.



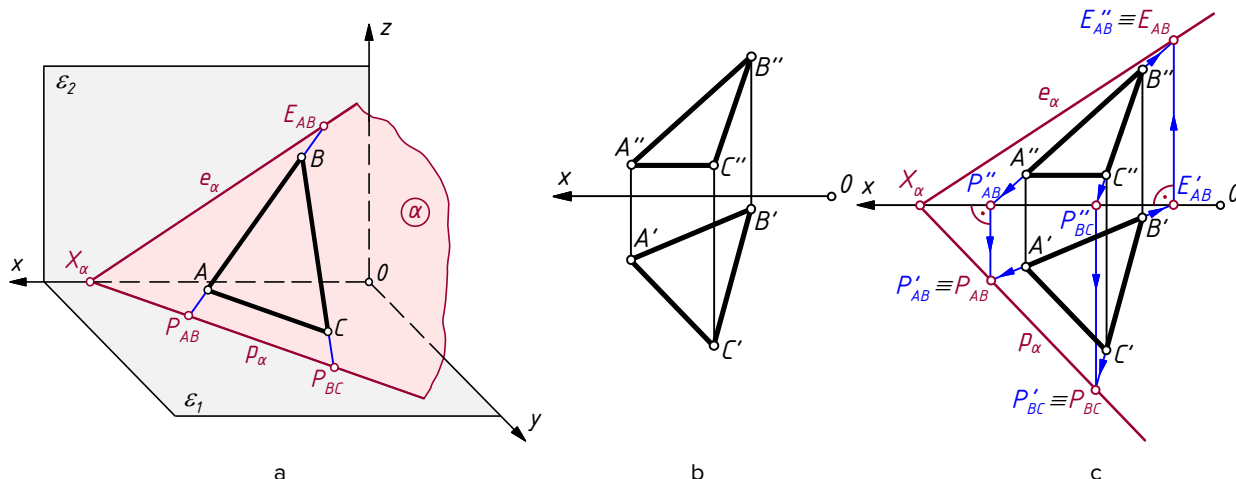
**Joonis 3.38.** Tasandil olevate sirgete jälgpunktid.

Juhis tasandi jälgsirgete tuletamiseks.

**16. Tasandi jälgede tuletamiseks on vaja leida kahe sel tasapinnal asetseva sirge jälgpunktid ja samanimelised jälgpunktid ühendada.**

**Näide 3.2.** Tuletada tasandi  $\alpha(A, B, C)$  jälgsirged  $e_\alpha$  ja  $p_\alpha$  (joonis 3.39). Sirgete  $AB$  ja  $BC$  põhijäljed  $P_{AB}$  ja  $P_{BC}$  tuletatakse punktis 14.8 kirjeldatud viisil. Tuletatud põhijälgpunktid  $P_{AB}$  ja  $P_{BC}$  määravad tasandi põhijälgsirge ( $p_\alpha \equiv P_{AB}P_{BC}$ ), mis tõmmatakse läbi nende punktide kuni lõikumiseni  $x$ -teljega.  $X$ -teljel saadud punkt  $X_\alpha$  on telgpunkt, kus tuletatavad jälgsirged peavad lõikuma ( $X \equiv p \times e$ ). Et telgpunkt  $x$ -teljel on tuletatud, piisab esijälgsirge määramiseks ühe esijälgpunkti tuletamisest. Esijälgpunkt tuletatakse ka punktis 14.8 kirjeldatud viisil. Esijälgsirge tõmmatakse telgpunktist  $X_\alpha$  läbi jälgpunkti  $E_{AB}$ .

Kui aga tuletatakse tasandi kahe sirge põhijäljed ja esijäljed, siis läbi nende tõmmatud jälgsirged peavad lõikuma  $x$ -teljel telgpunktis  $X_\alpha$ .



**Joonis 3.39.** Tasandi jälgede tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

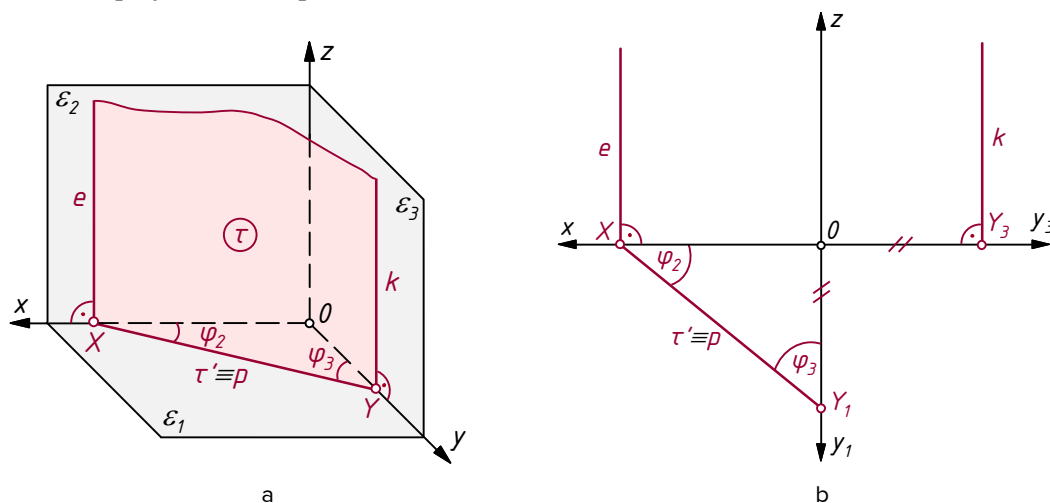
## 15.10 ERIASENDILISED TASANDID

Eriasendilise tasandi tunnus kolmvaate järgi.

**17. Kui tasandi ristprojektsiooniks mingil ekraanil on sirgjoon, siis see tasand on selle ekraaniga risti.**

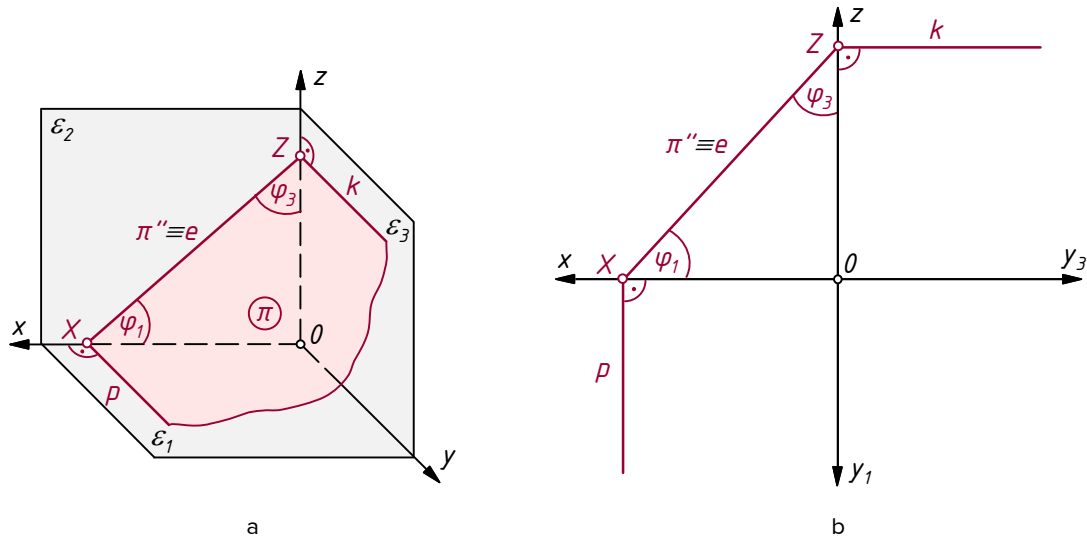
**1. Projekteerivaks tasandiks** nimetatakse ekraaniga risti olevat tasandit (risti ainult ühe ekraaniga).

**Põhiekraani risttasand** ( $\alpha \equiv \tau \perp \varepsilon_1$ ). Põhiekraani risttasand (joonis 3.40) projekteerub põhiekraanile sirgjooneks, s.t pealtvaade ühtib põhijäljega ( $\tau' \equiv p$ ). Esi- ja külgjalg on risti vastavalt  $x$ - ja  $y$ -teljega ( $e \perp x$ ;  $k \perp y$ ) ehk paralleelsed  $z$ -teljega ( $e \parallel k \parallel z$ ). Põhiekraani risttasandi kaldenurgad  $\varphi_2$  ja  $\varphi_3$  vastavalt esi- ja külgekraani suhtes projekteeruvad põhiekraanile tõelises suurus.



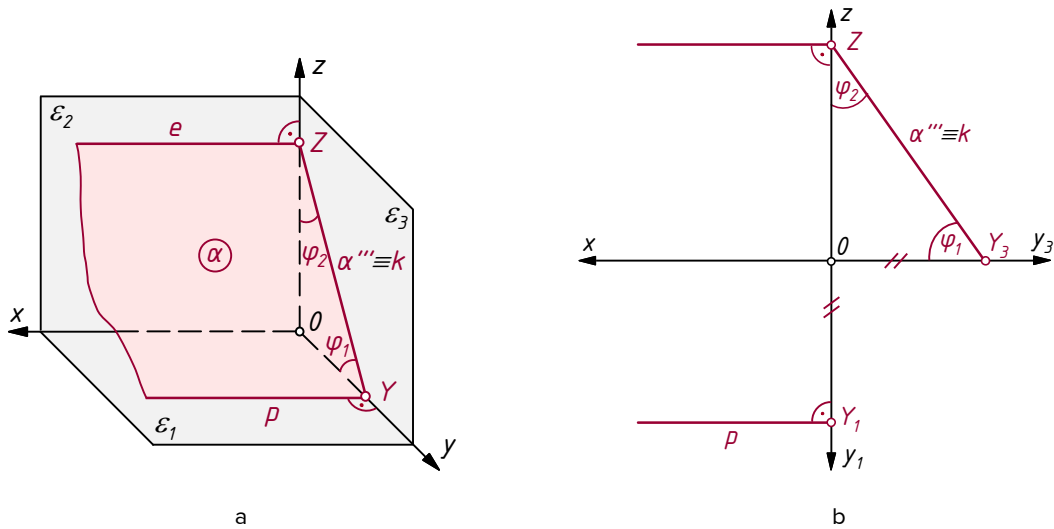
**Joonis 3.40.** Põhiekraani risttasand: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

**Esiekraani risttasand** ( $\alpha \equiv \pi \perp \varepsilon_2$ ). Esiekraani risttasand (joonis 3.41) projekteerub esiekraanile sirgjooneks, s.t eestvaade ühtib esijäljega ( $\pi'' \equiv e$ ). Põhi- ja külgjalg on risti vastavalt  $x$ - ja  $z$ -teljega ( $p \perp x$ ;  $k \perp z$ ). Esiekraani risttasandi kaldenurgad  $\varphi_1$  ja  $\varphi_3$  vastavalt põhi- ja külgekraani suhtes projekteeruvad esiekraanile tõelises suurus.



**Joonis 3.41.** Esiekraani risttasand: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

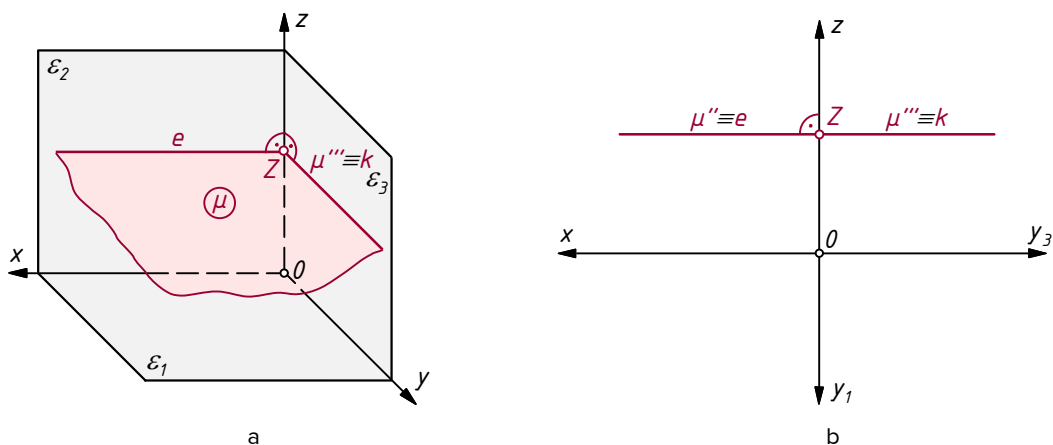
**Külgekraani risttasand** ( $\alpha \perp \varepsilon_3$ ). Külgekraani risttasand (joonis 3.42) projekteerub külgekraanile sirgjooneks, s.t külgevaade ühtib külgjäljega ( $\alpha''' \equiv k$ ). Põhi- ja esijalg on paralleelsed  $x$ -teljega ( $p \parallel e \parallel x$ ). Külgekraani risttasandi kaldenurgad  $\varphi_1$  ja  $\varphi_2$  vastavalt põhi- ja esiekraani suhtes projekteeruvad külgekraanile tõelises suurus.



**Joonis 3.42.** Külgekraani risttasand: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

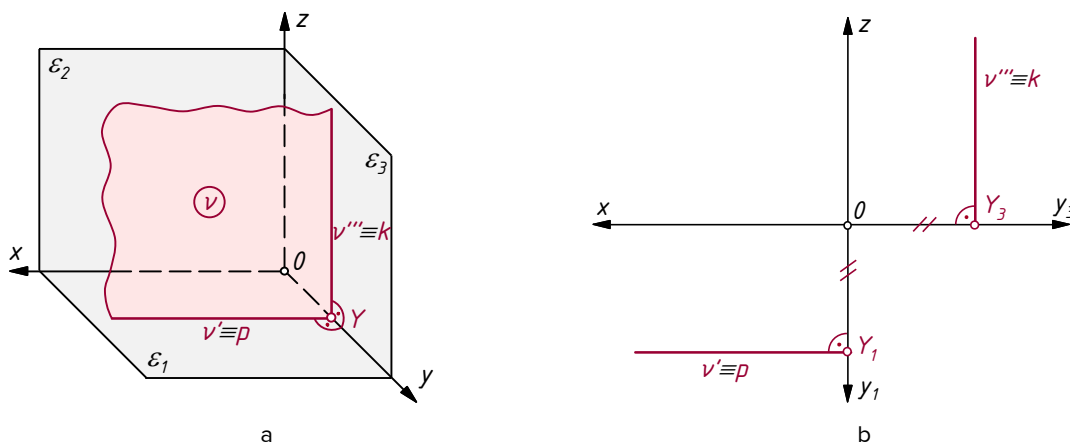
**2. Nivoopinnaks** nimetatakse tasandit, mis on risti korraga kahe ekraaniga, s.o. paralleelne kolmanda ekraaniga.

**Põhiekraani paralleeltasand ehk horisontaalpind** ( $\alpha \equiv \mu \parallel \varepsilon_1$ ) on paralleelne põhiekraaniga (joonis 3.43) s.t risti esi- ja külgekraaniga. Eestvaade ühtib esijäljega ( $\mu'' \equiv e$ ) ja on paralleelne  $x$ -teljega ( $\mu'' \parallel x$ ). Külgevaade ühtib külgjäljega ( $\mu''' \equiv k$ ) ja on paralleelne  $y$ -teljega ( $\mu''' \parallel y_3$ ). Horisontaalpinna esi- ja külgjäljed on kolmvaatel risti  $z$ -teljega ( $e \perp z$ ,  $k \perp z$ ). Põhijalg horisontaalpinna puudub.



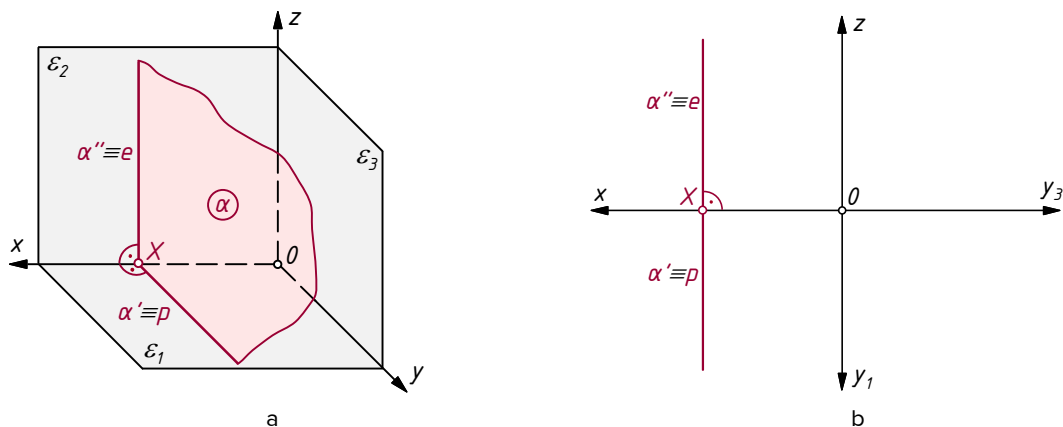
**Joonis 3.43.** Horisontaalpind: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

**Esiekraani paralleeltasand ehk frontaalpind** ( $\alpha \equiv v \parallel \varepsilon_2$ ) on paralleelne esiekraaniga (joonis 3.44) s.t risti põhi- ja külgekraaniga. Pealtvaade ühtib põhijäljega ( $v' \equiv p$ ) ja on paralleelne  $x$ -teljega ( $v' \parallel x$ ). Külgvaade ühtib külgjäljega ( $v''' \equiv k$ ) ja on paralleelne  $z$ -teljega ( $v''' \parallel z$ ). Frontaalpinna põhi- ja külgjäljed on kolmvaatel risti  $y$ -teljega ( $p \perp y, k \perp y$ ). Esijalg frontaalpinnal puudub.



**Joonis 3.44.** Frontaalpind: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

**Külgekraani paralleeltasand ehk profiilpind** ( $\alpha \parallel \varepsilon_3$ ) on paralleelne külgekraaniga (joonis 3.45), s.t risti põhi- ja esiekraaniga. Pealtvaade ühtib põhijäljega ( $\alpha' \equiv p$ ) ja on risti  $x$ -teljega ( $\alpha' \perp x; p \perp x$ ). Eestvaade ühtib esijäljega ( $\alpha'' \equiv e$ ) ja on samuti risti  $x$ -teljega ( $\alpha'' \perp x; e \perp x$ ).



**Joonis 3.45.** Profiilpind: a – piltkujutis; b – kolmvaade.

## 15.11 PUNKT JA SIRGE TASANDIL

Põhilised tasandil lahendatavad ülesanded on:

- mistahes sirgjoone tuletamine tasapinnas;
- punkti puuduva projektsiooni tuletamine;
- punkti tasapinnale kuuluvuse kontrollimine.

Nende probleemide lahendamiseks kasutatakse järgmiseid stereomeetriast tuntud lauseid.

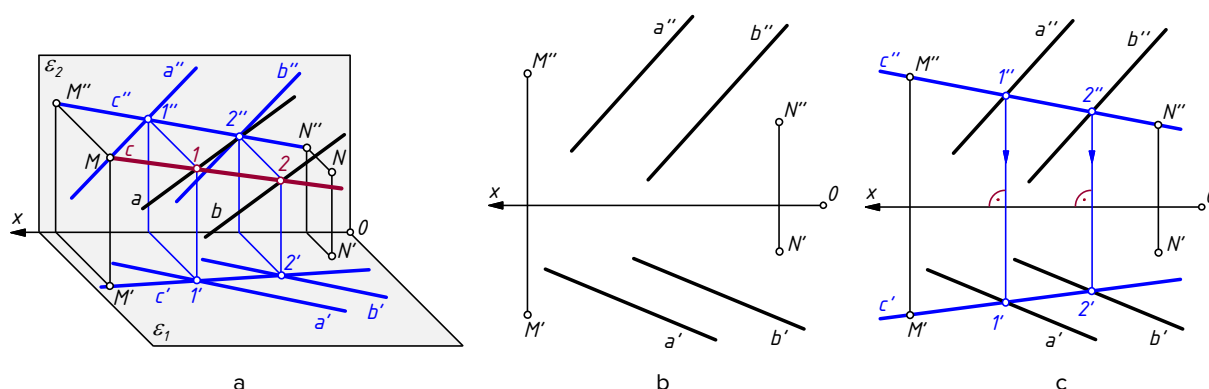
**18. Punkt on tasandil, kui ta asetseb selle tasandi mingil sirgel.**

**19. Sirge on tasandil,**

**1) kui tema kaks punkti on sellel tasandil;**

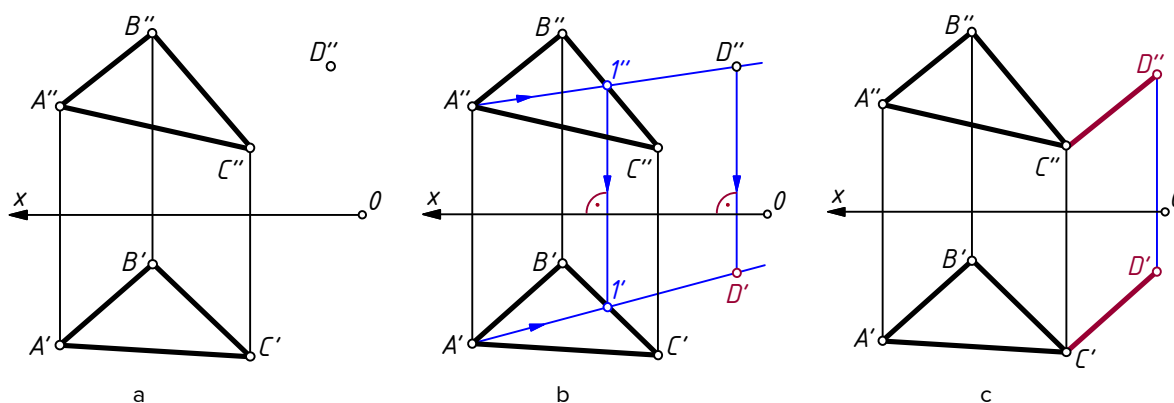
**2) kui ta läbib tasandi punkti ja on paralleelne tasandil asetseva sirgiga.**

**Näide 3.3.** Joonisel 3.46 on tasand  $\alpha$  antud kahe paralleelse sirgiga  $a$  ja  $b$  ning antud punktid  $M$  ja  $N$ . Kontrollimaks, kas punktid  $M$  ja  $N$  kuuluvad tasandile, kasutatakse abisirget  $c$ . Ühel vaatel, antud näites eestvaatel, tõmmatakse läbi punktide  $M''$  ja  $N''$  abisirge  $c''$ . Et sirge  $c''$  lõikab sirgeid  $a''$  ja  $b''$  punktides  $1''$  ja  $2''$ , siis ta kuulub tasandile  $\alpha$ . Punktid  $1$  ja  $2$  tuletatakse pealtvaatel sirgetel  $a'$  ja  $b'$ . Läbi saadud punktide  $1'$  ja  $2'$  tõmmatakse sirge  $c$  pealtvaade  $c'$ . Et sirge  $c'$  läbib punkti  $M'$ , aga ei läbi punkti  $N'$ , siis järelikult punkt  $M$  kuulub tasandile  $\alpha$ , aga punkt  $N$  ei kuulu tasandile  $\alpha$ .



**Joonis 3.46.** Punkt tasandil: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.4.** Tasandil asetseva punkti puuduva projektsiooni tuletamise näide on toodud joonisel 3.47.a ja b. On antud tasand  $\alpha(A, B, C)$  ja sellel asetseva punkti  $D$  eestvaade  $D''$ . Tuletada punkti pealtvaade  $D'$ . Punkti puuduv projektsioon tuletatakse abisirge  $A''D''$  abil, mis kuulub antud tasandile (ta läbib tasandi  $\alpha$  kahte punkti  $A$  ja  $I$ ); saadakse punkt  $I''$ . Sidejoone abil tuletatakse punkti  $I$  pealtvaade  $I'$  sirge  $BC$  pealtvaatel. Punktist  $A'$  tõmmatakse läbi punkti  $I'$  sirge, ja sellel sirgel tuletatakse otsitav punkt  $D'$  sidejoone abil, mis tõmmatakse punktist  $D''$ .

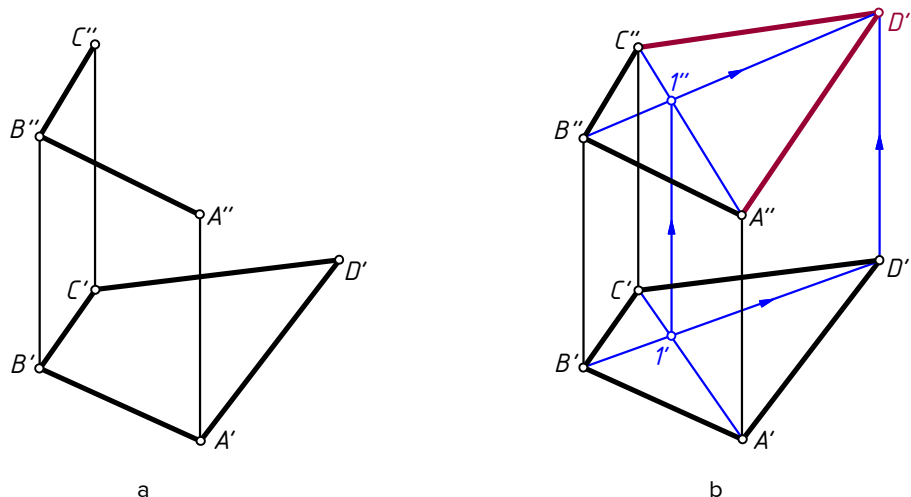


**Joonis 3.47.** Tasandil asetseva punkti (a, b) ja sirge (c) puuduva projektsiooni tuletamine: a – lähteandmed; b, c – lahendus kaksvaatel.

Joonisel 3.47.c on toodud tasandil  $\alpha(A, B, C)$  asetseva sirge  $CD$  tuletamine. Kui tõmmata läbi punkti  $C$  mõlemal vaatel sirge paralleelselt sirgega  $AB$  ( $C'D' \parallel A'B'$  ja  $C''D'' \parallel A''B''$ ), siis sirge  $CD$  asetseb tasandil  $\alpha$ , sest ta läbib selle tasandi punkti  $C$  ja on paralleelne tasandil asetseva sirgega  $AB$ .

Kui tasand on joonisel antud jälgedega, siis sirge kuulub tasapinnale, kui sirge jäljed asuvad selle tasandi samanimelistel jälgedel (näiteks joonis 3.39.c sirge  $AB$ ) või kui sirge on paralleelne ühe tasandi jäljega (näiteks joonis 3.39.c sirge  $AC$ ).

**Näide 3.5.** Joonisel 3.48.a on toodud näide, kus on vaja lõpetada tasapinnalise nelinurga  $ABCD$  eestvaade. Tõmmatakse diagonaalid  $A'C'$ ,  $A''C''$  ja  $B'D'$  ning saadakse punkt  $I'$  (joonis 3.48.b). Sidejoone abil tuletatakse eestvaatel punkt  $I''$ . Joonestatakse sirge punktist  $B''$  läbi punkti  $I''$  ja punktist  $D'$  sidejoon. Nende sirgete lõikepunkt määrab punkti  $D''$ . Joonestatakse nelinurga  $ABCD$  eestvaade.



**Joonis 3.48.** Nelinurga eestvaate lõpetamine: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

Punkt ja sirge on eriasendilisel tasandil, kui nende vastavad projektsioonid ühtivad tasandi joonkujutisega.

## 15.12 TASANDI NIVOOSIRGED

**Tasandi nivoosirgeks** nimetatakse sirget, mis asetseb sellel tasandil ja on paralleelne ühe ekraaniga. Praktiliselt tekivad tasandi nivoosirged tasandi lõikamisel vastavate nivoopindadega.

Seega

tasandi  $\alpha$  horisontaal  $h_\alpha \equiv \alpha \times \mu$ , kus  $\mu \parallel \varepsilon_1$ ;

tasandi  $\alpha$  frontaal  $f_\alpha \equiv \alpha \times \nu$ , kus  $\nu \parallel \varepsilon_2$ .

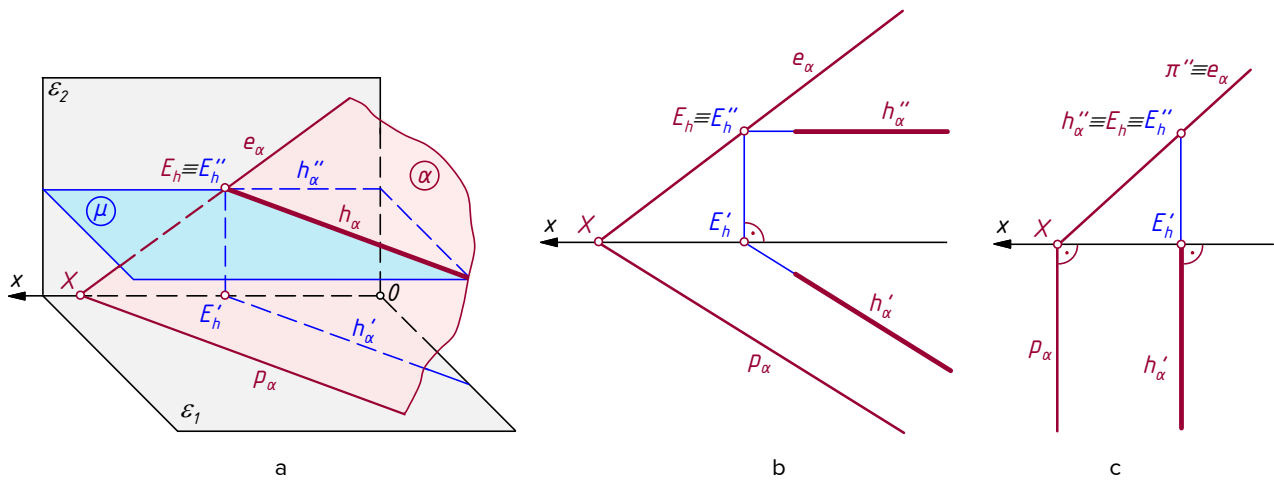
**Tasandi horisontaaliks** nimetatakse sirget, mis asetseb sellel tasandil ja on paralleelne põhiekraaniga ( $h_\alpha \subset \alpha$  ja  $h_\alpha \parallel \varepsilon_1$ ). Joonisel 3.49.a on näidatud tasandi  $\alpha$  horisontaali  $h_\alpha$  tekkimine lõikamisel horisontaalpinnaga  $\mu$ , joonisel 3.49.b on esitatud sama tasandi jälgede ja horisontaali  $h_\alpha$  kaksvaade. Tasandil on lõpmata palju horisontaale, mis kõik on omavahel paralleelsed kui sirged, mis tekivad tasandi lõikamisel paralleelsete tasanditega. Et põhijälg  $p_\alpha$  on üks horisontaal (nullhorisontaal), seega  $h_\alpha \parallel p_\alpha$ , siis on paralleelsed ka sirgete  $h$  ja  $p$  samanimelised projektsioonid  $h'_\alpha \parallel p'_\alpha$  ja  $h''_\alpha \parallel p''_\alpha$ . Et aga  $p' \equiv p$  ja  $p'' \equiv x$ , siis  $h'_\alpha \parallel p_\alpha$  ja  $h''_\alpha \parallel x$ .

Tasandi horisontaali tunnus kaksvaatel.

**20. Üldasendilise tasandi horisontaali eestvaade on paralleelne kaksvaate teljega ja pealtvaade aga on paralleelne tasandi põhijäljega.**

$$h'_\alpha \parallel p_\alpha \text{ ja } h''_\alpha \parallel x.$$

Esiekraani risttasandi horisontaali eestvaade on punkt ja pealtvaade on risti  $x$ -teljega (joonis 3.49.c). Põhiekraani risttasandi horisontaali pealtvaade ühtib selle tasapinna põhijäljega, eestvaade aga on paralleelne  $x$ -teljega. Tasandi horisontaali esijalg  $E_h$  asetseb selle tasandi esijäljel  $e_\alpha$ , pealtvaade  $E_h'$  aga kaksvaate teljel.



**Joonis 3.49.** Tasandi  $\alpha$  horisontaal  $h$ : a – piltkujutis; b – kaksvaade; c – erijuht.

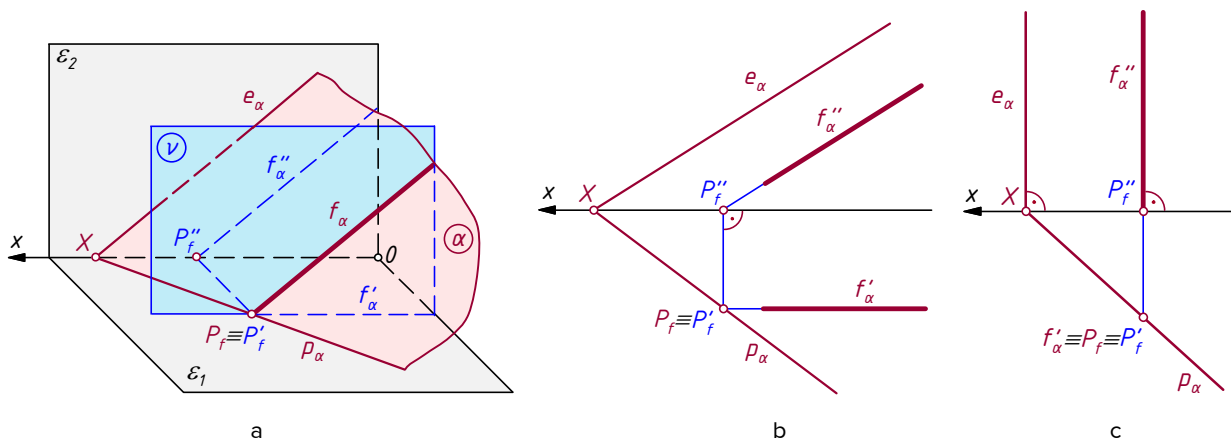
**Tasandi frontaaliks** nimetatakse sirget, mis asetseb sellel tasandil ja on paralleelne esiekraaniga ( $f_\alpha \subset \alpha$  ja  $f_\alpha \parallel \epsilon_2$ ). Joonisel 3.50.a on näidatud tasandi  $\alpha$  frontaali  $f_\alpha$  tekkimine lõikamisel frontaalse tasandiga  $v$ , joonisel 3.50.b on esitatud sama tasandi jälgede ja frontaali  $f_\alpha$  kaksvaade. Ühe ja sama tasandi frontaalid on nagu horisontaalidki kõik omavahel paralleelsed. Et tasandi esijalg  $e_\alpha$  on ka üks frontaal (nullfrontaal),  $f_\alpha \parallel e_\alpha$ , siis on paralleelsed ka sirgete  $f$  ja  $e$  samanimelised projektsioonid  $f'_\alpha \parallel e'_\alpha$  ja  $f''_\alpha \parallel e''_\alpha$ . Et aga  $e' \equiv x$  ja  $e'' \equiv e$ , siis  $f'_\alpha \parallel x$  ja  $f''_\alpha \parallel e_\alpha$ .

Tasandi frontaali tunnus kaksvaatel.

## 21. Üldasendilise tasandi frontaali pealtvaade on paralleelne kaksvaate teljega ja eestvaade on paralleelne tasandi esijäljega.

$$f'_\alpha \parallel x \text{ ja } f''_\alpha \parallel e_\alpha.$$

Põhiekraani risttasapinna frontaali pealtvaade on punkt, eestvaade aga risti  $x$ -teljega (joonis 3.50.c). Esiekraani risttasapinna frontaali eestvaade ühtib selle tasapinna esijäljega ja pealtvaade on paralleelne  $x$ -teljega. Tasandi frontaali põhijalg  $P_f$  asetseb selle tasandi põhijäljel  $p_\alpha$ , eestvaade  $P_f'$  aga kaksvaate teljel.

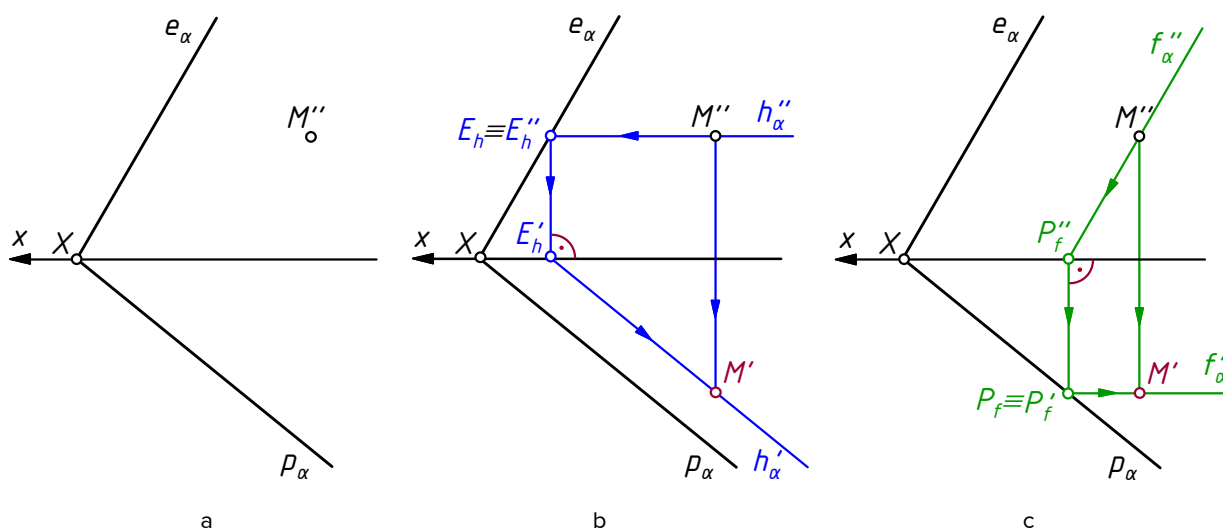


**Joonis 3.50.** Tasandi  $\alpha$  frontaal  $f$ : a – piltkujutis; b – kaksvaade; c – erijuht.

Tasandi nivoosirgeid kasutatakse punkti tasandil asetsemise tagamiseks ja mitmesuguste ülesannete lahendamisel, kus tasandi jälgisirged puuduvad. Kui horisontaal või frontaal tuleb tõmmata tasandil, mis on antud muude andmetega, mitte jälgedega, siis joonestatakse kohe horisontaali eestvaade või frontaali pealtvaade paralleelselt  $x$ -teljega (või risti sidejoontega). Seejärel tuletatakse horisontaali pealtvaade või frontaali eestvaade nii, et vastav nivoosirge asetseks antud tasandil.

### Näiteid tasandi nivoosirgete rakenduse kohta.

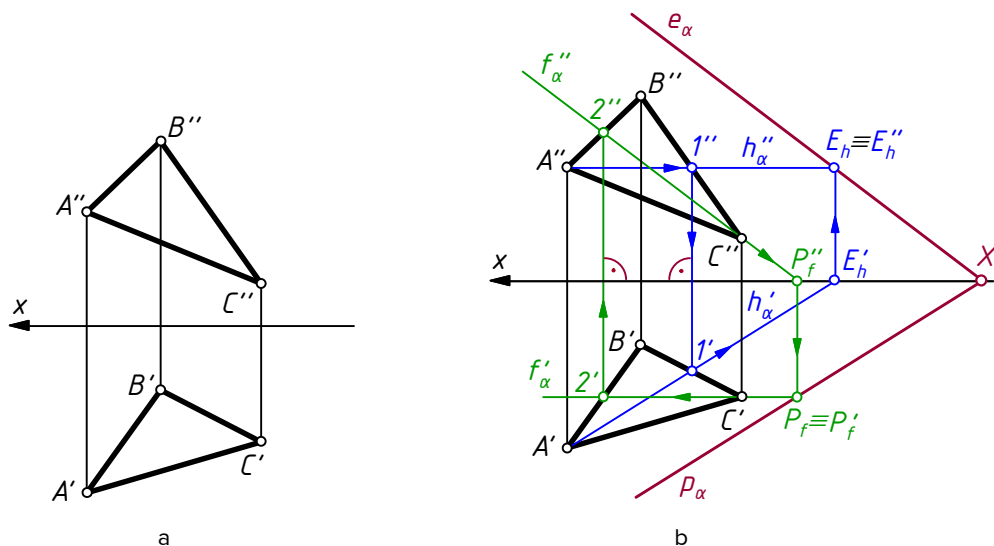
**Näide 3.6.** Leida tasandil  $\alpha(p, e)$  asetseva punkti  $M$  pealtvaade  $M'$ , kui on teada eestvaade  $M''$  (joonis 3.51.a). Ülesanne on lahendatud kahel viisil. Joonisel 3.51.b on läbi punkti  $M''$  tõmmatud horisontaali eestvaade  $h_\alpha''$  paralleelselt  $x$ -teljega kuni lõikumiseni tasandi esijäljega  $e_\alpha$  punktis  $E_h''$ , mis on horisontaali esijälje eestvaade (ühtib esijäljega). Sidejoone abil leitakse horisontaali esijälje pealtvaade  $E_h'$   $x$ -teljel. Horisontaali pealtvaade  $h_\alpha'$  tõmmatakse punktist  $E_h'$  paralleelselt tasandi  $\alpha$  põhijäljega  $p_\alpha$ . Punkti otsitav pealtvaade  $M'$  saadakse sidejoone abil horisontaali pealtvaatel  $h_\alpha'$ .



**Joonis 3.51.** Punkti  $M$  puuduva projektsiooni tuletamine nivoosirgete abil: a – lähteandmed; b – horisontaali abil; c – frontaali abil.

Joonisel 3.51.c on ülesanne lahendatud frontaali abil. Läbi eestvaate  $M''$  on tõmmatud frontaali eestvaade  $f_\alpha''$  paralleelselt esijäljega  $e_\alpha$  kuni lõikumiseni  $x$ -teljega punktis  $P_f''$ , mis on frontaali põhijälje eestvaade. Sidejoone abil leitakse frontaali põhijälje pealtvaade  $P_f'$  (ühtib põhijäljega) tasandi  $\alpha$  põhijäljel  $p_\alpha$ . Frontaali pealtvaade  $f_\alpha'$  tõmmatakse punktist  $P_f'$  paralleelselt tasandi  $x$ -teljega. Punkti otsitav pealtvaade  $M'$  saadakse sidejoone abil frontaali pealtvaatel  $f_\alpha'$ .

**Näide 3.7.** Tuletada tasandi  $\alpha(A, B, C)$  jälgisirged (joonis 3.52.a). Esmalt joonestatakse tasandi  $\alpha$  horisontaali eestvaade  $h_\alpha''$  (joonis 3.52.b) läbi punkti  $A''$  paralleelselt  $x$ -teljega. Horisontaal lõikab sirge  $BC$  eestvaadet  $B''C''$  punktis  $I''$ . Sidejoone abil tuletatakse punkti  $I$  pealtvaade  $I'$ . Nüüd saab joonestada horisontaali pealtvaade  $h_\alpha' \equiv A'I'$ . Horisontaali pealtvaade  $h_\alpha'$  ja  $x$ -telje lõikepunkt määrab horisontaali esijälje pealtvaade  $E_h'$ . Punktist  $E_h'$  joonestatud sidejoone ja horisontaali eestvaade lõikepunktiga on määratud horisontaali esijälje eestvaade  $E_h''$ , mis ühtib antud horisontaali esijäljega  $E_h$  ( $E_h \equiv E_h''$ ).



**Joonis 3.52.** Tasandi  $\alpha(A,B,C)$  jälgisirgete tuletamine nivoosirgete abil: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

Järgnevalt tuletatakse tasandi  $\alpha$  frontaali põhijalg  $P_f$ . Läbi punkti  $C'$  tõmmatakse frontaali  $f$  pealtvaade  $f'_\alpha$  paralleelselt  $x$ -teljega. Frontaal lõikab sirge  $AB$  pealtvaadet  $A'B'$  punktis  $2'$ . Sidejoone abil tuletatakse punkti  $2$  eestvaade  $2''$ . Nüüd saab joonestada frontaali eestvaate  $f''_\alpha \equiv C''2''$ . Frontaali eestvaate  $f''_\alpha$  ja  $x$ -telje lõikepunkt määrab frontaali põhijälje eestvaate  $P'_f$ . Punktist  $P'_f$  joonestatud sidejoone ja frontaali pealtvaate lõikepunktiga on määratud frontaali põhijälje pealtvaade  $P_f$ , mis ühtib antud frontaali põhijäljega  $P_f (P_f \equiv P'_f)$ .

Teades nivoosirgete tunnuseid kaksvaatel ( $h'_\alpha \parallel p_\alpha$  ja  $f''_\alpha \parallel e_\alpha$ ), saab välja joonestada tasandi  $\alpha$  jäljed. Läbi põhijälje  $P_f$  paralleelselt horisontaali pealtvaatega  $h'_\alpha$  joonestatakse tasandi põhijalg  $p_\alpha$  ja läbi esijälje  $E_h$  paralleelselt frontaali eestvaatega  $f''_\alpha$  joonestatakse tasandi esijalg  $e_\alpha$ . Tuletatud jälgisirged peavad lõikuma  $x$ -teljel telgpunktis  $X \equiv p_\alpha \times e_\alpha$ .

### 15.13 TASANDI LANGUSJOONED JA KALDENURGAD

**Tasandi langusjooned** on sel tasandil asetsevad sirged, mis on risti selle tasandi vastavate nivoosirgetega, sh vastava jäljega. Iga ekraani suhtes on tasandil oma langusjoonte süsteem.

**Põhilangusjoonteks ( $l$ )** nimetatakse langusjooni, mis on risti tasandi horisontaalidega (ka põhijäljega):

$$l_\alpha \subset \alpha \text{ ja } l_\alpha \perp h_\alpha \text{ (ka } l_\alpha \perp p).$$

**Esilangusjoonteks ( $g$ )** nimetatakse langusjooni, mis on risti tasandi frontaalidega (ka esijäljega):

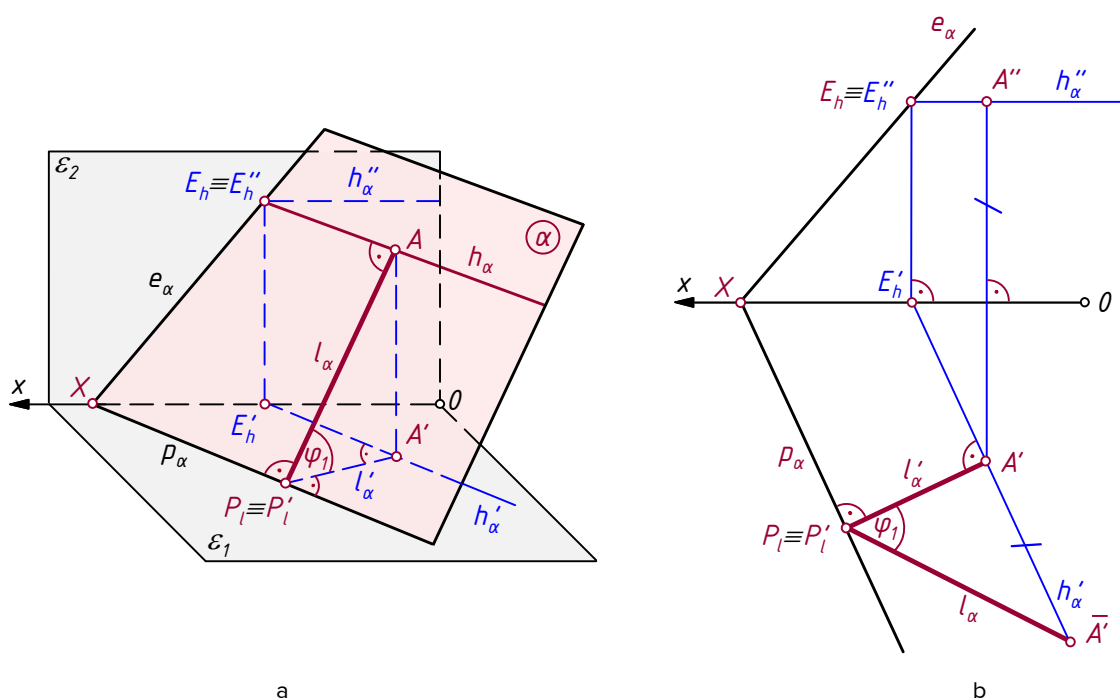
$$g_\alpha \subset \alpha \text{ ja } g_\alpha \perp f_\alpha \text{ (ka } g_\alpha \perp e).$$

Joonisel 3.53 on tasandil  $\alpha$  läbi punkti  $A$  joonestatud horisontaal  $h_\alpha$  ja põhilangusjoon  $l_\alpha$ . Kuna täisnurgal sirgete  $l_\alpha$  ja  $h_\alpha$  vahel on haar  $h_\alpha$  paralleelne põhiekraaniga, siis lause (12) põhjal peab see täisnurk projekteeruma põhiekraanile täisnurgaks.

Põhilangusjoone tunnus kaksvaatel.

**22. Tasandi põhilangusjoone pealtvaade on risti selle tasandi iga horisontaali pealtvaatega ja ühtlasi risti tasandi põhijäljega:**

$$l'_\alpha \perp h'_\alpha; \quad l'_\alpha \perp p_\alpha.$$



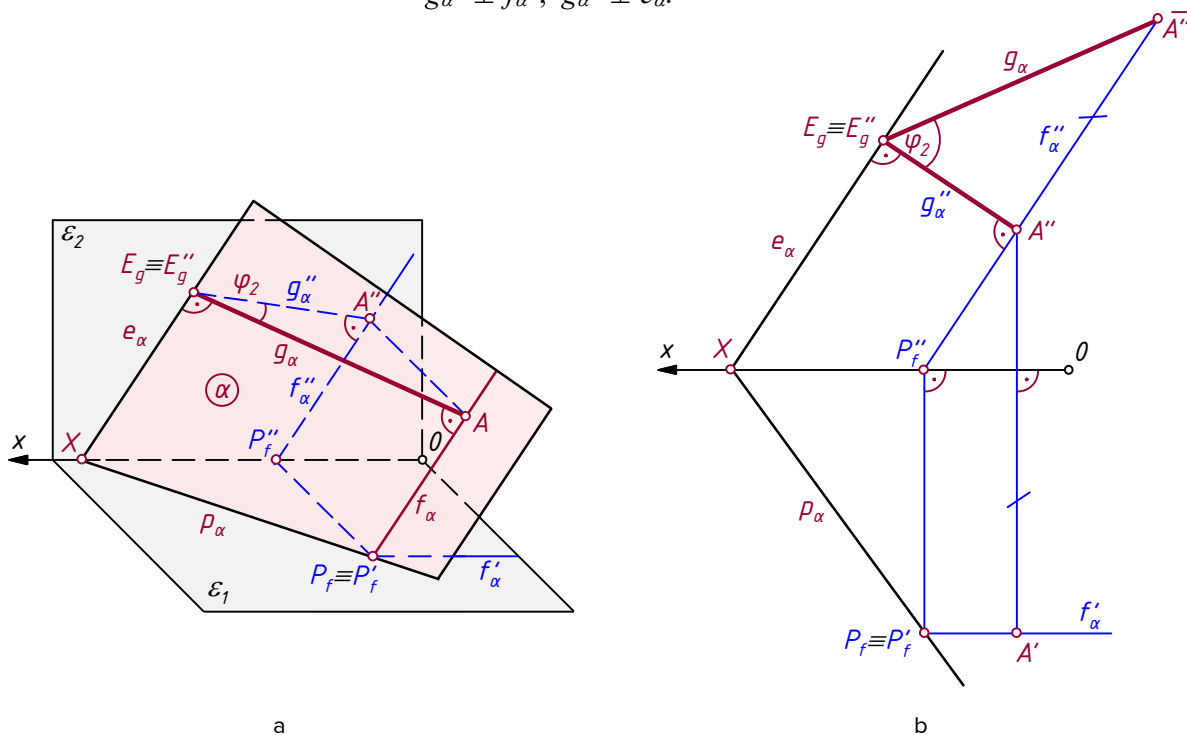
**Joonis 3.53.** Tasandi põhilangusjoon  $l$  ja põhikaldenurk  $\varphi_1$ : a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Analoogiliselt on täisnurgal, mille moodustavad esilangusjoon  $g_\alpha$  ja frontaal  $f_\alpha$ , haar  $f_\alpha$  paralleelne esiekraaniga, mistõttu see nurk peab projekteeruma esiekraanile täisnurgaks (joonis 3.54).

Esilangusjoone tunnus kaksvaatel.

**23. Tasandi esilangusjoone eestvaade on risti selle tasandi iga frontaali eestvaatega ja ühtlasi risti tasandi esijäljega:**

$$g_\alpha'' \perp f_\alpha''; g_\alpha'' \perp e_\alpha.$$



**Joonis 3.54.** Tasandi esilangusjoon  $g$  ja esikaldenurk  $\varphi_2$ : a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Langusjoonte abil saab tuletada tasandi kaldenurki ekraanide suhtes. Et langusjoon ja tema rist-projektsioon on mõlemad tasandi jälgjega risti, siis langusjoone kaldenurk võrdub tasandi kaldenurgaga.

Tasandi kaldenurgaks põhiekraani suhtes on nurk selle tasandi põhilangusjoone ja tema pealtvaate vahel, s.o. **põhilangusjoone põhikaldenurk**  $\varphi_I$  (joonis 3.53),

$$\varphi_I = \varphi(\alpha, \varepsilon_I) = \varphi(l_\alpha, l_\alpha').$$

Horisontaalil  $h_\alpha$  valitakse punkt  $A$  ja läbi selle punkti pealtvaate  $A'$  tõmmatakse põhilangusjoone pealtvaade  $l_\alpha' \perp p$  (joonis 3.53.b). Saadakse põhijäljel  $p$  punkt  $P_I'$ , ning saadud lõik  $A'P_I'$  on põhilangusjoone pealtvaade. Kasutades täisnurkse kolmnurga võtet, tuletatakse põhilangusjoon  $l_\alpha$ . Kui üheks kaatetiks on põhilangusjoone pealtvaade, siis teiseks kaatetiks on punkti  $A$  põhikvoodi väärtus. Hüpotenuus ongi põhilangusjoon  $l_\alpha$  (mis on punkti  $A$  kaugus tasandi  $\alpha$  põhijäljest  $p$ ) ning põhikaldenurk  $\varphi_I$  jääb põhilangusjoone ja tema pealtvaate vahele.

Tasandi kaldenurgaks esiekraani suhtes on nurk selle tasandi esilangusjoone ja tema eestvaate vahel, s.o. **esilangusjoone esikaldenurk**  $\varphi_2$  (joonis 3.54),

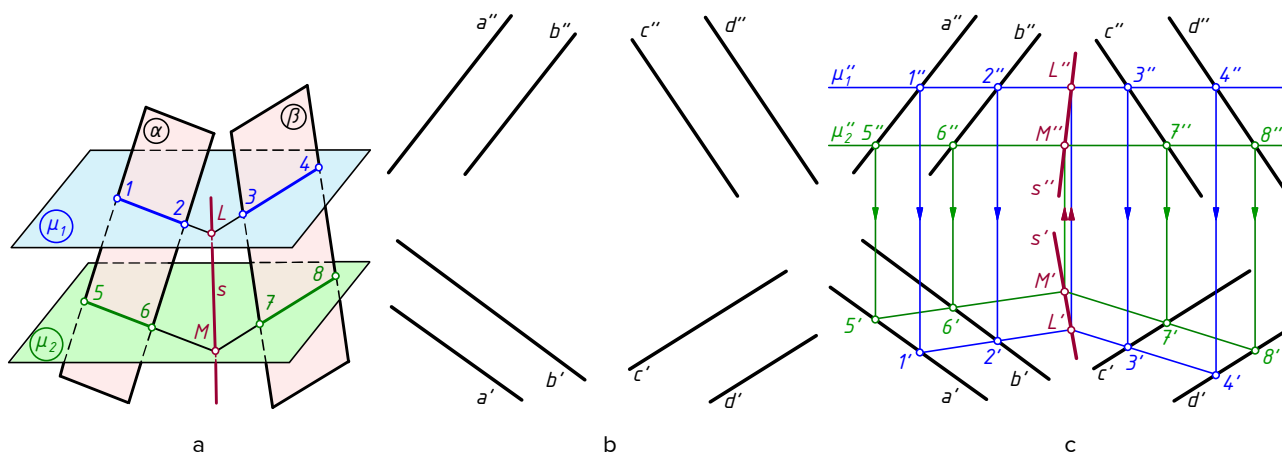
$$\varphi_2 = \varphi(\alpha, \varepsilon_2) = \varphi(g_\alpha, g_\alpha'').$$

Frontaalil  $f_\alpha$  valitakse punkt  $A$  ja läbi selle punkti eestvaate  $A''$  tõmmatakse esilangusjoone eestvaade  $g_\alpha'' \perp e$  (joonis 3.54.b). Saadakse esijäljel  $e$  punkt  $E_g''$  ja saadud lõik  $A''E_g''$  on esilangusjoone eestvaade. Kasutades täisnurkse kolmnurga võtet, tuletatakse esilangusjoon  $g_\alpha$ . Kui üheks kaatetiks on esilangusjoone eestvaade, siis teiseks kaatetiks on punkti  $A$  esikvoodi väärtus. Hüpotenuus ongi esilangusjoon  $g_\alpha$  (mis on punkti  $A$  kaugus tasandi  $\alpha$  esijäljest  $e$ ) ning esikaldenurk  $\varphi_2$  jääb esilangusjoone ja tema eestvaate vahele.

## 15.14 TASANDITE LÕIKUMINE JA PARALLEELSUS

**1. Tasandite lõikumise üldjuht.** Kahe tasapinna lõikesirge saamiseks on vaja leida selle sirge kaks punkti. Üldjuhul leitakse need punktid nn. **abitasandite võttega**. Abitasanditena kasutatakse eriasendilisi pindu (eriti nivoopindu).

Joonisel 3.55.a on kujutatud piltkujutis sellest võttest. Kahe tasandi  $\alpha$  ja  $\beta$  lõikejoone tuletamiseks on kasutatud kahte abitasandit  $\mu_1$  ja  $\mu_2$ . Tuletatakse sirged, mida mööda need tasandid lõikavad antud tasandeid. Joonisel on nendeks sirgeteks 12 ja 34 ning 56 ja 78. Sirgete 12 ja 34 lõikepunkt on  $L$  ning sirgete 56 ja 78 lõikepunkt on  $M$ . Punktidega  $L$  ja  $M$  on määratud tasandite  $\alpha$  ja  $\beta$  lõikejoon.

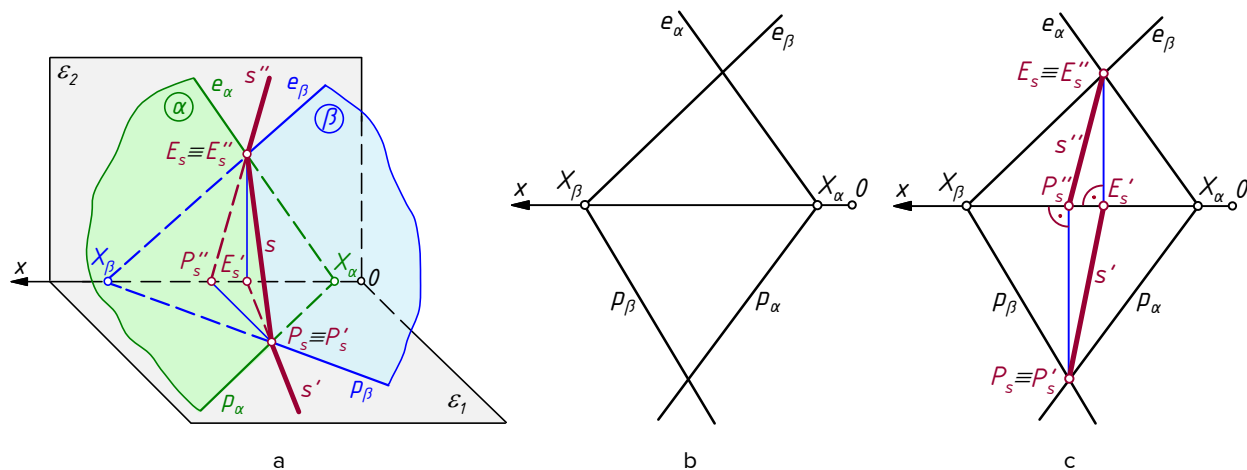


**Joonis 3.55.** Üldasendiliste tasandite lõikejoone tuletamine abitasandite võttega: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.8.** Tuletada tasandite  $\alpha(a, b)$  ja  $\beta(c, d)$  lõikesirge  $s$  (joonis 3.55.a). Ülesande lahendamiseks on kasutatud abitasanditena horisontaalpindu  $\mu_1$  ja  $\mu_2$ . Kuna abitasandid on eriasendilised, s.t esiekraaniga risti, siis lõikejoonte üks projektsioon ühtib antud tasandite joonkujutisega. Tasand  $\mu_1$  lõikab tasandeid  $\alpha$  ja  $\beta$  vastavalt mööda sirgeid  $1'2''$  ja  $3'4''$ . Lõikesirgete  $12$  ja  $34$  pealtvaated  $1'2'$  ja  $3'4'$  tuletatakse sidejoonte abil. Sirgete  $1'2'$  ja  $3'4'$  lõikepunkt  $L'$  on lõikesirge  $s$  üheks punktiks. Seejärel tuletatakse sidejoone abil punkti  $L$  eestvaade  $L''$  tasapinnal  $\mu_1$ . Edasi tuletatakse analoogiliselt lõikesirge  $s$  teise punkti  $M$  kaksvaade, kasutades abitasandit  $\mu_2$ . Punktide  $L$  ja  $M$  kaksvaadetega on määratud lõikesirge  $s$  projektsioonid  $s' \equiv L'M'$  ja  $s'' \equiv L''M''$ .

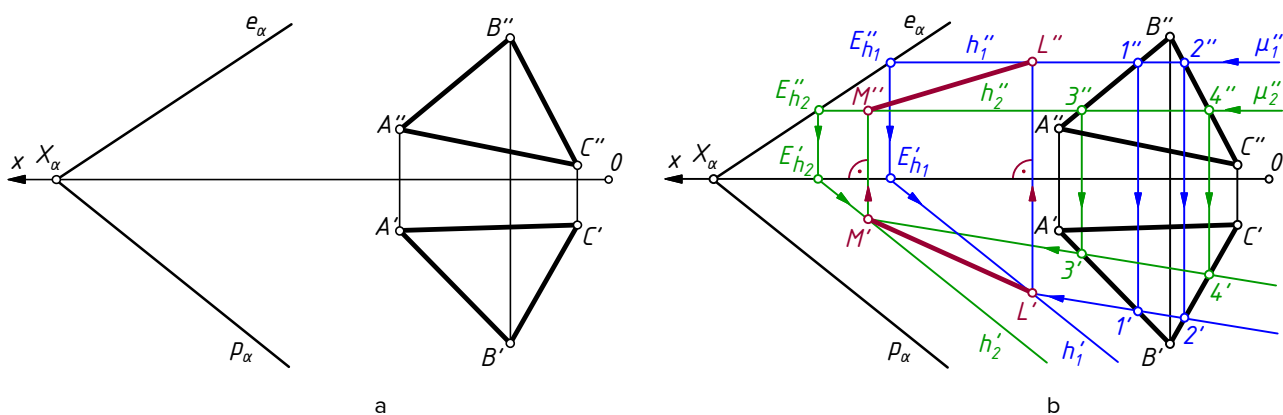
Tasandite lõikejoone tuletamine osutub lihtsaks, kui tasandid on antud jälgedega. Sel juhul on lõikesirge kaks punkti tegelikult juba teada. **Tasandite samanimeliste jälgede lõikepunktid on nende tasandite lõikejoone jälgpunktideks.** Viimaste järgi leitakse lõikejoone projektsioonid. Lõikejoone tuletamine jälgedega antud tasandite puhul on näidatud joonisel 3.56.

**Näide 3.9.** On antud tasandid  $\alpha(p_\alpha, e_\alpha)$  ja  $\beta(p_\beta, e_\beta)$  (joonis 3.56.b), tuleb leida nende tasandite lõikejoon  $s$ . Otsitava lõikesirge üheks punktiks on tasandite põhijälgede lõikepunkt  $P \equiv P' \equiv p_\alpha \times p_\beta$  ja teiseks punktiks esijälgede lõikepunkt  $E \equiv E'' \equiv e_\alpha \times e_\beta$  (joonis 3.56.c). Need punktid on ühtlasi otsitava lõikesirge  $s$  jälgpunktid. Punktide  $P$  ja  $E$  teised projektsioonid  $P''$  ja  $E''$  leitakse sidejoonte abil  $x$ -teljelt. Ühendades jälgpunktide samanimelised projektsioonid, saadakse lõikesirge  $s$  projektsioonid  $s' \equiv P'E'$  ja  $s'' \equiv P''E''$ .



**Joonis 3.56.** Jälgedega antud tasandite lõikesirge tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.10.** Tuletada tasandite  $\alpha(p, e)$  ja  $\beta(A, B, C)$  lõikesirge  $s$  (joonis 3.57). Ülesande lahendamiseks on kasutatud abitasanditena horisontaalpindu  $\mu_1$  ja  $\mu_2$ . Abitasandid lõikavad tasandil  $\beta$  sirgeid  $1'2''$  ja  $3'4''$  ning tasandit  $\alpha$  horisontaale  $h_1''$  ja  $h_2''$ . Lõikesirgete  $12$  ja  $34$  pealtvaated  $1'2'$  ja  $3'4'$  tuletatakse sidejoonte abil ning horisontaalide pealtvaated  $h_1'$  ja  $h_2'$  tuletatakse, arvestades horisontaalide tunnust kaksvaatel ( $h' \parallel x$ -telg ja  $h' \parallel p$ ). Lõikesirge  $1'2'$  ja horisontaali  $h_1'$  lõikepunkt  $L'$  on otsitava lõikesirge  $s$  üks punkt ning sirgete  $3'4'$  ja  $h_2'$  lõikepunkt  $M'$  teine punkt. Seejärel tuletatakse nende punktide eestvaated  $L''$  ja  $M''$ . Ühendades tuletatud punktid saadakse kahe tasandi  $\alpha$  ja  $\beta$  lõikesirge projektsioonid  $s' \equiv L'M'$  ja  $s'' \equiv L''M''$ .

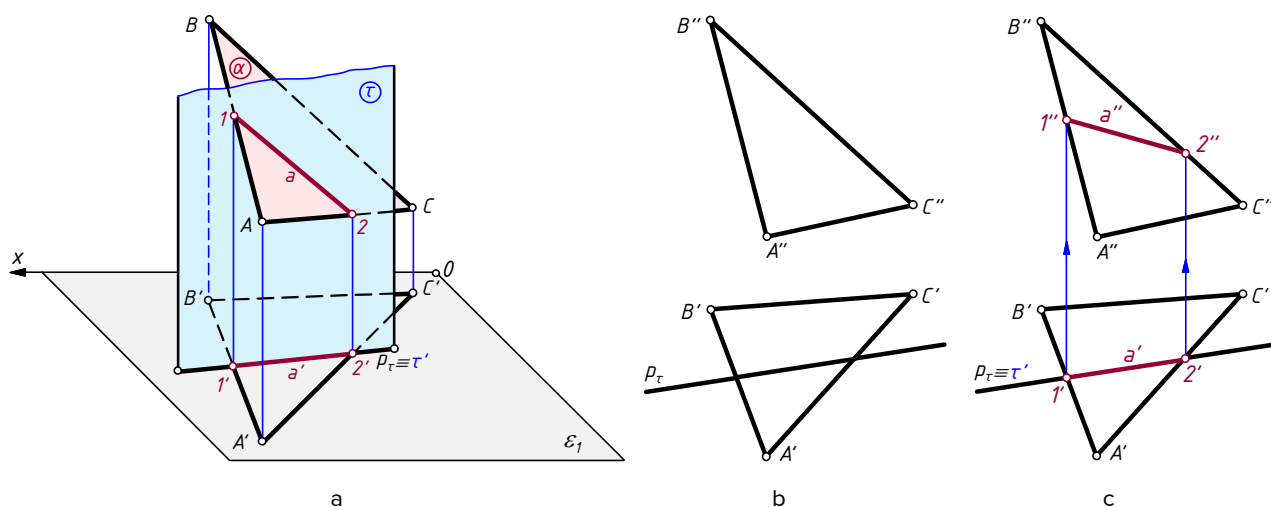


**Joonis 3.57.** Üldasendiliste tasandite lõikejoone tuletamine abitasandite võttega: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

## 2. Tasandite lõikumise erijuht.

### Tasandi lõikumine ekraani ristsandiga.

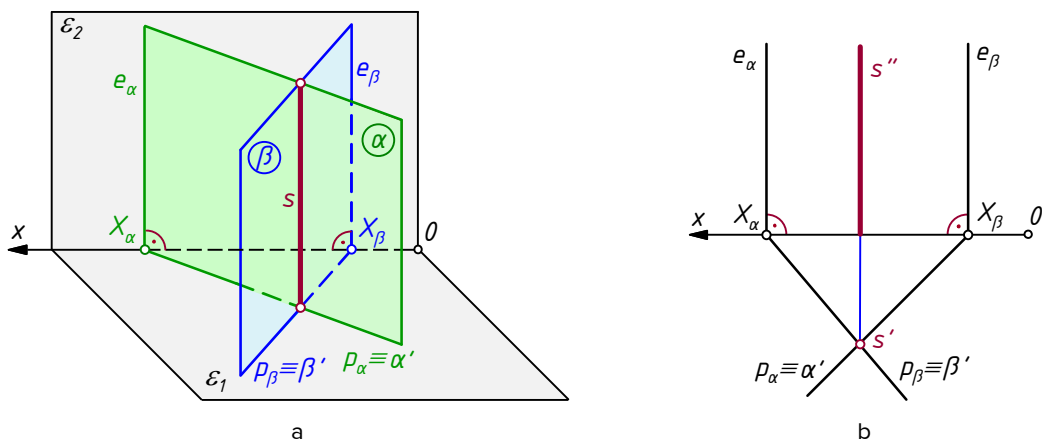
**Näide 3.11.** On antud tasand  $\alpha(A, B, C)$  ja põhiekraani ristsand  $\tau (\tau \perp \varepsilon_I)$ . Leida tasandite  $\alpha$  ja  $\tau$  lõikejoon (joonis 3.58). Et tasand  $\tau$  on risti põhiekraaniga, siis otsitava lõikesirge punktid on määratud punktidega 1 ja 2, kus küljed  $AB$  ja  $AC$  lõikuvad tasandiga  $\tau$  ( $1' \equiv A'B' \times \tau$  ja  $2' \equiv A'C' \times \tau$ ). Lõikepunktide eestvaated  $1''$  ja  $2''$  tuletatakse sidejoonte abil vastavalt sirgete  $AB$  ja  $AC$  eestvaateilt. Sirge  $12$  ongi otsitav lõikesirge.



**Joonis 3.58.** Tasandi lõikumine ekraani ristsandiga: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

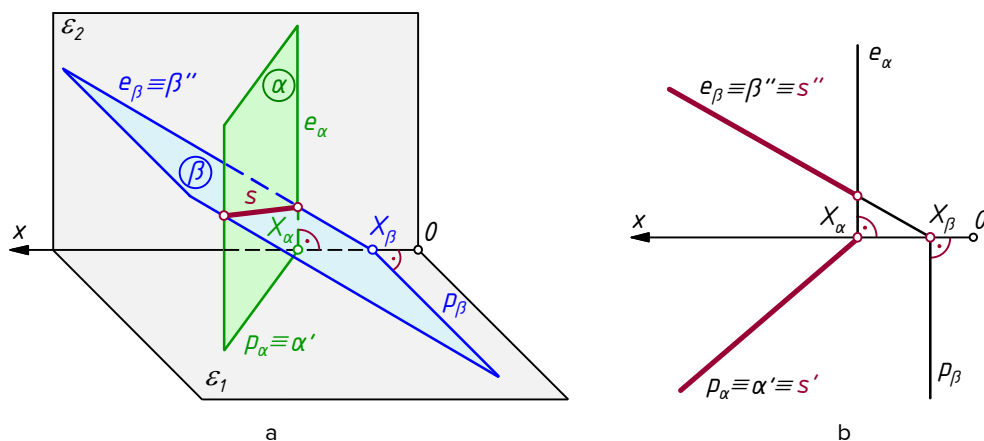
### Mõlemad tasandid on eriasendilised.

**Näide 3.12.** Joonisel 3.59 on antud tasandid  $\alpha(p_\alpha, e_\alpha)$  ja  $\beta(p_\beta, e_\beta)$ . Tasandid  $\alpha$  ja  $\beta$  on põhiekraani ristsandid ( $\alpha \perp \varepsilon_I$  ja  $\beta \perp \varepsilon_I$ ). Kui mõlemad lõikuvad tasandid on risti ühe ja sama ekraaniga, siis nende lõikesirge on risti sellesama ekraaniga ning projekteerub seetõttu sellele ekraanile punktiks. Et tasandid  $\alpha$  ja  $\beta$  on risti  $\varepsilon_I$ , siis nende tasandite lõikesirge pealtvaateks on punkt  $s' \equiv \alpha' \times \beta'$  (joonis 3.59.b) ja lõikesirge  $s''$  on risti  $x$ -teljega (ühtib sidejoonega).



**Joonis 3.59.** Sama ekraaniga ristsasandite lõikumine: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

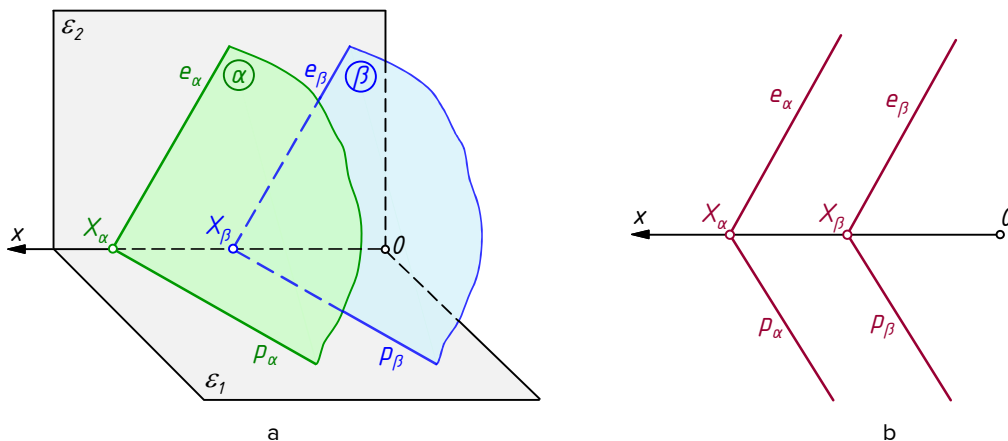
**Näide 3.13.** Joonisel 3.60 lõikuvad põhiekraani ristsasand  $\alpha$  ( $\alpha \perp \varepsilon_1$ ) ja esiekraani ristsasand  $\beta$  ( $\beta \perp \varepsilon_2$ ). Et lõikesirge  $s$  asetseb nii tasandil  $\alpha$  kui ka tasandil  $\beta$ , peab tema pealtvaade  $s'$  ühtima tasandi  $\alpha$  pealtvaatega ( $s' \equiv \alpha'$ ) ja eestvaade tasandi  $\beta$  eestvaatega ( $s'' \equiv \beta'$ ) (joonis 3.60.b).



**Joonis 3.60.** Erinevate ekraanidega ristsasandite lõikumine: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

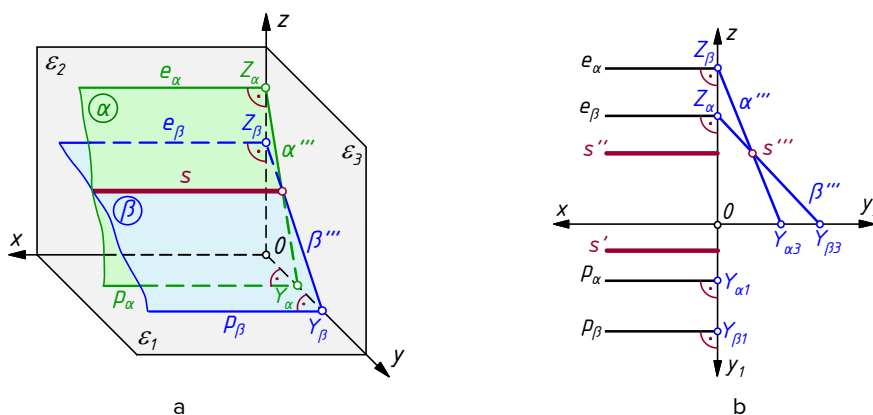
### 3. Tasandite paralleelsus.

Kaks tasandit on paralleelsed, kui ühe tasandi kaks lõikuvat sirget on vastavalt paralleelsed teise tasandi kahe sirgega. Üldjuhul on tasandid paralleelsed, kui nende põhijäljed on omavahel paralleelsed ja ka esijäljed on omavahel paralleelsed (joonis 3.61).



**Joonis 3.61.** Paralleelsed tasandid: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Erandidiks on külgekraani ristsasandid. Joonisel 3.62 on toodud külgekraani ristsasandid  $\alpha$  ja  $\beta$ . Nende samanimelised jäljed on omavahel paralleelsed ( $p_\alpha \parallel p_\beta$  ja  $e_\alpha \parallel e_\beta$ ). Et teha kindlaks, kas tasandid  $\alpha$  ja  $\beta$  on paralleelsed, tuletatakse nende külgvaated  $\alpha'''$  ja  $\beta'''$ . Kui need on paralleelsed, siis on ka tasandid paralleelsed, ja kui nad lõikuvad, siis on tegemist lõikuvate tasanditega. Antud näites tasandid lõikuvad ( $s''' \equiv \alpha''' \times \beta'''$ ).



**Joonis 3.62.** Paralleelsete tasandite erijuht: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Lõikejoone  $s$  pealtvaade  $s'$  ja eestvaade  $s''$  on paralleelsed  $x$ -teljega. Niisuguste tasandite vaheline nurk  $\varphi$  projekteerub külgvaates tegelikus suurus.

## 15.15 SIRGE JA TASANDI LÕIKUMINE JA PARALLEELSUS

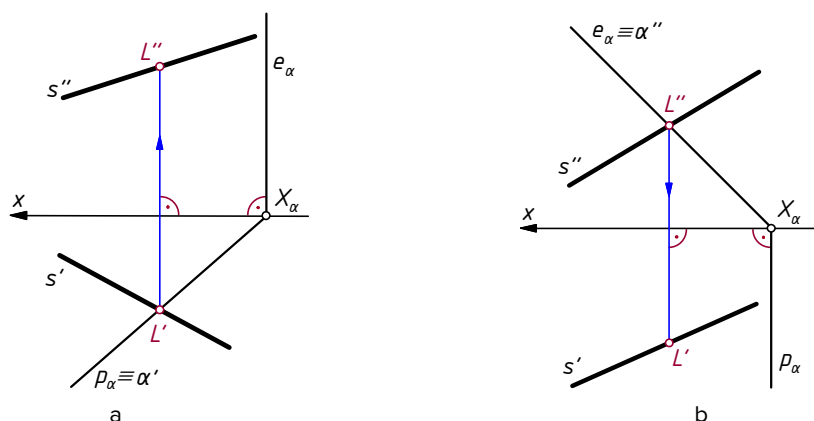
**1. Sirge ja tasandi lõikepunkti tuletamine erijuhul.** Sirgjoone ja tasandi lõikepunkti on kaksvaate alusel lihtne leida, kui üks antud elementidest on ühe ekraaniga risti.

Selliste erijuhtude hulka kuuluvad

- mis tahes sirgjoone lõikumine ekraani ristsasandiga,
- ekraani ristsirge lõikumine mis tahes tasandiga.

**Sirge lõikumine ekraani ristsasandiga.** Ekraani ristsasand projekteerub sellele ekraanile sirgjooneks. Mis tahes sirgjoone lõikumisel ekraani ristsasandiga on lõikepunkti üks projektsioon tasandi joonkujutise ja sirge samanimelise projektsiooni lõikepunktis. Lõikepunkti teine projektsioon tuletatakse sidejoone abil.

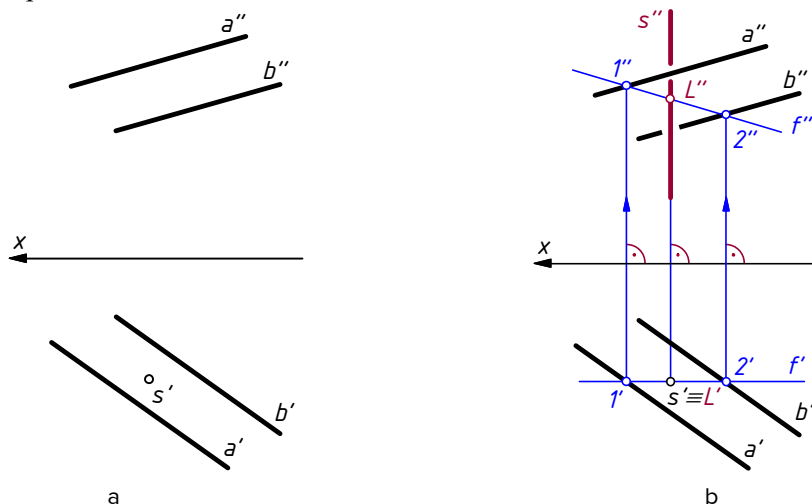
**Näide 3.14.** Leida sirge  $s$  ja põhiekraani ristsasandi  $\alpha$  ( $\alpha \perp \varepsilon_1$ ) lõikepunkt  $L$  (joonis 3.63.a). Et tasand  $\alpha$  projekteerub pealtvaatel sirgenä, on lõikepunkti  $L$  pealtvaade  $L'$  sirgete  $s'$  ja  $\alpha'$  lõikepunkt ( $L' \equiv s' \times \alpha'$ ). Lõikepunkti eestvaade leitakse sidejoone abil sirge  $s$  eestvaatel  $s''$ . Analoogiliselt saab tuletada sirge  $s$  ja esiekraani ristsasandi  $\alpha$  ( $\alpha \perp \varepsilon_2$ ) lõikepunkti  $L$  (joonis 3.63.b). Sel juhul saadakse esmalt lõikepunkti eestvaade  $L''$  ( $L'' \equiv s'' \times \alpha''$ ) ja seejärel lõikepunkti  $L$  pealtvaade  $L'$ .



**Joonis 3.63.** Sirge lõikumine ekraani ristsasandiga: a –  $\alpha \perp \varepsilon_1$ ; b –  $\alpha \perp \varepsilon_2$ .

**Ekraani ristsirge lõikumine tasandiga.** Ekraani ristsirge lõikumisel mis tahes tasandiga ühtib lõikepunkti üks projektsioon sirge punkt kujutisega. Lõikepunkti teine projektsioon tuletatakse nagu tasandil asetseva punkti puuduv vaade.

**Näide 3.15.** Tuletada põhiekraani ristsirge  $s$  ( $s \perp \varepsilon_1$ ) ja tasandi  $\alpha$  ( $a \parallel b$ ) lõikepunkt  $L$  (joonis 3.64). Et sirge  $s$  projekteerub pealtvaatel punktiks, siis lõikepunkti pealtvaade  $L'$  ühtib sirge  $s$  pealtvaatega  $s'$  ( $L' \equiv s'$ ). Lõikepunkti  $L$  eestvaate tuletamiseks kasutatakse abisirgena tasapinna  $\alpha$  frontaali  $f$ . Frontaali pealtvaade  $f'$  ( $f' \parallel x$ -telg) lõikab sirgeid  $a$  ja  $b$  punktides  $1'$  ja  $2'$ . Saadud punktide kaudu tuletatakse frontaali eestvaade  $f''$ . Lõikepunkti  $L$  eestvaade  $L''$  on sirgete  $s''$  ja  $f''$  lõikepunkt ( $L'' \equiv s'' \times f''$ ). Lõikepunkti pealtvaade leitakse sidejoone abil sirge  $s$  pealtvaatel  $s'$ .



**Joonis 3.64.** Ekraani ristsirge lõikumine tasandiga: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

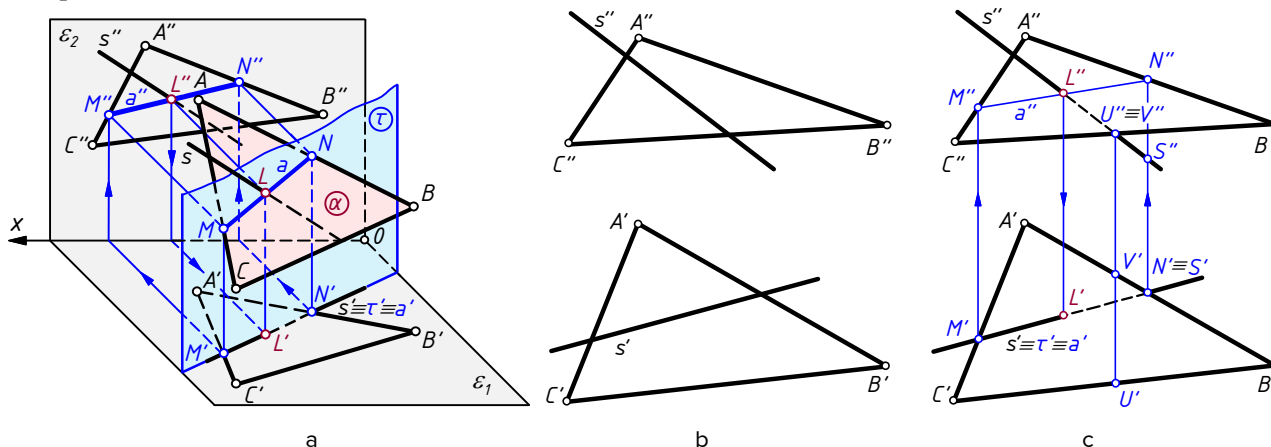
## 2. Sirge ja tasandi lõikepunkti tuletamine üldjuhul.

### 24. Üldjuhul tuletatakse sirge ja tasandi lõikepunkt järgmise eeskirja järgi:

- 1) läbi antud sirge pannakse abitasand risti põhi- või esiekraaniga,
- 2) tuletatakse antud tasandi ja abitasandi lõikesirge,
- 3) leitakse lõikesirge ja antud sirge lõikepunkt.

See eeskiri on rakendatav tasandi mis tahes määramisandmete puhul. Kumba projekteerivat pinda abitasandina kasutada, sõltub andmete iseloomust.

**Näide 3.16.** On antud sirge  $s$  ja tasand  $\alpha(A, B, C)$  (joonis 3.65). Tuleb tuletada sirge  $s$  ja tasandi  $\alpha$  lõikepunkt  $L$ .



**Joonis 3.65.** Sirge ja tasandi lõikepunkti tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

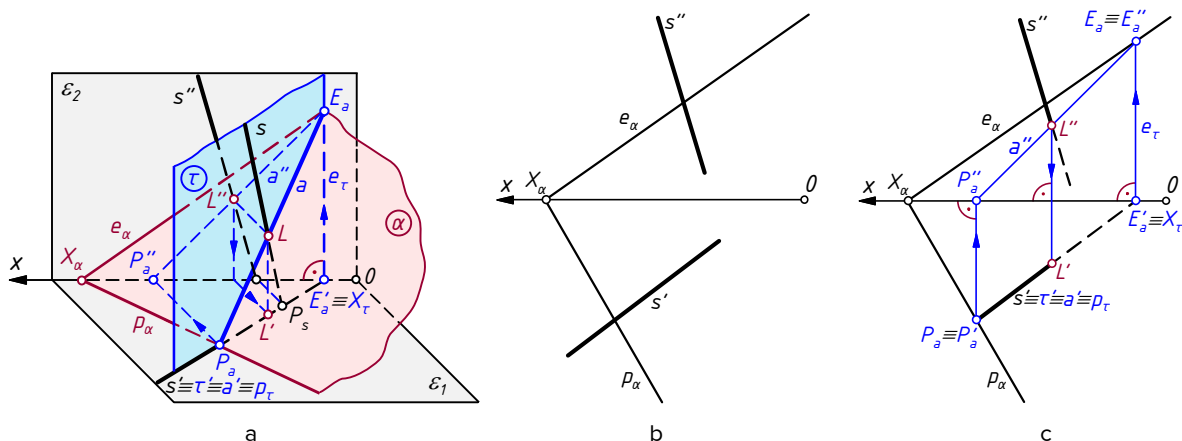
Lõikepunkti  $L$  tuletamiseks tehakse eeskirjas (24) loetletud operatsioonid:

- 1) läbi sirge  $s$  pannakse abitasand  $\tau$  risti põhiekraaniga ( $\tau \perp \varepsilon_I$ ). Sel juhul sirge  $s$  ja tasandi  $\tau$  pealtvaated ühtivad ( $\tau' \equiv s'$ );
- 2) tuletatakse tasandite  $\alpha$  ja  $\tau$  lõikesirge  $a$ , arvestades, et tegemist on erijuhuga (tasandi lõikumine ekraani risttasandiga). Lõikesirge  $a$  on määratud punktidega  $M$  ja  $N$ , kus tasand  $\tau$  lõikub sirgetega  $AC$  ja  $AB$  ( $a' \equiv M'N'$ ). Edasi tuletatakse lõikesirge  $a$  eestvaade  $a''$ . Punktide  $M$  ja  $N$  eestvaated  $M''$  ja  $N''$  tuletatakse sidejoonte abil vastavatel sirgetel eestvaatel ( $a'' \equiv M''N''$ );
- 3) leitakse sirgete  $a$  ( $MN$ ) ja  $s$  lõikepunkt  $L$ . Esmalt saadakse lõikepunkti eestvaade  $L''$  ( $L'' \equiv a'' \times s''$ ). Seejärel leitakse sidejoone abil lõikepunkti  $L$  pealtvaade  $L'$ . Lõpuks lahendatakse sirge  $s$  nähtavuse probleem konkureerivate punktide  $N$  ja  $S$  ning  $U$  ja  $V$  võrdlemise teel (vt. punkt 14.7).

Seda ülesannet saab lahendada ka esiekraani risttasandi kasutamisega.

Sama eeskiri (24) sirge ja tasandi lõikepunkti leidmiseks on rakendatav ka neil juhtudel, kus tasand on antud jälgedega. Sel juhul võetakse abitasand jälgedega.

**Näide 3.17.** On antud sirge  $s$  ja tasand  $\alpha(p, e)$  (joonis 3.66). Tuleb tuletada sirge  $s$  ja tasandi  $\alpha$  lõikepunkt  $L$ . Läbi sirge  $s$  pannakse abitasand  $\tau$  risti põhiekraaniga ( $\tau \perp \varepsilon_I$ ). Tasand  $\tau$  on siis määratud oma pealtvaatega  $\tau' \equiv s'$ , tasandi jäljed on  $p_\tau \equiv s'$  ja  $e_\tau \perp x$ . Tasandite  $\alpha$  ja  $\tau$  lõikesirge  $a$  on määratud nende tasandite samanimeliste jälgedega lõikepunktidega  $P$  ja  $E$ . Lõikesirge  $a$  projektsioonideks pealtvaatel saadakse  $a' \equiv P'E' \equiv s'$ . Lõikesirge  $a$  eestvaade  $a''$  tuletatakse sidejoonte abil ( $a'' \equiv P''E''$ ). Otsitava lõikepunkti  $L$  eestvaade  $L''$  on  $L'' \equiv a'' \times s''$  ja pealtvaade  $L'$  leitakse sidejoone abil sirgel  $s'$ .



Joonis 3.66. Sirge ja tasandi lõikepunkti tuletamine: a – piltkujutis; – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

### 3. Sirge ja tasandi paralleelsus.

Kui sirgjoone ja tasandi lõikepunkti leidmisel selgub, et abisirge (s.o sirget läbiva tasandi ja antud tasandi lõikesirge) on antud sirgega paralleelne või ühtib sellega, siis on sirge ja tasand kas paralleelsed või teineteisele kuuluvad. Sel juhul on rahuldatud sirgjoone ja tasandi paralleelsuse tunnus: tasandil leidub sirge, mis on paralleelne antud sirgega.

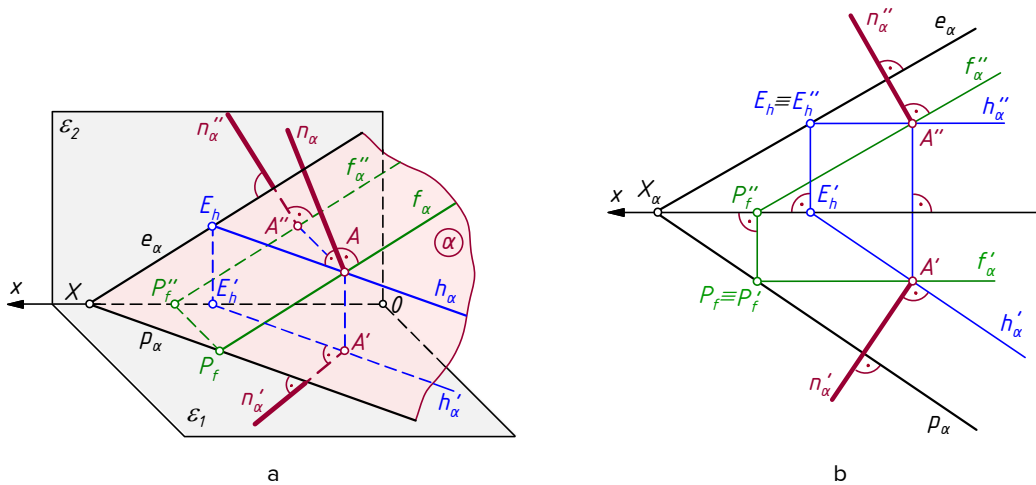
## 15.16 SIRGE JA TASANDI RISTSEIS

**Tasandi normaal** on sirge, mis on risti iga sirgega sellel tasandil, sealhulgas tasandi nivoosirgetega (horisontaalidega ja frontaalidega) (joonis 3.67).

Olgu  $h$  tasandi  $\alpha$  horisontaal,  $p$  põhijalg ja  $n$  normaal. Et  $h \perp n$  ja  $h \parallel \varepsilon_I$ , siis antud täisnurk projekteerub põhiekraanile täisnurgaks. Järelikult on  $n' \perp h'$  ja ühtlasi  $n' \perp p$ , sest  $h' \parallel p$ . Analoogselt saadakse normaali eestvaade. Et  $f \perp n$  ja  $f \parallel \varepsilon_2$ , siis see täisnurk projekteerub esiekraanile täisnurgaks. Seega on  $n'' \perp f''$  ja ühtlasi  $n'' \perp e$ , sest  $f'' \parallel e$ .

Tasandi normaali tunnus kaksvaatel.

**25. Tasandi normaali pealtvaade on risti selle tasandi horisontaali pealtvaatega, ühtlasi põhijäljega, eestvaade aga on risti tasandi frontaali eestvaatega, ühtlasi esijäljega ( $n_{\alpha}' \perp h_{\alpha}'$ , ühtlasi  $n_{\alpha}' \perp p_{\alpha}$  ja  $n_{\alpha}'' \perp f_{\alpha}''$ , ühtlasi  $n_{\alpha}'' \perp e_{\alpha}$ ).**



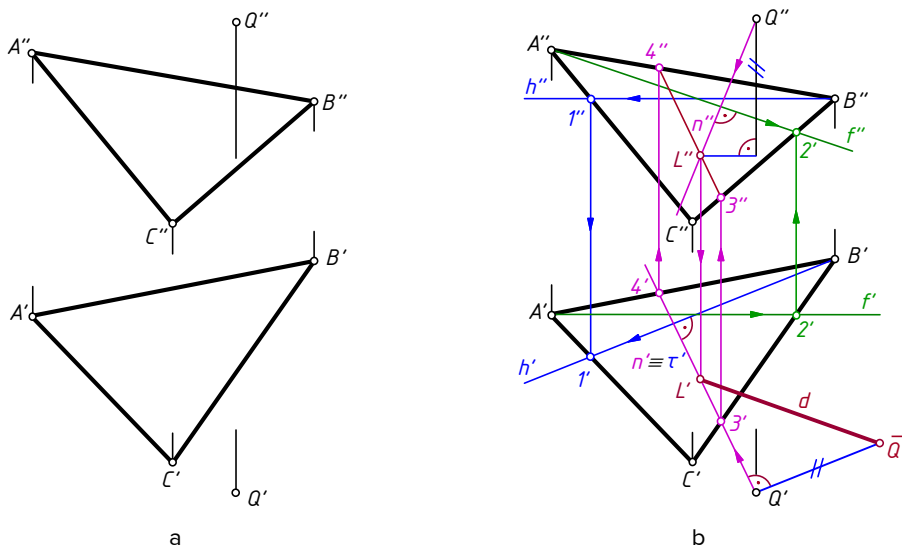
**Joonis 3.67.** Tasandi normaal: a – piltkujutis; b – kaksvaade.

Sama lause on kasutatav ka üldiselt sirge ja tasandi ristseisu tunnuseks, välja arvatud juhul, kui sirge kujutised on  $x$ -teljega risti (profiilsirge).

Kui tasand on määratud jälgedega, siis kasutatakse tasapinna horisontaali asemel põhijälge ja frontaali asemel esijälge.

Normaali kasutatakse ülesannetes, kus on tegu kauguse määramisega tasandist. Näiteks punkti kauguse saamiseks tasandist võetakse seda punkti läbiv tasandi normaal, leitakse tema lõikepunkt tasandiga ja määratakse kauguslõigu tõeline pikkus.

**Näide 3.18.** Tuletada punkti  $Q$  kaugus  $d$  tasandist  $\alpha(A, B, C)$  (joonis 3.68). Ülesande lahendamist alustatakse tasandile horisontaali  $h$  ( $h'$ ,  $h''$ ) ja frontaali  $f$  ( $f'$ ,  $f''$ ) joonestamisest. Horisontaali eestvaade  $h''$  joonestatakse näiteks läbi punkti  $B''$  ( $h'' \perp B'B''$ ) ja pealtvaade  $h'$  läbi punkti  $B'$  ( $h' \equiv B'I'$ ). Frontaali pealtvaade  $f'$  joonestatakse näiteks läbi punkti  $A'$  ( $f' \perp A'A''$ ) ja eestvaade  $f''$  läbi punkti  $A''$  ( $f'' \equiv A''2''$ ). Arvestades tasandi normaali tunnusega kaksvaatel tõmmatakse, läbi punkti  $Q$  normaali projektsioonid  $n'$  ja  $n''$  ( $n' \perp h'$ ;  $n'' \perp f''$ ).



**Joonis 3.68.** Punkti kauguse määramine tasandist: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

Edasi tuleb leida normaali  $n$  lõikepunkt  $L$  tasandiga  $\alpha$ . Selles näites on lõikepunkti tuletamiseks võetud läbi normaali abitasand  $\tau$  risti põhiekraaniga. Lahendatakse tasandite  $\alpha$  ja  $\tau$  lõikumise ülesanne. Tasandid  $\alpha$  ja  $\tau$  lõikuvad mööda sirget 34. Otsitav lõikepunkt  $L \equiv 34 \times n (L'' \equiv 3''4'' \times n'')$ . Punkti  $Q$  kaugus  $d$  tasandist  $\alpha$  võrdub lõigu  $QL$  pikkusega, mis tuletatakse täisnurkse kolmnurga võttega (vt punkt 14.5). Lõigu  $QL$  pikkus võrdub hüpotenuusi  $L'Q'$  pikkusega täisnurkses kolmnurgas, kus kaatetiteks on  $L'Q'$  ja  $Q'Q'$ .

Sama lahenduskäiku kasutatakse ka juhul kui tasand on antud jälgedega. Siis kasutatakse tasandi nivoosirgete  $(h, f)$  asemel tasandi jälgsirgeid  $(p, e)$ .

## 15.17 RISTSIRGED. RISTTASANDID

Antud sirgele ristsirget tuletada on eriti lihtne eriasendilise sirge puhul, sest sel juhul projekteerub täisnurk ühes vaates täisnurgaks. Üldasendilisele sirgele ristsirge konstrueerimisel kasutatakse antud sirge risttasandit läbi antud punkti. Sirge ja risttasandi lõikepunkt ongi otsitav ristsirgete lõikepunkt.

Antud tasapinna risttasandi tuletamiseks kasutatakse tõsiasja, et iga tasand, mis läbib antud tasandi normaali, on selle antud tasandiga risti.

## 15.18 NURGAD SIRGETE JA TASANDITE VAHEL

Sirgete ja tasandite vaheline nurk leitakse järgmise lahenduskäigu alusel:

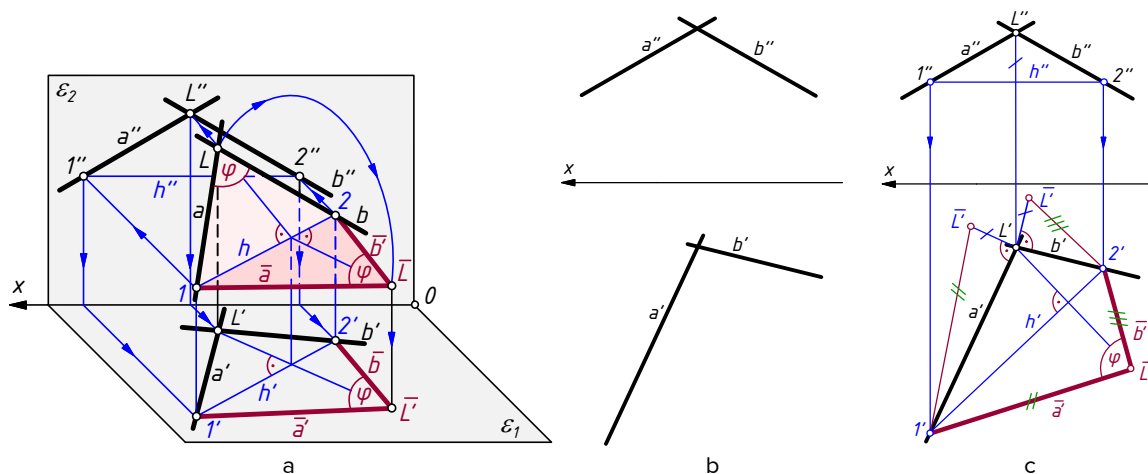
- vastavalt ülesande andmetele konstrueeritakse abikolmnurk, mille üks nurk oleks otsitav nurk;
- tuletatakse abikolmnurga tõeline kuju, kus on otsitava nurga tegelik suurus.

See lahenduskäik kehtib kahe sirge, kahe tasapinna ning sirge ja tasapinna vahelise nurga tuletamisel.

**1. Nurk kahe lõikuva sirge vahel** leitakse kolmnurga tõelisest kujust, kus kolmnurga kaheks küljeks on antud sirgete lõigud ja kolmandaks mõni neid lõikav sirglõik (soovitavalt nivoosirge).

**Näide 3.19.** Tuletada nurk  $\varphi$  kahe lõikuva sirge  $a$  ja  $b$  vahel (joonis 3.69). Abikolmnurga üheks tipuks võetakse sirgete  $a$  ja  $b$  lõikepunkt  $L$ . Kahe ülejäänud tipu 1 ja 2 määramiseks on kasutatud abisirgena horisontaali  $h$  ( $h'' \perp L'L''$ ). Saadakse nende tippude eestvaated  $1''$  ja  $2''$  ning seejärel sidejoone abil pealtvaated  $1'$  ja  $2'$ . Edasi tuletatakse kolmnurga  $12L$  tegelik kuju. Et külg  $12$  on paralleelne põhiekraaniga, siis  $12 = 1'2'$ . Külgede  $1L$  ja  $2L$  pikkused on määratud täisnurkse kolmnurga võttega (punkt 14.5). Külgede  $1L$  ja  $2L$  pikkusteks on hüpotenuusid  $1'\bar{L}'$  ja  $2'\bar{L}'$ . Külgede tegelike pikkuste abil konstrueeritakse kolmnurga  $12L$  tõeline kuju  $1'2'\bar{L}'$ , milles on otsitav nurk  $\varphi$ .

Kui otsitav nurk on **kiivsirgete vahel**, siis valitakse ühel sirgel punkt ja tõmmatakse sellest punktist paralleelsirge teise kiivsirgega. Saadakse kaks lõikuvat sirget ja leitakse eelkirjeldatud viisil nende sirgete vaheline nurk.

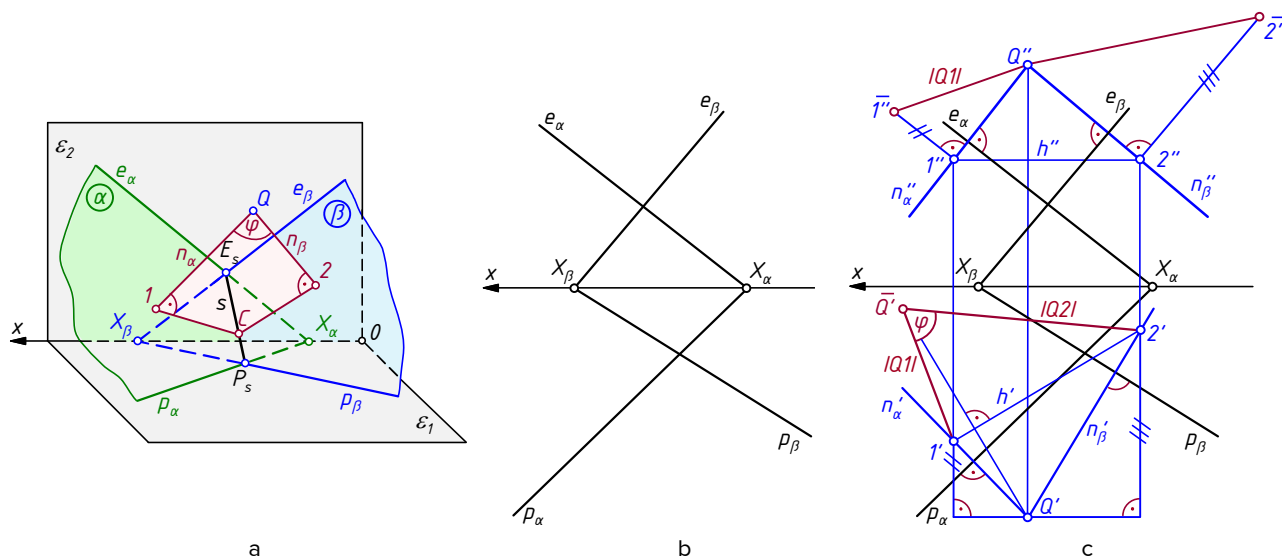


**Joonis 3.69.** Kahe sirge vahelise nurga tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

## 2. Nurk kahe tasandi vahel võrdub nurgaga nende tasandite normaalide vahel.

Ülesande lahenduskäik üldjuhul on järgmine:

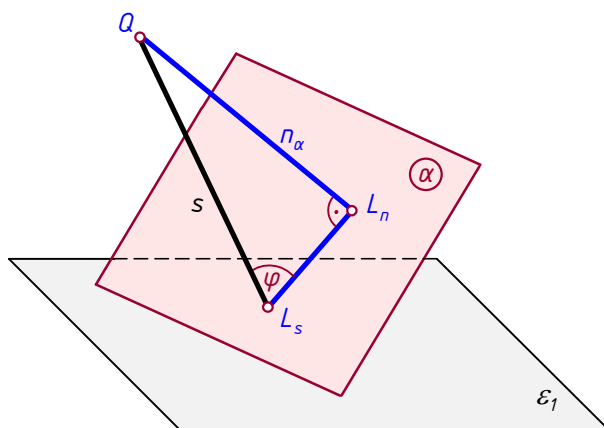
- valitakse tasandite läheduses vabalt üks ruumpunkt, millest tuletatakse mõlema tasapinna normaalid;
- normaalid on kaks lõikuvat sirget ja ülesanne taandub kahe lõikuva sirge vahelise nurga suuruse määramisele.



**Joonis 3.70.** Kahe tasandi vahelise nurga tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.20.** Tasandid  $\alpha$  ja  $\beta$  on antud oma jälgedega (joonis 3.70). Tuletada nende tasandite vaheline nurk  $\varphi$ . Vabalt valitud ruumpunktist  $Q$  joonestatakse tasandite  $\alpha$  ja  $\beta$  normaalide kaksvaated ( $n_{\alpha}' \perp p_{\alpha}$ ,  $n_{\alpha}'' \perp e_{\alpha}$  ja  $n_{\beta}' \perp p_{\beta}$ ,  $n_{\beta}'' \perp e_{\beta}$ ). Saadakse kahe lõikuva sirge (normaali) kaksvaade. Abikolmnurga üheks tipuks võetakse normaalide  $n_{\alpha}$  ja  $n_{\beta}$  lõikepunkt  $Q$ . Ülejäänud kahe tipu 1 ja 2 määramiseks on kasutatud abisirgena horisontaali  $h$ . Edasi tuletatakse kolmnurga  $12Q$  külgede pikkused. Et külg  $12$  on paralleelne põhiekraaniga, siis  $12 = 1'2'$ . Külgede  $1Q$  ja  $2Q$  pikkused on määratud täisnurkse kolmnurga võttega (punkt 15.5). Külgede  $1Q$  ja  $2Q$  pikkusteks on hüpotenuusid  $1'Q'$  ja  $2'Q'$ . Külgede tõeliste pikkuste abil konstrueeritakse kolmnurga  $12L$  tõeline kuju  $1'2'Q'$ , milles on otsitav nurk  $\varphi$ .

**3. Nurk sirge ja tasandi vahel** on nurk selle sirge ja tema ristprojektsiooni vahel sellel tasapinnal. On antud sirge  $s$  ja tasand  $\alpha$  (joonis 3.71). Nendevahelise nurga  $\varphi$  leidmiseks valitakse antud sirgel vabalt üks punkt ( $Q$ ) ning joonestatakse sellest tasapinna  $\alpha$  normaal  $n_{\alpha}$ . Seejärel tuletatakse antud sirge  $s$  ja tasapinna  $\alpha$  lõikepunkt ( $L_s$ ) ning normaali ja tasapinna lõikepunkt ( $L_n$ ). Punktidega  $L_s$  ja  $L_n$  on määratud antud sirge ristprojektsioon tasapinnal  $\alpha$ . Konstrueeritakse kolmnurga  $QL_sL_n$  tõeline kuju ning leitakse sealt nurga  $\varphi$  tegelik suurus.



**Joonis 3.71.** Nurk sirge ja tasandi vahel (piltkujutis).

## 16 LISAPROJEKTSIOONID

### 16.1 LISAPROJEKTSIOONIDE TULETAMISE VIISID

Üldasendilised objektid projekteeruvad ekraanidele tõelise kujust ja suurusest erinevatena, s.t kuju ja mõõdud on moonutatud. Antud projektsioonide järgi ei saa objektist õiget kujutlust, kuid tehnilised joonised peavad määrama objektide tõelise suuruse ja kuju. Projektsiooni kuju sõltub objekti, ekraani ja kujutamiskiirte vastastikusest asendist. Objekti eriasend ekraani ja kiirte suhtes võimaldab saada lihtsama kujutise ning soodustab objekti mõõtmist kujutise järgi. Seevastu objekti üldisem asend ekraani ja kujutamiskiirte suhtes suurendab kujutise piltlikkust. Üldasendiliste elementidega antud ülesande lihtsamaks lahendamiseks või objektist piltlikuma kujutise saamiseks võib antud projektsioonide järgi tuletada lisaprojektsioone.

Praktikas kasutatavad lisaprojektsioonide tuletamise võtted on

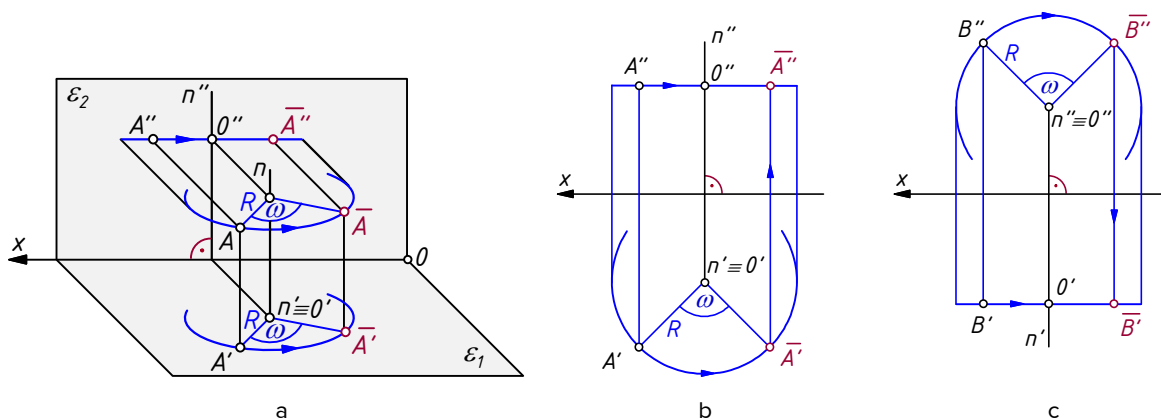
- **objekti pööramise võtte.** Muudetakse objekti asendit, ekraan ja projekteerimiskiired jäävad paigale. Objekt pööratakse ümber sobiliku telje vajalikku asendisse;
- **lisaekraani võtte.** Muudetakse ekraani ja kujutamiskiirte asendit, objekt jääb paigale. Seda võtet kasutatakse peamiselt uute ristprojektsioonide tuletamiseks kaksvaate järgi;
- **uute kujutamiskiirte võtte.** Objekti ja ekraani vastastikune asend jäetakse muutmata, muudetakse kujutamiskiirte sihti. Selle võtte korral asendatakse ekraaniga risti olevad kujutamiskiired kald- või tsentraalkiirtega.

### 16.2 OBJEKTI PÖÖRAMISE VÕTE

Objekti pööramisel võetakse harilikult pöördteljeks ekraani normaal või nivoosirge, sh jäljed. Nimetatud võtteid rakendatakse asendi- ja mõõtmisülesannete lahendamisel, näiteks kauguste, nurkade, tasapinnaliste kujundite tõelise kuju tuletamisel. Pööramisega uude asendisse viidud geomeetrilist elementi nimetatakse selle elemendi **pöörendiks**. Tähistamiseks joonestatakse kriips tähise peale (näiteks  $\bar{A}$ ).

**1. Objekti pööramine ümber ekraani normaali.** Objekt koosneb paljudest punktidest. Et pöörata mingit objekti uude asendisse, peab oskama pöörata uude asendisse ühte punkti. Objekti pööramine toimub punkthaaval paljude punktide pööramisega.

Joonisel 3.72.a ja b on punkt  $A$  ( $A'$ ,  $A''$ ) pööratud ümber põhiekraani normaali  $n$  nurga  $\omega$  võrra, ning tuletatud punkti  $A$  pöörendile  $\bar{A}$  vastav uus kaksvaade. Pööramisel liigub punkt ruumis mööda ringjoont, mis on paralleelne põhiekraaniga  $\varepsilon_1$  ja risti esiekraaniga  $\varepsilon_2$ . Pealtvaatel projekteerub see ringjoon ringjooneks ja esiekraanile sirgjooneks, mis on paralleelne  $x$ -teljega. Pealtvaatel liigub punkt mööda ringjoont ümber normaali pealtvaate  $n'$ . Selle ringjoone keskpunkt  $O$  on pöördteljel, raadiuseks  $R$  on punkti  $A$  kaugus pöördteljest. Kõigepealt saadakse pealtvaatel punkti  $A$  pealtvaade  $A'$ , seejärel eestvaatel sidejoone abil  $\bar{A}''$ .



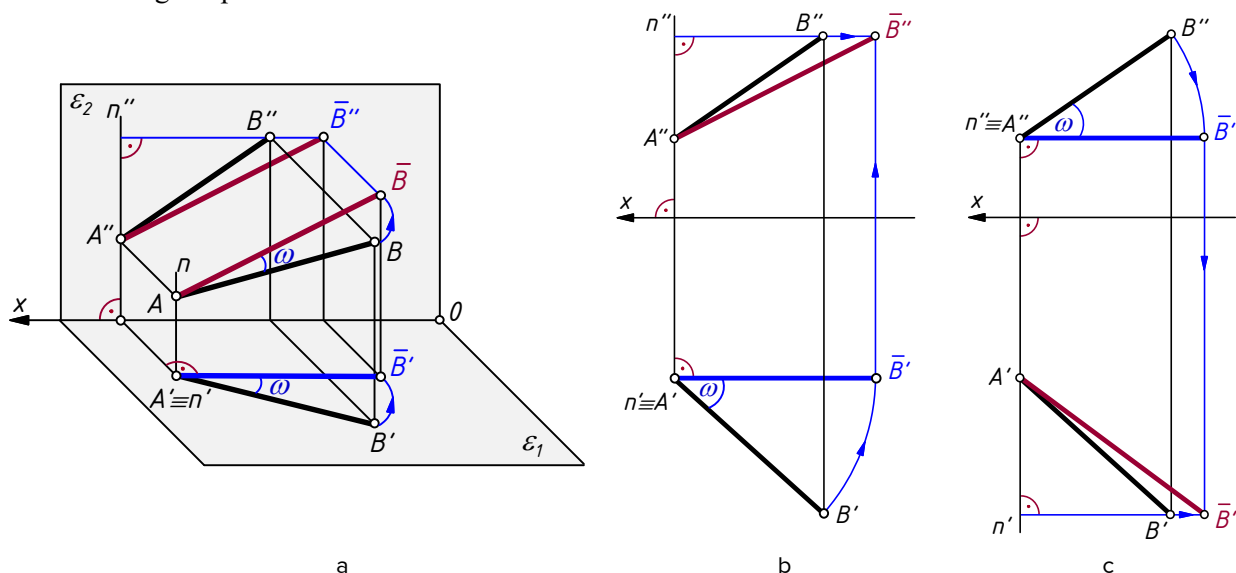
**Joonis 3.72.** Punkti pööramine ümber ekraani normaali: a – ümber põhiekraani normaali pööramise piltkujutis; b – kaksvaatel; c – pööramine ümber esiekraani normaali kaksvaatel.

Analoogselt võib pöörata punkti ümber esiekraani  $\varepsilon_2$  normaali  $n$  (joonis 3.72.c). Eestvaatel liigub punkt mööda ringjoont ümber  $n''$ , pealtvaatel aga mööda sirget, mis on paralleelne  $x$ -teljega. Pöörates punkti  $B$  mööda kaart nurga  $\omega$  võrra, saadakse punkt  $\bar{B}''$ . Sidejoone abil tuletatakse punkti pealtvaade  $\bar{B}'$ .

Rohkem kui ühest punktist koosneva objekti korral pöörduvad kõik punktid sama nurga võrra. Tähtis on teada, et objekti ristprojektsioon sellel ekraanil, millega pöördtelg on risti, muudab pööramisel vaid oma asendit, jäädes iseendaga kongruentseks. Objekti projektsioonid muudel ekraanidel aga muutuvad pööramisel ka kuju poolest.

**Näide 3.21.** Tuletada üldasendilise lõigu  $AB$  pikkus, kasutades pööramist ümber ekraani normaali (joonis 3.73). Üks võimalus üldasendilise sirglõigu tegeliku pikkuse tuletamiseks on sirglõigu pööramine paralleelseks ühe ekraaniga. Nii saadakse sirglõigust uus projektsioon, mis võrdub selle tegeliku pikkusega. Otstarbekas on võtta pöörlemistelg läbi sirglõigu ühe otspunkti. See lihtsustab ülesande lahendamist, sest see punkt jääb paigale ja tuleb pöörata ainult üht punkti.

Joonisel 3.73.a ja b on sirglõik pööratud ümber põhiekraani normaali  $n$  ( $n \perp \varepsilon_1$ ). Pöörates sirglõigu  $AB$  paralleelseks esiekraaniga, tuletatakse tema uus projektsioon sellel ekraanil. Uus projektsioon on võrdne lõigu  $AB$  tegeliku pikkusega. Pöörlemisteljeks on valitud punkti  $A$  läbiv põhiekraani normaal ( $n' \equiv A'$ ;  $n'' \supset A''$ ;  $n'' \perp x$ ). Pööramisel jääb punkt  $A$  paigale, punkt  $B$  liigub mööda ringjoont. Pöördenurk  $\omega$  on määratud sellega, et pööratud lõigu pealtvaade peab saama paralleelseks  $x$ -teljega ( $A'\bar{B}' \parallel x$ ). Tuletades sidejoone abil punkti  $B$  eestvaate  $\bar{B}''$  pöörderingjoone eestvaatelt, saadakse lõigu  $AB$  uueks eestvaateks  $A'\bar{B}'$ . Uus eestvaade ongi tuletatav  $AB$  tegelik pikkus.



**Joonis 3.73.** Sirglõigu pikkuse tuletamine pööramisega ümber ekraani normaali: a – ümber põhiekraani normaali pööramise piltkujutis; b – kaksvaatel; c – pööramine ümber esiekraani normaali kaksvaatel.

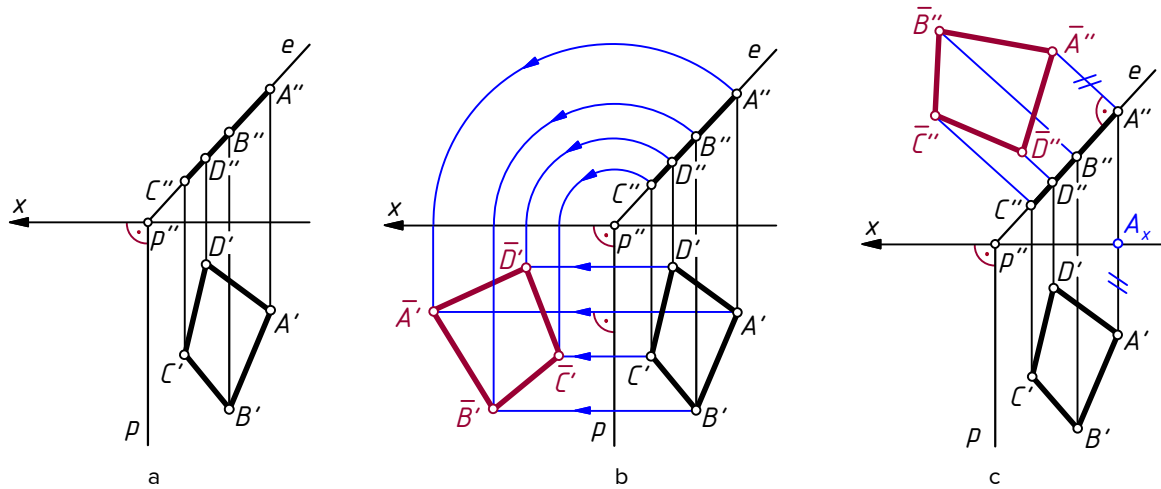
Joonisel 3.73.c on pöördetelg  $n$  võetud läbi punkti  $A$  risti esiekraaniga ( $n' \equiv A'$ ;  $n'' \supset A''$ ;  $n'' \perp x$ ). Lõik  $AB$  on pööratud horisontaalseks ( $A'\bar{B}' \parallel x$ ). Seejärel on tuletatud lõigu uus pealtvaade  $A'\bar{B}'$ , mis annab lõigu  $AB$  tegeliku pikkuse.

**2. Tasandi pööramine ümber jälje.** Tasandi pööramist ümber jälje kasutatakse tasandiliste kujundite tõelise kuju saamiseks. Kui jälgsirged puuduvad, teostatakse analoogiline pööramine ümber tasandi nivoo-sirge, mille võib vabalt valida. Erinevus seisneb selles, et esimesel juhul pööratakse tasand ekraaniga ühtima, teisel juhul aga ekraaniga paralleelseks.

Tasandit on lihtne pöörata **eriasendilise tasandiga**. Kui pöörata tasand temaga risti asetsevale ekraanile, on pöördeteljeks tasandi joonkujutis ( $t \equiv \alpha' \equiv p$  või  $t \equiv \alpha'' \equiv e$ ) ja tasandi punktide pöörendid märgitakse telje ristsirgetel nende vastavate kvootide kaugusele. Vajalikku kvooti näitab punkti kujutise kaugus kaksvaate teljest teisel ekraanil.

**Näide 3.22.** On antud esiekraani ristsandil  $\alpha(p, e)$  asetsev nelinurk  $ABCD$  (joonis 3.74). On vaja tuletada nelinurga tõeline kuju.

Joonisel 3.74.b on nelinurk pööratud ümber põhijälje  $p$  põhiekraanile. Punkti  $A$  kaugus põhijäljest  $p$  võrdub lõigu pikkusega  $Ap''$ . See pikkus kantakse põhijälje  $p$  ristsirgele, mis joonestatakse punktist  $A'$ , ja saadakse punkti  $A$  pöörend  $\bar{A}'$ . Leides analoogselt teiste tippude pöörendid, saadakse nelinurga  $ABCD$  tõeline kuju.

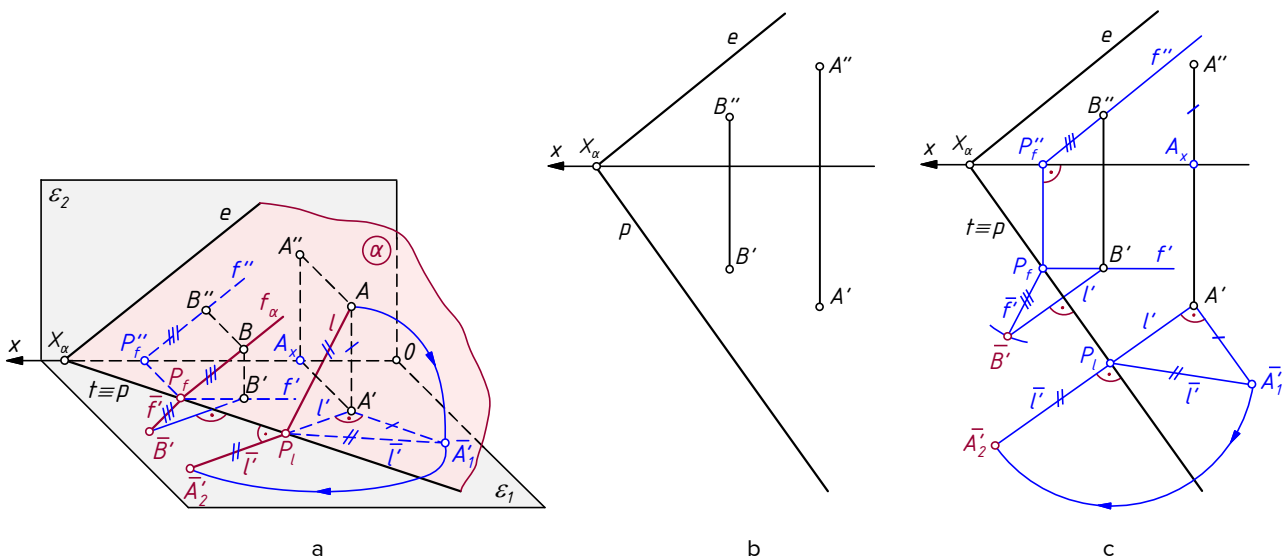


**Joonis 3.74.** Kujundi pööramine ümber tasandi jälje: a – lähteandmed; b – pööramine ümber põhijälje  $p$  põhiekraanile; c – pööramine ümber esijälje  $e$  esiekraanile.

Joonisel 3.74.c on nelinurk pööratud ümber esijälje  $e$  esiekraanile. Selles variandis tippude kaugused pöördteljest  $e$  on võrdsed tippude kaugustega esiekraanist. Need kaugused kantakse esijälje ristsirgetele ( $A''\bar{A}'' = A'A_x$ ), mis on tõmmatud punktide eestvaadetelt. Tulemuseks on nelinurga  $ABCD$  tõeline kuju.

**Üldasendilise tasandi** korral tuleb punkti kaugus jäljest tuletada lisakonstruktsiooni abil. Tasandi punkti pöörend tuletatakse kas punktist tõmmatud langusjoone või nivoosirge lõigu abil (joonis 3.75).

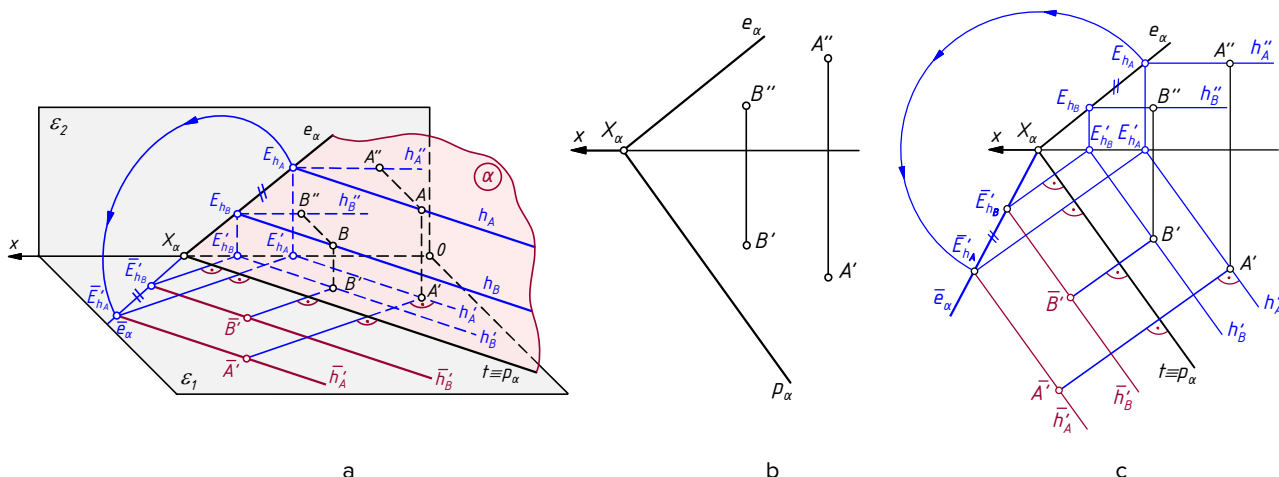
Punkt  $A$  on pööratud ümber põhijälje  $p$ , kasutades põhilangusjoont  $l$ . Punkti  $A$  pööramiseks ümber põhijälje tuleb leida punkti  $A$  kaugus tasandi põhijäljest  $p$ , mille annab punktist  $A$  tõmmatud põhilangusjoone  $l$  pikkus. Punkti  $A$  pealtvaatelt  $A'$  tõmmatakse põhilangusjoone  $l$  pealtvaade  $l'$  risti põhijäljega  $p$ . Konstrueeritakse täisnurkne kolmnurk, kus üheks kaatetiks on põhilangusjoone pealtvaate pikkus  $l$  ja teiseks kaatetiks punkti  $A$  põhikvoodi väärtus ( $A'\bar{A}_1' = A_xA''$ ). Saadud täisnurkse kolmnurga hüpotenuus ongi põhilangusjoone  $l$  pikkus. Leitud lõigu pikkus pööratakse ümber punkti  $P_l$  põhijälje ristsirgele, saadud punkt on punkti  $A$  pöörend  $\bar{A}_2'$ .



**Joonis 3.75.** Punkti pööramine ümber põhijälje põhiekraanile: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

Punkt  $B$  on pööratud ümber põhijälje  $p$ , kasutades läbi punkti  $B$  tõmmatud tasandi frontaali  $f$ . Läbi punkti  $B$  joonestatakse frontaali  $f$  kaksvaade, arvestades frontaali tunnust kaksvaatel ( $f' \parallel x$  ja  $f'' \parallel e$ ). Et sirglõik  $B'P_f$  on paralleelne esiekraaniga, siis eestvaatel projekteerub see tõelises pikkuses. Lõigu  $P_f''B''$  pikkus kantakse sirklivõttega punktist  $P_f$  põhijälje ristsirgele, mis tõmmatakse punktist  $B'$ . Saadud punkt on punkti  $B$  pöörend  $\bar{B}'$ .

Kui on vaja pöörata palju punkte, võib pöörendide tuletamiseks kasutada neid punkte läbivaid nivoo-sirgeid. Nivoosirgete pöörendid leitakse jälgpunktide kaudu, kasutades joonte paralleelsust. Joonisel 3.76 on tuletatud punktide pöörendid tasandi horisontaalide abil. Läbi punkti  $A$  joonestatakse horisontaali  $h$  kaksvaade, arvestades horisontaali tunnust kaksvaatel ( $h_A' \parallel p$  ja  $h_A'' \parallel x$ ). Esiekraanile saadakse täisnurkne kolmnurk  $X_\alpha E_{hA} E_{hA}'$ .



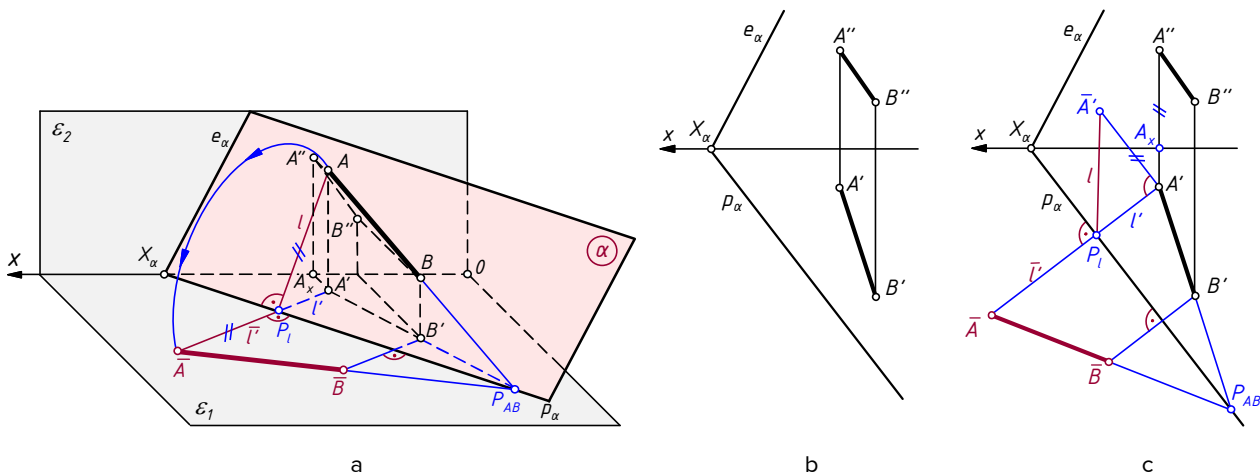
**Joonis 3.76.** Punkti pööramine ümber põhijälje põhiekraanile: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

Kasutades selle kolmnurga hüpotenuusi  $X_\alpha E_{hA}$ , tuletatakse horisontaali  $h_A$  esijälje pöörend  $\bar{E}_{hA}'$ , millega on määratud tasandi esijälje  $e_\alpha$  pöörend  $\bar{e}_\alpha$ . Selleks kantakse lõigu  $X_\alpha E_{hA}$  pikkus sirklivõttega punktist  $X_\alpha$  kuni lõikumiseni tasandi põhijäljele ristsirgele, mis tõmmatakse punktist  $E_{hA}'$ . Horisontaali  $h_A$  esijälje pöörendist  $\bar{E}_{hA}'$  joonestatakse horisontaali pöörend  $\bar{h}_A'$  paralleelselt tasandi põhijäljega  $p_\alpha$ . Leitud horisontaali pöörend määrab punkti  $A$  kauguse tasandi  $\alpha$  põhijäljest  $p_\alpha$ . Analoogselt tuletatakse punkti  $B$  pöörend  $\bar{B}'$ .

Horisontaalide abil tuletatud punktide pöörendeid põhiekraanil võib tuletada ka, kasutades punkte läbivaid frontaale.

Praktikas saab tasandi punktide pöörendeid leida ka mis tahes asendis kahte punkti ühendava sirge vahendusel, kui selle sirge jälgpunkt asub joonise piires.

**Näide 3.23.** Joonisel 3.77 on näidatud tasandi pööramine sirge  $AB$  kaudu, kasutades paigale jäävat sirge jälgpunkti  $P_{AB}$ . Kõigepealt tuletatakse punkti  $A$  pöörend  $\bar{A}'$ . Punkti  $A$  pöörendi saamiseks leitakse tema kaugus tasandi  $\alpha$  põhijäljest  $p_\alpha$  põhilangusjoone  $l$  abil. Punktist  $A'$  tõmmatakse ristsirge tasandi põhijäljele ( $l' = A'P_l$ ). Põhilangusjoone pikkus leitakse hüpotenuusina  $P_l \bar{A}'$  täisnurses kolmnurgas, kus üheks kaatetik on  $A'P_l$  ja teiseks kaatetik punkti  $A$  põhikvoodi väärtus ( $A'\bar{A}_l' = A_x A''$ ). Kandes lõigu pikkuse  $P_l \bar{A}'$  punktist  $P_l$  põhijälje ristsirgele, saadakse punkti  $A$  pöörend  $\bar{A}$ . Analoogselt võiks tuletada punkti  $B$  pöörendi  $\bar{B}$ . Selles näites on kasutatud asjaolu, et tasandi pööramisel jäävad põhijäljel jälgpunktid paigale. Esmalt leitakse sirgjoone  $AB$  põhijälgpunkt  $P_{AB}$  ( $P_{AB} = A'B' \times p_\alpha$ ). Põhijälgpunktist tõmmatakse sirge punkti  $\bar{A}$ . Joonestades punktist  $B'$  ristsirge tasandi põhijäljele, saadakse punkti  $B$  pöörend  $\bar{B}$ .



**Joonis 3.77.** Tasandi pööramine ümber põhijälje põhiekraanile: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

## 16.3 LISAEKRAANI VÕTE

Lisaekraani võtte kasutamisel tuletatakse objekti antud kaksvaate järgi selle objekti ristprojektsioon uuel ekraanil (lisaekraanil) või ekraanidel, mis on seatud sobivasse asendisse paigale jääva objekti suhtes. Eesmärk on näha mõnda antud sirget või tasandit lisaekraani suhtes eriasendis (risti või paralleelselt). Harilikult piisab ülesande lahendamiseks ühest lisaekraanist, kuid esineb ülesandeid, kus on vajalik kasutada mitut järjestikku lisaekraani.

Lisaekraan võetakse risti ühe ekraaniga. Kui kaks antud ekraani ja lisatud lisaekraan pöörata kõik ühele tasandile, tekib **üldistatud kolmvaade**. Lisaekraani valikuks üldistatud kolmvaates on kaks võimalust:

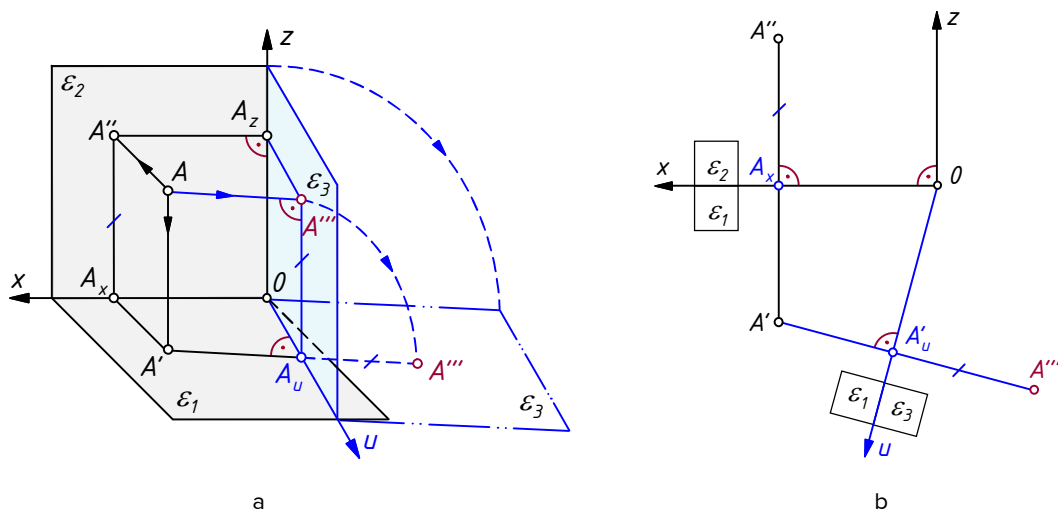
- lisaekraan risti põhiekraaniga ( $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2$ ;  $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_3$ ;  $\varepsilon_2 \nparallel \varepsilon_3$ );
- lisaekraan risti esiekraaniga ( $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2$ ;  $\varepsilon_2 \perp \varepsilon_3$ ;  $\varepsilon_1 \nparallel \varepsilon_3$ ).

Harilikust kolmvaatest erineb üldistatud kolmvaade selle poolest, et uus ekraan on risti ainult ühe ekraaniga. Seega harilik kolmvaade on üldistatud kolmvaade erijuhtum, milles  $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2 \perp \varepsilon_3$  ja  $x \perp y \perp z$ .

**1. Punkti projekteerimine lisaekraanile.** On antud ruumpunkt  $A$  ja lisaekraan  $\varepsilon_3$  (uus ekraan), mis on risti põhiekraaniga (joonis 4.78.a). Ekraanide  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_3$  lõikesirge on uus telg  $u$ . Võttes läbi punkti  $A$  projekteeriva kiire risti ekraaniga  $\varepsilon_3$ , saadakse punkti  $A$  uus vaade  $A'''$ . Punkti  $A'''$  kaugus teljest  $u$  võrdub punkti  $A$  kaugusega põhiekraanist:  $A_u A''' = A' A = A_x A''$ . Pöörates ekraani  $\varepsilon_3$  ümber telje  $u$  põhiekraanile, satub punkt  $A'''$  uuele sidejoonele, mis on risti teljega  $u$ , saades punkti  $A$  uue kaksvaate ( $A', A'''$ ).

Joonisel 3.78.b on näidatud punkti  $A$  üldistatud kolmvaate saamine. On antud punkti  $A$  kaksvaade ( $A', A''$ ) ja uue ekraani asukoht on määratud teljega  $u$ . Tuleb leida punkti  $A$  uus vaade  $A'''$ . Punktist  $A'$  tõmmatakse sidejoon risti teljega  $u$  ja sellele kantakse teljest  $u$  punkti  $A$  põhikvoot ( $A_u A''' = A_x A''$ ). Nii saadud uus vaade  $A'''$  moodustab koos pealtvaatega uue kaksvaate.

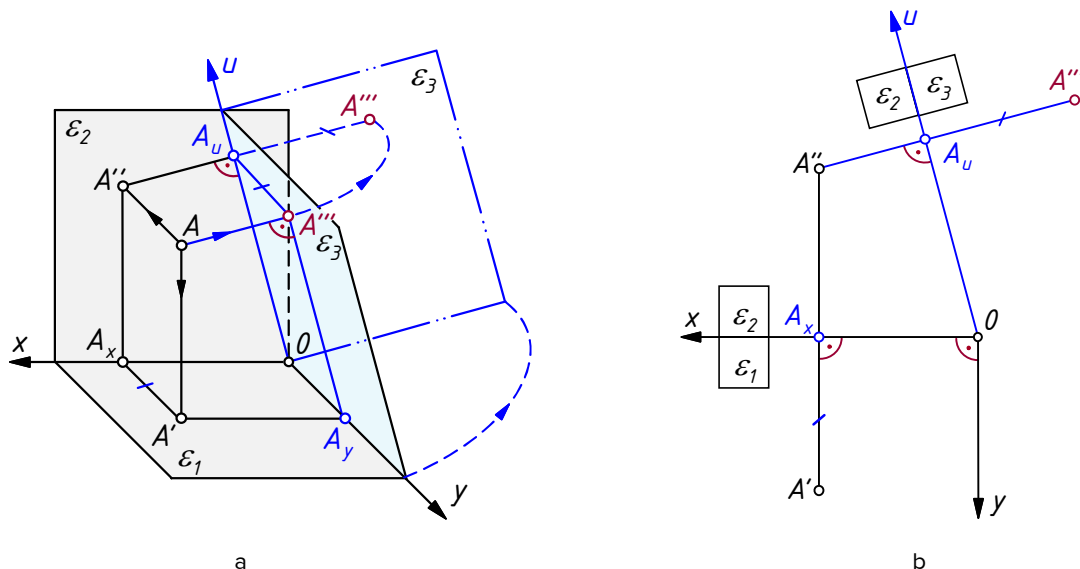
Soovitav on lisaekraan valida selliselt, et projektsioonid tuleksid teine teisele poole telge. Telgede  $x$  ja  $u$  juurde on soovitatav kirjutada ekraanide tähised. Lisaekraani  $\varepsilon_3$  tähis kirjutatakse teljest  $u$  sinnapoole, kuhu on ekraan pööratud.



**Joonis 3.78.** Ruumpunkti  $A$  projekteerimine lisaekraanile  $\varepsilon_3$ , kui  $\varepsilon_3 \perp \varepsilon_1$ . a – piltkujutis; b – üldistatud kolmvaade.

Kui uus ekraan  $\varepsilon_3$ , on võetud risti esiekraaniga, siis uus telg  $u$  on ekraanide  $\varepsilon_2$  ja  $\varepsilon_3$  lõikesirge (joonis 3.79.a). Punkti  $A'''$  kaugus teljest  $u$  võrdub nüüd punkti  $A$  kaugusega esiekraanist:  $A_u A''' = A'' A = A_x A'$ . Pöörates ekraani  $\varepsilon_3$  ümber telje  $u$  esiekraanile, satub punkt  $A'''$  uuele sidejoonele, mis on risti teljega  $u$ , saades punkti  $A$  uue kaksvaate ( $A'', A'''$ ).

Joonisel 3.79.b on näidatud punkti  $A$  üldistatud kolmvaate saamine. On antud punkti  $A$  kaksvaade ( $A', A''$ ) ja uue ekraani asukoht on määratud teljega  $u$ . Tuleb leida punkti  $A$  uus vaade  $A'''$ . Punktist  $A''$  tõmmatakse sidejoon risti teljega  $u$  ja sellele kantakse teljest  $u$  punkti  $A$  esikvoot ( $A_u A''' = A_x A'$ ). Nii saadud uus vaade  $A'''$  moodustab koos pealtvaatega uue kaksvaate.

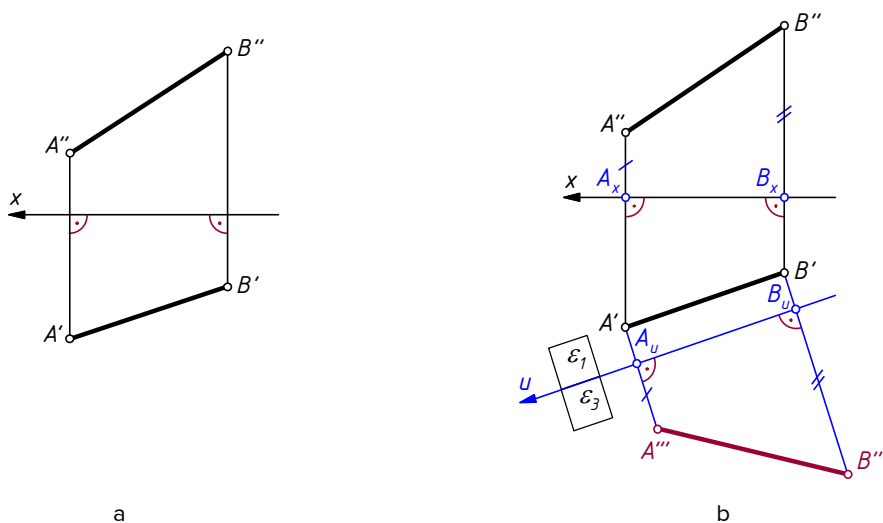


**Joonis 3.79.** Ruumpunkti  $A$  projekteerimine lisaekraanile  $\varepsilon_3$ , kui  $\varepsilon_3 \perp \varepsilon_2$ . a – piltkujutis; b – üldistatud kolmvaade.

**2. Sirgjoone muutmine eriasendiliseks.** Üldasendiline sirge muutub nivoosirgeks lisaekraani suhtes, kui lisaekraani telg  $u$  võtta paralleelsena antud sirgiga ( $u \parallel s'$  või  $u \parallel s''$ ).

**Näide 3.24.** Leida kaksvaatega antud üldasendilise sirglõigu  $AB$  pikkus, kasutades lisaekraani (joonis 3.80). Uus ekraan  $\varepsilon_3$  asetatakse paralleelselt lõiguga  $AB$  ja risti ühe antud ekraaniga (siin näites põhiekraaniga  $\varepsilon_1$ ). Sel juhul projekteerub see lõik uuele ekraanile moondevabalt. Et lõik oleks paralleelne ekraaniga  $\varepsilon_3$ , joonestatakse uus telg  $u$  paralleelselt lõigu  $AB$  pealtvaatega  $A'B'$ . Telje  $u$  kauguse pealtvaatest võib valida

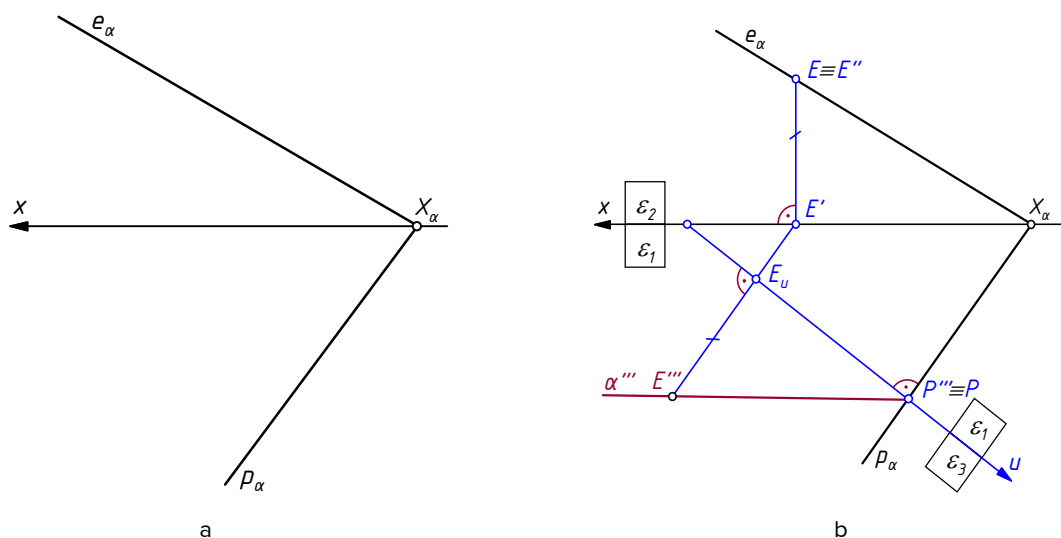
vabalt. Edasi tõmmatakse punktide  $A'$  ja  $B'$  sidejooned risti teljega  $u$  ning kantakse neile punktide  $A$  ja  $B$  põhikvoodid ( $A_u A''' = A_x A''$  ja  $B_u B''' = B_x B''$ ). Saadud lõigu  $AB$  uus projektsioon  $A'''B'''$  on võrdne lõigu  $AB$  tegeliku pikkusega.



**Joonis 3.80.** Üldasendilise sirglõigu pikkuse tuletamine lisaekraani abil: a – lähteandmed; b – lahendus.

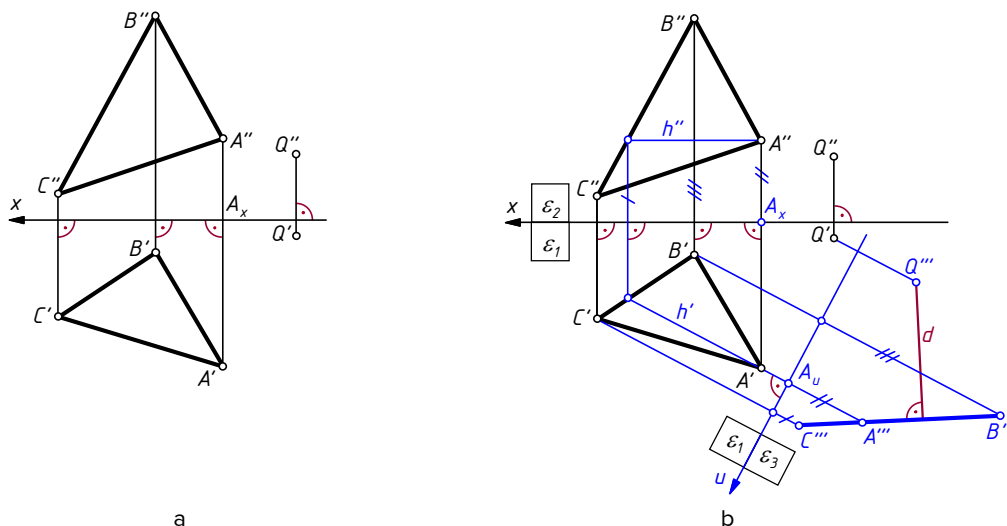
**3. Tasandi muutmine ekraani risttasandiks.** Kui tasand on risti ühe ekraaniga, lahenduvad paljud ruumigeomeetriselised ülesanded Monge meetodiga väga lihtsalt. Üldasendiline tasand muutub projekteerivaks tasandiks lisaekraani suhtes siis, kui lisaekraan võetakse risti selle tasandi ühe jälg- või nivoosirgega ( $u \perp p$  või  $u \perp e$ ;  $u \perp h'$  või  $u \perp f''$ ).

**Näide 3.25.** Antud on üldasendiline tasand  $\alpha(p, e)$ . Tuletada tasandi  $\alpha$  uus projektsioon (joonis 3.81). Uus ekraan peab olema risti tasandiga  $\alpha$  ( $\varepsilon_3 \perp \alpha$ ) ja risti ühe ekraaniga  $\varepsilon_3 \perp \varepsilon_1$  (näites põhiekraaniga). Uus telg  $u$  tuleb joonestada risti põhijäljega  $p$  ( $u \perp p$ ). Tasand  $\alpha$  projekteerub sellistel tingimustel lisaekraanile sirgjooneks. Selle sirge tuletamiseks on vaja selle sirge kahte punkti. Üheks punktiks võetakse  $p$  ja  $u$  lõikepunkt  $P$  ( $P''' \equiv P$ ) ja teiseks punktiks tasandi esijäljel punkt  $E$  ( $E \equiv E''$ ). Sidejoone abil tuletatakse punkt  $E'$   $x$ -teljel. Punktist  $E'$  tõmmatakse uus sidejoon risti teljega  $u$  ja sellele kantakse punkti  $E$  põhikvoot teljest  $u$  ( $E'E_u \perp u$ ;  $E_u E''' = E'E$ ). Tasandi  $\alpha$  uueks projektsiooniks saadakse sirge  $\alpha''' \equiv P'''E'''$ .



**Joonis 3.81.** Üldasendilise tasandi muutmine lisaekraani risttasandiks: a – lähteandmed; b – lahendus.

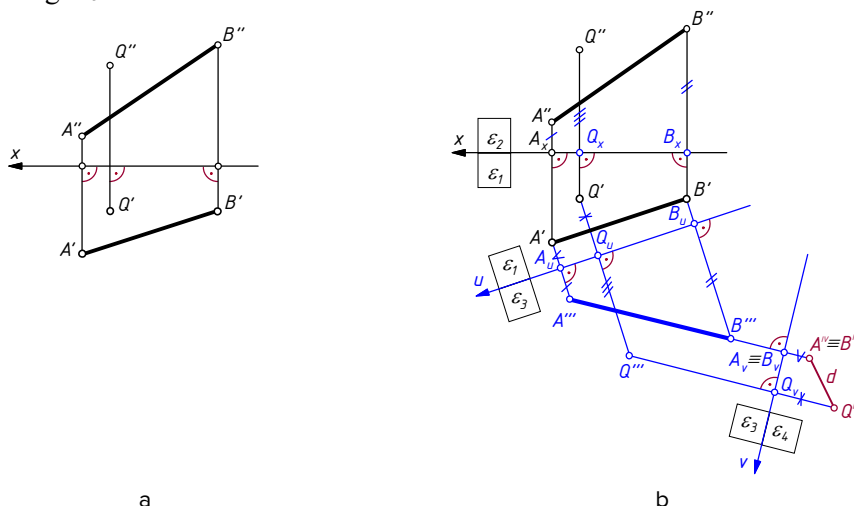
**Näide 3.26.** Antud on punkt  $Q$  ja üldasendiline tasand  $\alpha(A, B, C)$ . Tuletada punkti  $Q$  kaugus tasandist  $\alpha$  lisaekraani abil (joonis 3.82). Et näidata punkti  $Q$  kaust tasandist  $\alpha$ , peab tasand projekteeruma lisaekraanile sirgena. Lisaekraan tuleb võtta risti tasandiga  $\alpha$ . Kõigepealt joonestatakse tasandile nivoosirge. Siin näites joonestati horisontaali  $h$  eestvaade  $h''$  läbi punkti  $A$  ( $h'' \parallel x$ ) ja tuletati horisontaali pealtvaade  $h'$ . Pealtvaatel võetakse uus ekraan  $\varepsilon_3$  risti horisontaaliga ja joonestatakse uus telg  $u$  ( $u \perp h'$ ). Seejärel tuletatakse tasandi  $\alpha$  ja punkti  $Q$  uued projektsioonid ekraanile  $\varepsilon_3$ . Sidejoontele kantakse punktide põhikvoodi väärtused teljest  $u$  (näiteks punkti  $A'''$  saamiseks  $A_u A''' = A_x A''$ ). Tasandi  $\alpha$  uueks projektsiooniks ekraanil  $\varepsilon_3$  saadakse sirge  $\alpha'''$  ( $\alpha''' = A'''B'''C'''$ ). Punkti  $Q$  kaugust  $d$  tasandist  $\alpha$  näitab punktist  $Q'''$  joonestatud ristsirge tasandi projektsiooni  $\alpha'''$  suhtes.



**Joonis 3.82.** Punkti kauguse tuletamine üldasendilisest tasandist lisaekraani abil: a – lähteandmed; b – lahendus.

**4. Sirge muutmine ekraani normaaliks.** Nivoosirge muutub projekteerivaks sirgeks lisaekraani suhtes, mis on võetud risti antud sirgega ( $u \perp h'$  või  $u \perp f''$ ).

**Näide 3.27.** On antud üldasendiline sirge  $AB$  ja punkt  $Q$  kaksvaatel (joonis 3.83). Tuletada punkti  $Q$  kaugus sirgest  $AB$ . Otsitav lõik, mis näitab punkti  $Q$  kaugust, projekteerub tõelises pikkuses sirgega  $AB$  risti olevale ekraanile. Et sirge on üldasendiline, siis ühe lisaekraaniga me seda ristasandit ei saa. Selles ülesandes tuleb kasutada kahte lisaekraani järjestikku. Esimene lisaekraan  $\varepsilon_3$  võetakse paralleelselt sirgega  $AB$  ja risti põhiekraaniga (võiks võtta ka risti  $\varepsilon_2$ ). Seega siin näites tõmmatakse uus telg  $u$  paralleelselt sirge pealtvaatega  $A'B'$ . Edasi tuletatakse sirge  $AB$  ja punkti  $Q$  uued projektsioonid  $A'''B'''$  ja  $Q'''$  ( $A_u A''' = A_x A''$ ;  $B_u B''' = B_x B''$ ;  $Q_u Q''' = Q_x Q''$ ). Et sirge  $AB$  on nüüd paralleelne ekraaniga  $\varepsilon_3$ , saab teise lisaekraani  $\varepsilon_4$  asetada risti sirgega  $AB$  ja ühtlasi risti ekraaniga  $\varepsilon_3$ .



**Joonis 3.83.** Punkti kauguse tuletamine üldasendilisest sirgest lisaekraani abil: a – lähteandmed; b – lahendus.

Teine uus telg  $v$  joonestatakse risti sirge  $AB$  projektsiooniga  $A'''B'''$ . Punktide  $A$ ,  $B$  ja  $Q$  uute projektsioonide  $A^{IV}$ ,  $B^{IV}$  ja  $Q^{IV}$  leidmiseks joonestatakse uued sidejooned risti teljega  $v$  ja neile kantakse nende punktide kaugused teljest  $u$  ( $A_u A^{IV} = A_u A'$ ;  $B_u B^{IV} = B_u B'$ ;  $Q_u Q^{IV} = Q_u Q'$ ). Et  $A_u A' = B_u B'$ , siis sirge  $AB$  projekteerub ekraanil  $\varepsilon_4$  punktiks ( $A^{IV} \equiv B^{IV}$ ). Sirge  $AB$  osutub ekraani  $\varepsilon_4$  normaaliks ning otsitav kauguslõik on paralleelne ekraaniga  $\varepsilon_4$  ja projekteerub sinna tõelises pikkuses. Otsitav kaugus  $d$  võrdub lõiguga  $Q^{IV} A^{IV}$ .

## 17 AKSONOMEETRIA

### 17.1 AKSONOMEETRIA ÜLDISELOOMUSTUS

Praktikas läheb sageli vaja objektide piltlikke kujutisi, mille järgi oleks võimalik määrata ka objekti mõõtmeid. Kujutamismeetodit, mille abil luuakse objektist piltlik kujutis, nimetatakse aksonomeetriaks.

Aksonomeetria meetodiga tuletatud kujutist nimetatakse aksonomeetriliseks kujutiseks (projektsiooniks), mis konstrueeritakse objekti punktide ristkoordinaatide järgi teljestiku kujutise baasil. Koordinaatlõigud mõõdetakse telgede kujutiste sihis. Sellest tuleneb ka aksonomeetria meetodi nimetus – „telgi mööda mõõtma“.

Kujutise piltlikkus saavutatakse sellega, et teljestik paigutatakse projekteerivate kiirte suhtes asendisse, mille puhul ükski koordinaatpind ei ole kiirtega paralleelne ega projekteeru seetõttu sirglõiguks.

Objekti aksonomeetrilise kujutise tuletamise käik on järgmine.

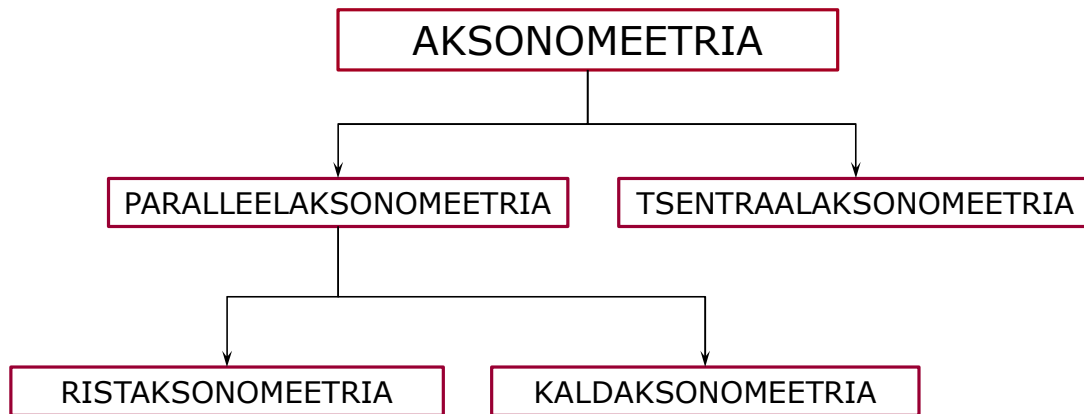
1. Objekt seotakse ruumilise ristteljestikuga, mille tulemusel objekti iga punkt saab endale kindlad koordinaadid.
2. Joonestatakse teljestiku kujutis ja täpsustatakse moondetegurid telgede suunas.
3. Konstrueeritakse objekti enda kujutis teljestiku kujutise baasil, kasutades objekti punktide koordinaate (või koordinaatlõikusi).

Aksonomeetria põhiliseks probleemiks on õigete ja sobivate projektsioonide tuletamine teljestikust kui omaette kujutamiseobjektist. Joonisel 3.84 on toodud aksonomeetria liigitus lähtuvalt teljestiku projektsioonist. Põhiliselt kasutatakse aksonomeetrias paralleelprojekteerimist. Nagu jooniselt näha on, liigitatakse paralleel-aksonomeetria ristaksonomeetriaks ja kaldaksonomeetriaks, vastavalt sellele, kas kujutise tuletamisel võetakse aluseks teljestiku rist- või kaldprojektsioon.

Ristaksonomeetria korral ei kasutata teljestiku selliseid asendeid ekraani suhtes, kus telg oleks ekraaniga paralleelne. Sellisel juhul oleks vähemalt üks koordinaatpind kiirtega paralleelne, s.t ekraaniga risti. See pind projekteeruks ekraanile sirgjooneks ja objekti kujutis oleks vähem piltlik.

Kaldaksonomeetria korral sellist teljestiku eriasendit ekraani suhtes ei pea jälgima. Pindade ja kiirte paralleelsust saab vältida kiirte sobiliku suuna valikuga. Praktilises kaldaksonomeetrias kasutatakse teljestiku ja ekraani lihtsat vastastikust asendit, kus kaks telge asetsevad vahetult ekraanil. See tähendab, et ekraaniks võetakse üks koordinaatpind. Kolmas telg on siis ekraaniga risti.

**Aksonomeetria põhiteoreem.** Teljestiku  $Oxyz$  asendi ja projekteerivate kiirte sihi muutmisega ekraani suhtes võib saada lõpmata palju selle teljestiku kujutisi.



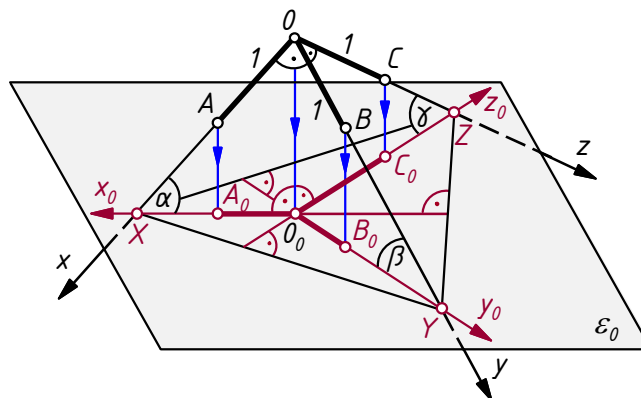
**Joonis 3.84.** Aksonomeetria liigitus lähtuvalt teljestiku projektsioonist.

1853.a. sõnastas saksa matemaatik Karl Wilhelm Pohlke teoreemi, mida tuntakse Pohlke teoreemi ehk paralleelaksonomeetria nime all:

**26. Tasandile joonestatud kolme lõiku, mis algavad kõik ühest punktist, kuid ei asetse ühel sirgel, võib alati vaadelda ristteljestiku ühikkolmiku paralleelprojektsioonina.**

Selle teoreemi alusel võib teljestiku ühikkolmiku paralleelprojektsiooni joonestada vabalt, ainsa kitsendusega, et kogu teljestiku kujutis ei asetseks ühel sirgel.

Kui teljestiku ühikkolmiku kujutise võib Pohlke teoreemi põhjal ette anda vabalt, siis telgede moondetegureid vabalt ette anda ei saa. Aksonomeetrias omavad erilist tähtsust telgede  $x, y$  ja  $z$  moondetegurid  $m_x, m_y$  ja  $m_z$ . Ruumis on antud teljestik  $0xyz$ , mille telgede mõõtühikud on võrdsed:  $OA = OB = OC = 1$  (joonis 3.85). Mõõtühikud telgedel moodustavad teljestiku ühikkolmiku, mida tähistatakse  $0ABC$ .



**Joonis 3.85.** Aksonomeetria teljestiku kujutamine.

Teljestik projekteeritakse ristkiirte abil ekraanile  $\varepsilon_0$ . Teljestiku projektsioon  $0_0x_0y_0z_0$  on määratud punktide  $0, A, B$  ja  $C$  projektsioonidega  $0_0, A_0, B_0$  ja  $C_0$ . Punktid  $X, Y$  ja  $Z$ , kus teljed  $x, y$  ja  $z$  lõikavad ekraani, on telgede jälgpunktid. Paralleelprojektsiooni korral on ristteljestiku telgede moondetegurite ruutude summa jääv suurus väärtusega  $2 + \cot^2 \varphi$ , kus  $\varphi$  on kujutamiskiirte kaldenurk ekraani suhtes

Telgede moondetegurid ristaksonomeetrias avalduvad järgmiselt:

$$m_x = \frac{0_0X}{OX} = \cos \alpha; m_y = \frac{0_0Y}{OY} = \cos \beta; m_z = \frac{0_0Z}{OZ} = \cos \gamma;$$

kus  $\alpha, \beta$  ja  $\gamma$  on vastavalt  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ -telje kaldenurgad.

Ristprojektsiooni puhul on telgede moondetegurite ruutude summa võrdne kahega:

$$m_x^2 + m_y^2 + m_z^2 = 2.$$

Kaldaksonomeetrias on telgede moondetegurite vaheline seos:

$$m_x^2 + m_y^2 + m_z^2 = 2 + \cot^2 \varphi.$$

Teljestiku ja temaga seotud objekti aksonomeetrilisi kujutisi liigitatakse telgede moondetegurite vahekorra alusel järgmiselt:

- 1) kui moondetegur on kõikide telgede suundades ühesugune ( $m_x = m_y = m_z$ ), siis aksonomeetrilised kujutised on **isomeetrilised** ehk **võrdmõõdulised**;
- 2) kui kahe telje suunas on moondetegur ühesugune, kolmanda suunas aga erinev ( $m_x = m_z; m_y \neq m_z$ ), siis kujutised on **dimeetrilised** ehk **kahemõõdulised**;
- 3) kui moondetegur on kõikide telgede suunas erinev ( $m_x \neq m_y \neq m_z$ ), siis aksonomeetrilised kujutised on **trimeetrilised** ehk **kolmemõõdulised**.

Tähtsamad aksonomeetriliste kujutiste liigid on:

- ristisomeetria;
- standardne ristdimeetria;
- frontaalne kaldisomeetria;
- frontaalne kalddimeetria;
- horisontaalne kaldisomeetria.

## 17.2 RISTISOMEETRIA

Ristisomeetria on ristprojektsioon, kus teljestik on kujutise saamiseks paigutatud ekraani suhtes võrdkaldeliselt ( $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$  on võrdsed). Sel juhul on võrdsed ka kõik telgede moondetegurid ( $m_x = m_y = m_z$ ). Seda arvestades võib kirjutada:  $3m_x^2 = 2$ .

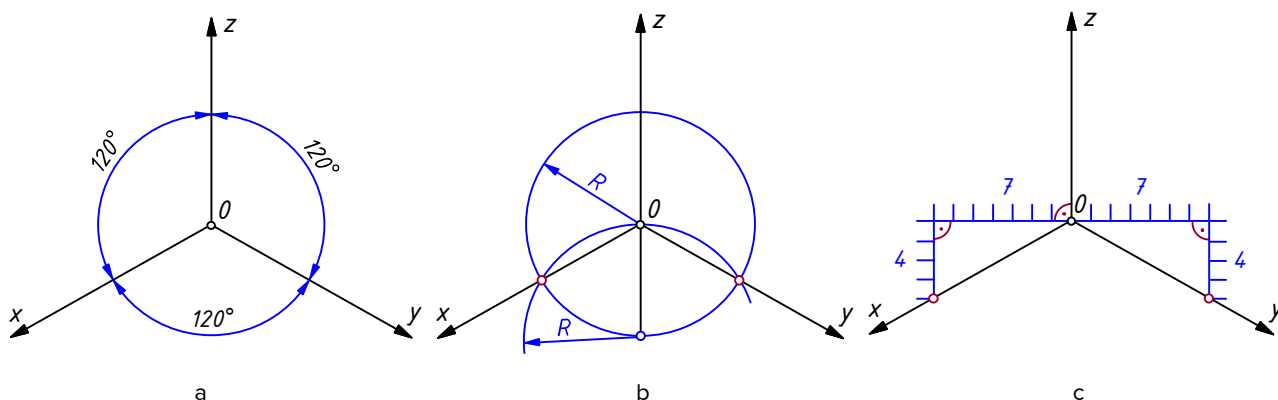
Järelikult moondeteguri väärtus on:

$$m_x = m_y = m_z = \sqrt{2/3} \approx 0,82.$$

Kujutiste aksonomeetrilisel tuletamisel tuleks kõiki punktide koordinaate korrutada moondeteguriga 0,82, mis oleks äärmiselt ebamugav ja töömahukas. Seepärast kasutatakse praktikas nn taandatud, s.o. suurendatud moondetegurit:

$$m_x = m_y = m_z = 1.$$

See tähendab, et kõik koordinaatlõigud kantakse tõelises suurus ja objektist saadakse suurendatud kujutis suurendusteguriga  $k = 1 : 0,82 \approx 1,22$ . Nurgad tekkinud telgede kujutiste vahel on kõik  $120^\circ$ . Joonisel 3.86 on toodud ristisomeetria teljestiku kujutis ja teljestiku kujutiste saamise konstruktsioonid.



**Joonis 3.86.** Ristisomeetria teljestik: a – teljestiku kujutis; b – teljestiku konstruktsioon raadiusedel abil; c – teljestiku konstruktsioon ühiklõigude abil.

Esimesel juhul kasutatakse vabalt valitud pikkusega raadiuslõiku  $R$  (joonis 3.86.b). Alustatakse  $z$ -telje joonestamisest ja  $0$ -punkti märkimisest. Edasi joonestatakse ümber  $0$ -punkti vabalt valitud raadiusega  $R$  ringjoon. Ringjoone ja  $z$ -telje lõikepunktist joonestatakse sama raadiusega kaar. Ühendades saadud ringjoone ja kaare lõikepunktid  $0$ -punktiga, saadakse  $x$ - ja  $y$ -telg.

Teisel juhul kasutatakse vabalt valitud pikkusega ühiklõiku (joonis 3.86.c). Alustatakse  $z$ -telje joonestamisest, millele märgitakse koordinaatide alguspunkt  $0$ .  $0$ -punktist joonestatakse  $z$ -teljega ristsirge ja sellele kantakse mõlemale poole seitse ühiklõiku. Edasi joonestatakse saadud punktidest ristsirged ja nendele sirgetele kantakse neli ühiklõiku. Saadud punktid ühendatakse alguspunktiga  $0$  ning saadakse  $x$ - ja  $y$ -telg.

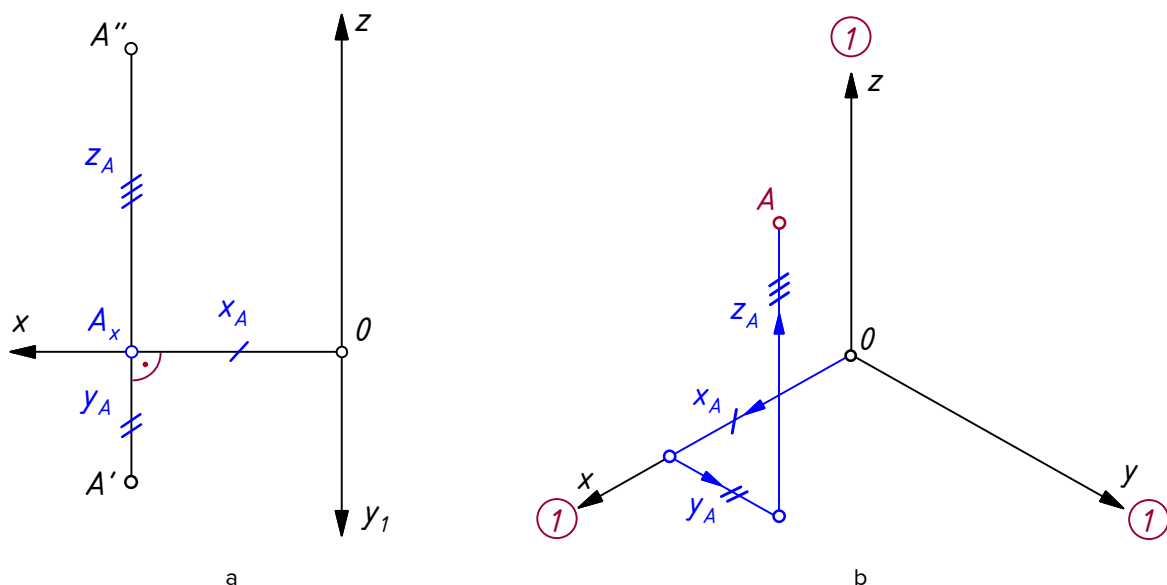
Tabelis 3.1 on toodud ringjoonele raadiusega  $R$  vastavad kujutisellipsi pooltelgede pikkused sõltuvalt kasutatavatest moondeteguritest ristsomeetrias.

**Tabel 3.1.** Moondetegurid telgede suunas ja kujutisellipsi pooltelgede pikkused ristsomeetrias.

| Näitaja                           | Tegelik                         | Taandatud                      |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Moondetegur                       | 0,82 ( $x$ -, $y$ -, $z$ -telg) | 1,0 ( $x$ -, $y$ -, $z$ -telg) |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a$ | $R$                             | $1,22R$                        |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b$ | $0,58R$                         | $0,71R$                        |

**Punkti ristsomeetrilise kujutise tuletamine.** Objekti aksonomeetrilise kujutise tuletamisel on üheks põhiliseks konstruktsiooniks punkti aksonomeetrilise kujutise tuletamine kas selle punkti arvuliste koordinaatide või tema kaks- või kolmvaate järgi. Punkti koordinaate on otstarbekas anda aksonomeetria teljestikku kindlas järjekorras ( $0 \rightarrow x_A \rightarrow y_A \rightarrow z_A$ ). Arvestada tuleb moondetegurite väärtustega telgedel.

Joonisel 3.87 on näidatud punkti  $A$  kujutise saamine ristsomeetrias kaksvaate järgi. Kõigepealt kantakse  $x$ -teljele punkti  $A$   $x$ -koordinaatlõik ( $x_A = 0A_x$ ). Seejärel saadud punktist joonestatakse paralleelsirge  $y$ -teljega. Sellele kantakse punkti  $A$   $y$ -koordinaatlõik ( $y_A = A_xA'$ ). Edasi joonestatakse saadud punktist paralleelsirge  $z$ -teljega ja sellele kantakse punkti  $A$   $z$ -koordinaatlõik. Saadud punkt on punkti  $A$  kujutis ristsomeetrias.



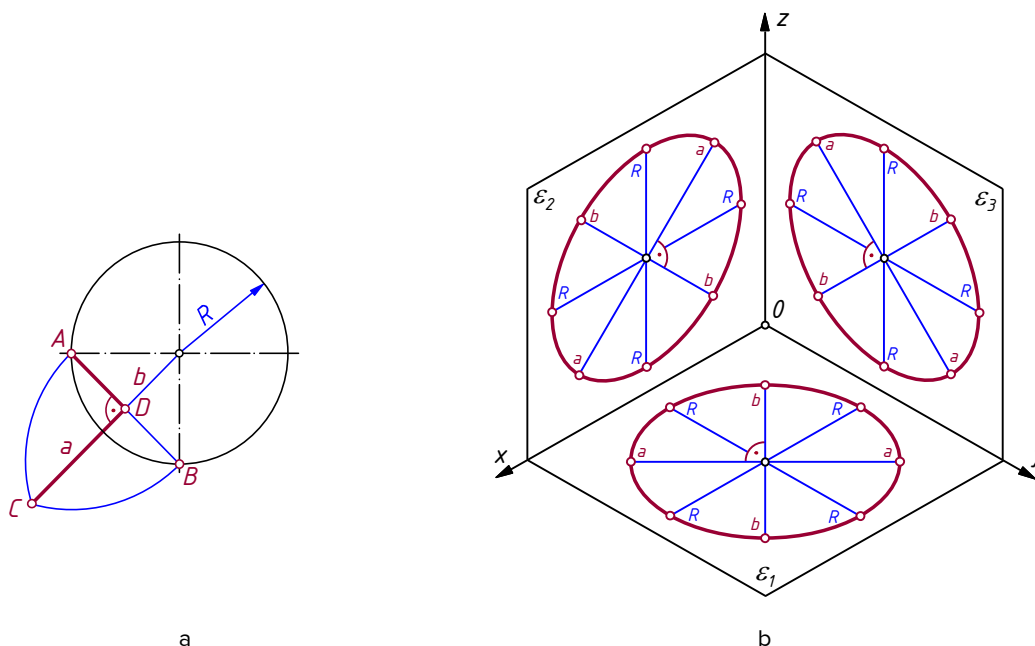
**Joonis 3.87.** Punkti  $A$  kujutise tuletamine ristsomeetrias: a – kaksvaade; b – ristsomeetria.

**Koordinaatpindade paralleeltasanditel asetsevate ringjoonte kujutamine ristsomeetrias.** Tähtis on osata õigesti kujutada koordinaatpindadel või nende paralleeltasanditel asetsevaid ringjooni. Ristaksonomeetrias on see suhteliselt lihtne, sest vastavate kujutisellipsite telgede asend ja pooltelgede pikkus on kergesti määratavad.

Ristaksonomeetrias tuleb silmas pidada järgmist juhust:

**27. Koordinaatpindade paralleeltasanditel asetsevate ringjoonte kujutiseks on ellips, mille lühem telg on ringi tasandiga risti oleva koordinaattelje kujutise sihiline, pikem telg aga sellega risti.**

Kui ringjoonte ristsomeetrilisel kujutamisel kasutatakse taandatud moondetegureid, siis tuleb mis tahes koordinaatpinnaga paralleelse ringjoone ristsomeetriliseks kujutiseks ellips pooltelgedega  $a = 1,22R$  ja  $b = 0,71R$ . Konstruktiivselt on pooltelgede tuletamine toodud joonisel 3.88.a. Ringjoonele joonestatakse kõõl  $AB$  ja selle pikkusega kummastki otspunktist tõmmatakse kaar. Kaarte lõikepunktist  $C$  joonestatakse sirge ringjoone tsentrisse. Kujutisellipsi pikema pooltelje määrab sirglõik  $CD$  ja lühema pooltelje sirglõik  $AD$ . Joonisel 3.88.b on näidatud kõigil koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid ristsomeetrias.



**Joonis 3.88.** Ringjoonte ristsomeetrilised kujutised: a – pooltelgede tuletamine; b – koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

### 17.3 STANDARDNE RISTDIMEETRIA

Ristdimeetria on ristprojektsioon, kus teljestiku kujutamisel kaks telge asetsevad ekraani suhtes võrdse nurga all. Kui telgede kaldenurgad on valitud nii, et ühe telje ühiku kujutis tuleb kahe ülejäänud telje omast kaks korda lühem, on tegemist nn standardse ristdimeetriaga (joonis 3.89). Moondetegurid telgede suunas on  $m_x = m_z = 2m_y$  või  $m_y = m_z = 2m_x$ .

Moondetegurite väärtused kahel teljel on:

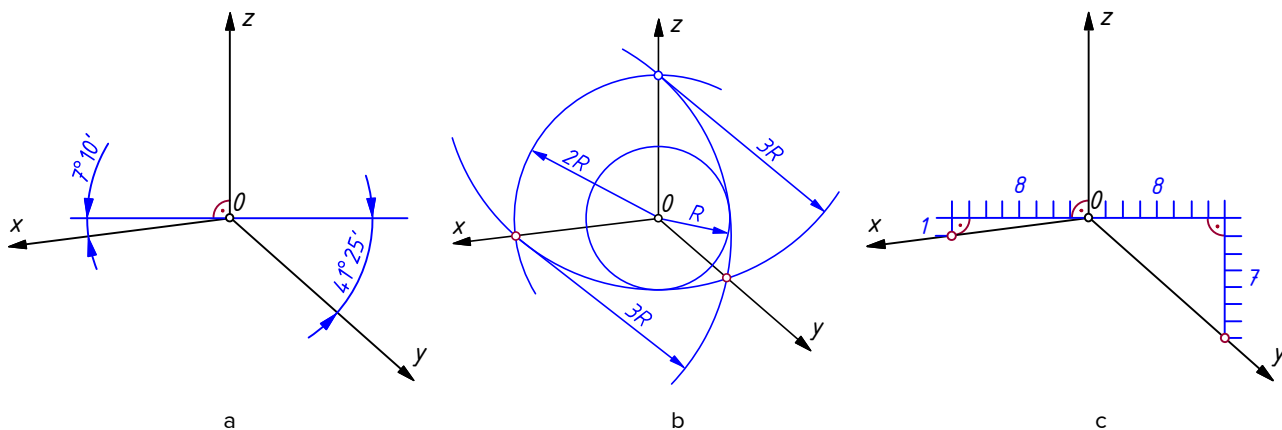
$$m_x = m_z = 2/3 \sqrt{2} \approx 0,94.$$

Kolmandal teljel on moondeteguri väärtus:

$$m_y = 1/3 \sqrt{2} \approx 0,47.$$

Praktikas kasutatakse taandatud moondetegureid 1 ja 0,5. See tähendab, et koordinaatlõigud kahele teljele kantakse tõelises suurus ja kolmandale teljele pool koordinaatlõigu väärtusest ning objektist saadakse suurendatud kujutis suurendusteguriga  $k = 1 : 0,94 \approx 1,06$ .

Joonisel 3.89 on toodud standardse ristdimeetria teljestiku kujutis ja teljestiku kujutiste saamise konstruktsioonid.



**Joonis 3.89.** Standardse ristdimeetria teljestik: a – teljestiku kujutis; b – teljestiku konstruktsioon raadiuslõigu abil; c – teljestiku konstruktsioon ühiklõigu abil.

Esimesel juhul kasutatakse teljestiku kujutise saamiseks vabalt valitud pikkusega raadiuslõiku  $R$  (joonis 3.89.b). Joonestatud  $z$ -teljel valitud koordinaatide alguspunktist  $O$  joonestatakse ringjooned raadiustega  $R$  ja  $2R$ . Punktist, kus  $2R$ -ga joonestatud ringjoon lõikab  $z$ -telge, joonestatakse kaar raadiusega  $3R$ . Ühendades kaarte  $2R$  ja  $3R$  lõikepunkti  $O$ -punktiga, saadakse  $x$ -telg. Edasi joonestatakse saadud  $x$ -telje punktist kaar raadiusega  $3R$ .  $3R$ -ga joonestatud kaarte lõikepunkt määrab  $y$ -telje.

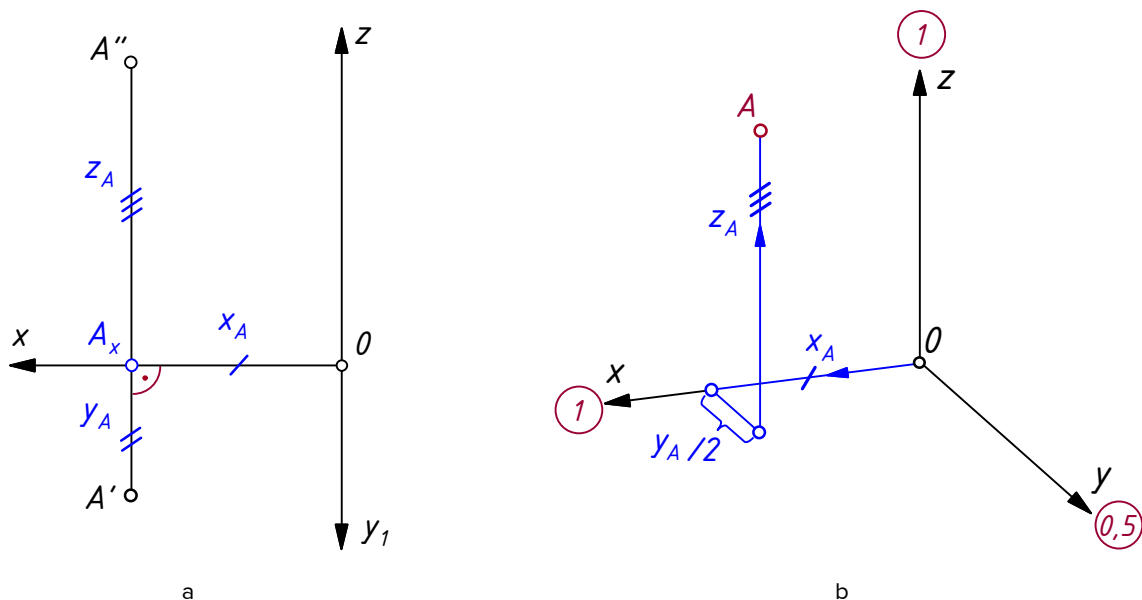
Teisel juhul kasutatakse vabalt valitud pikkusega ühiklõiku (joonis 3.89.c). Alustatakse  $z$ -telje joonestamisest, millele märgitakse koordinaatide alguspunkt  $O$ . Läbi  $O$ -punkti joonestatakse  $z$ -teljega ristsirge ja mõlemale poole  $O$ -punkti kantakse kaheksa ühiklõiku. Edasi joonestatakse saadud punktidest ristsirged ning ühele kantakse seitse ühiklõiku ja teisele üks ühiklõik. Saadud punktid ühendatakse alguspunktiga  $O$  ning saadakse teljed  $x$ - ja  $y$ -telg.

Tabelis 3.2 on toodud ringjoonele raadiusega  $R$  vastavad kujutisellipsite pooltelgede pikkused sõltuvalt kasutatavatest moondeguritest standardses ristdimeetrias.

**Tabel 3.2.** Moondegurid ja kujutisellipsite pooltelgede pikkused standardses ristdimeetrias.

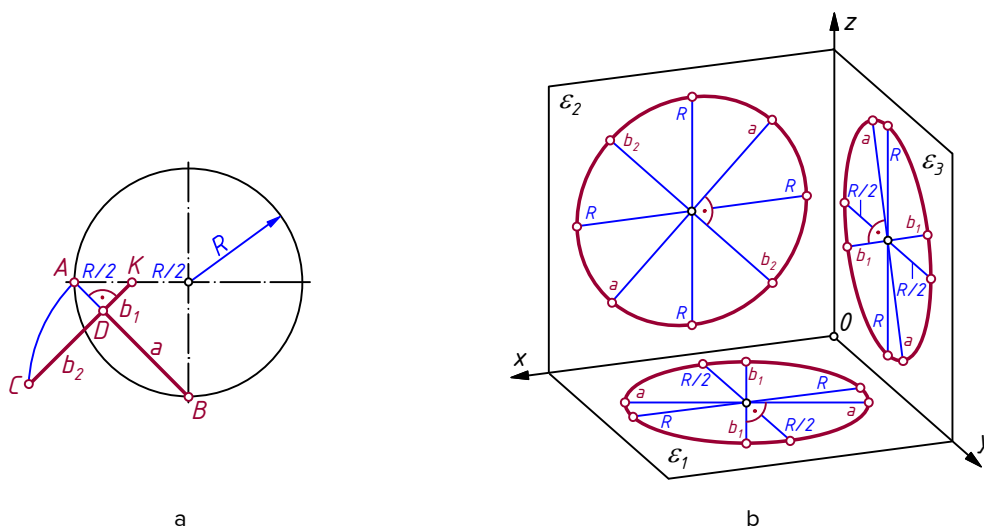
| Näitaja                                                                                      | Tegelik                                       | Taandatud                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Moondetegurid                                                                                | 0,94 ( $x$ -, $z$ -telg)<br>0,47 ( $y$ -telg) | 1 ( $x$ -, $z$ -telg)<br>0,5 ( $y$ -telg) |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a$                                                            | $R$                                           | $1,06R$                                   |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b_2$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_2$ )            | $0,9R$                                        | $0,95R$                                   |
| Kujutisellipsi lühem telg $b_1$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_1, \varepsilon_3$ ) | $0,33R$                                       | $0,35R$                                   |

**Punkti kujutise tuletamine standardses ristdimeetrias.** Punkti koordinaadid kantakse teljestikku samas järjekorras nagu ristsomeetrias ( $O \rightarrow x_A \rightarrow y_A \rightarrow z_A$ ). Joonisel 3.90 on näidatud punkti  $A$  kujutise saamine standardses ristdimeetrias kaksvaate järgi. Kõigepealt kantakse  $x$ -teljele punkti  $A$   $x$ -koordinaatlõik ( $x_A = OA_x$ ). Seejärel saadud punktist joonestatakse paralleelsirge  $y$ -teljega. Arvestades, et standardses ristdimeetrias on moondegur  $y$ -telje suunas 0,5, kantakse punkti  $A$   $y$ -koordinaatlõigust pool pikkust ( $y_A / 2 = A_x A' / 2$ ). Edasi joonestatakse saadud punktist paralleelsirge  $z$ -teljega ning sellele kantakse punkti  $A$   $z$ -koordinaatlõik. Saadud punkt on punkti kujutis frontaalses kalddimeetrias.



**Joonis 3.90.** Punkti A kujutise tuletamine standardses ristdimeetrias: a – kaksvaade; b – ristsomeetria.

**Koordinaatpindade paralleeltasanditel asetsevate ringjoonte ristdimeetrilised kujutised.** Et tegemist on dimeetrilise teljestikuga, esineb siin kahesuguse kujuga ellipseid. Kui ristdimeetrilisel ringjoonte kujutamisel kasutatakse taandatud moondetegureid, siis ringjoontest, mille tasandid on paralleelsed  $oxy$ - ja  $oyz$ -pinnaga, saadakse ellipsid pooltelgedega  $a = 1,06R$  ja  $b_1 = 0,35R$ . Ringjooned, mis on paralleelsed  $oxz$ -pinnaga, projekteeruvad ellipsiteks pooltelgedega  $a = 1,06R$  ja  $b_2 = 0,95R$ . Konstruktiivselt on pooltelgede tuletamine toodud joonisel 3.91.a. Ringjoonele joonestatakse kõõl  $AB$  ja selle pikkusega tõmmatakse otspunktist  $B$  kaar. Ringjoone raadiust poolitavast punktist  $K$  joonestatakse sirge risti kõõluga  $AB$  kuni lõikumiseni kaarega. Saadakse punkt  $C$ . Tulemuseks saadakse kujutisellipsite pikem pooltelg  $a$  ( $a = BD$ ) ning lühemad poolteljed  $b_1$  ( $b_1 = DK$ ) ja  $b_2$  ( $b_2 = CD$ ). Joonisel 3.91.b on näidatud kõigil koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

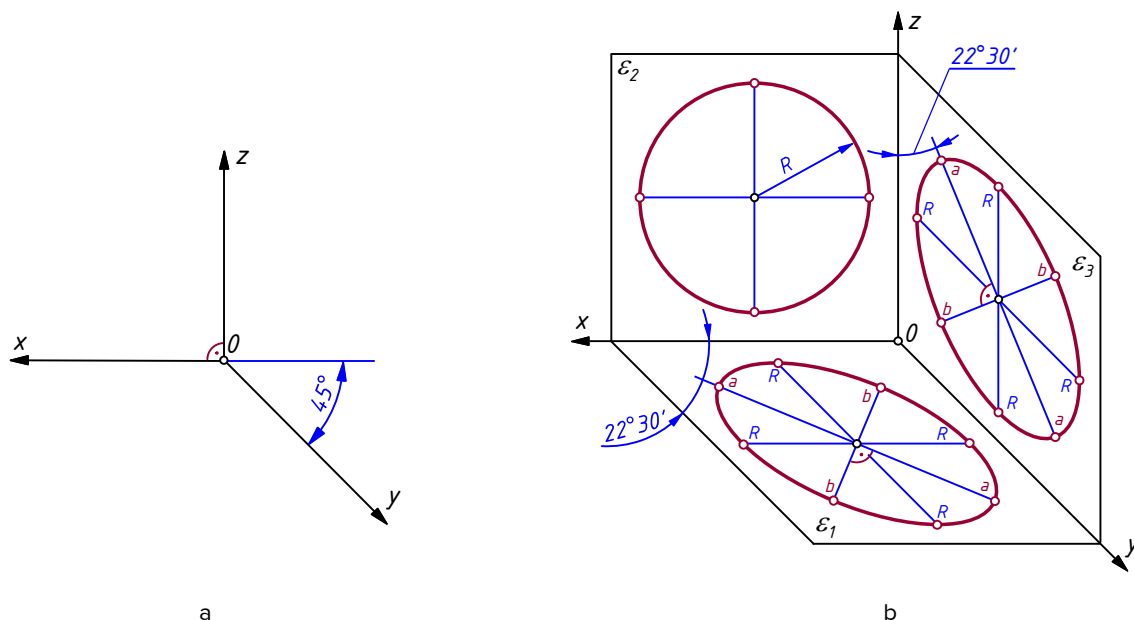


**Joonis 3.91.** Ringjoonte tuletamine standardses ristdimeetrias: a – pooltelgede tuletamine; b – koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

## 17.4 FRONTAALNE KALDISOMEETRIA

Frontaalne kaldisomeetria on kaldprojektsioon, kus ekraaniks võetakse  $xz$ -pind ja  $y$ -telg projekteeritakse sinna kaldkiirte abil. Joonisel 3.92.a on toodud frontaalse kaldisomeetria teljestiku kujutis. Nurga väärtus  $x$ - ja  $z$ -telje vahel moodustab  $90^\circ$ ,  $y$ -telje ja horisontaalse telje vahel  $45^\circ$ . Olenevalt vajadusest võib  $45^\circ$  nurga asemel kasutada  $30^\circ$  või  $60^\circ$ . Moondetegurite väärtus frontaalses kaldisomeetrias telgede suunas on

$$m_x = m_y = m_z = 1.$$



**Joonis 3.92.** Frontaalne kaldisomeetria: a – teljestiku kujutis; b – koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

Tabelis 3.3 on toodud ringjoonele raadiusega  $R$  vastava kujutisellipsi pooltelgede pikkused frontaalses kaldisomeetrias.

**Tabel 3.3.** Moondetegur ja kujutisellipsi pooltelgede pikkused frontaalses kaldisomeetrias.

| Näitaja                                                                                        | Tegelik                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Moondetegur                                                                                    | 1,0 ( $x$ -, $y$ -, $z$ -telg) |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_1, \varepsilon_3$ ) | 1,3 $R$                        |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_1, \varepsilon_3$ ) | 0,54 $R$                       |

Frontaalse kaldaksonomeetria eriliseks omaduseks on see, et kõik  $xz$ -pinnaga paralleelsed tasandilised kujundid projekteeruvad moondevabalt. See lihtsustab suurel määral kujutise joonestamist. Frontaalset kaldaksonomeetriat on soovitatav kasutada selliste objektide korral, kui objektil on palju  $xz$ -pinnaga paralleelseid ringjoonelisi elemente. Joonisel 3.92.b on näidatud kõigil koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte projektsioonid. Ringjoon projekteerub  $xz$ -pinnale (ekraanile) ringjoonena. Tasanditega  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_3$  paralleelsete ringjoonte kujutisellipsite pikemate pooltelgede nurga väärtus vastavalt  $x$ - ja  $z$ -telje suhtes on  $22^\circ 30'$ .

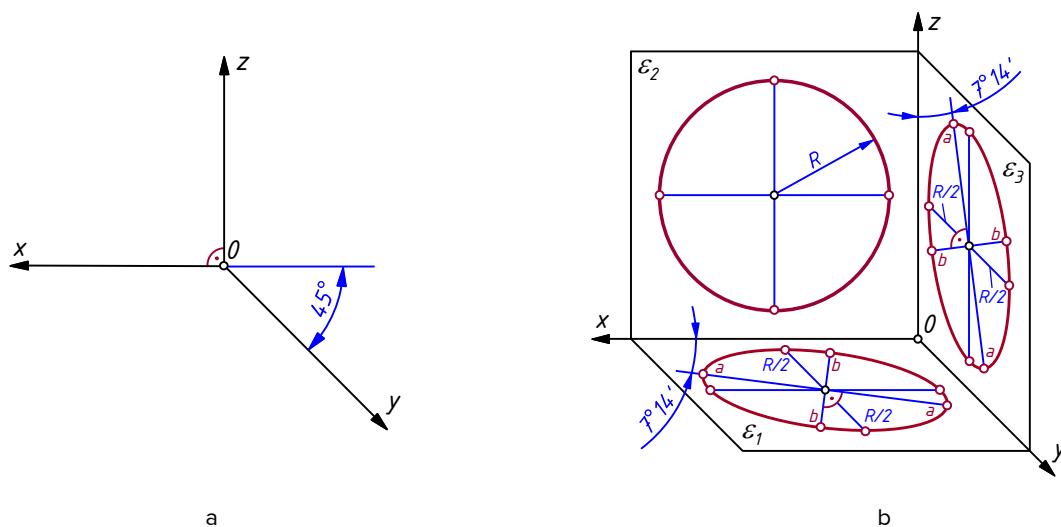
## 17.5 FRONTAALNE KALDDIMEETRIA EHK KABINETPROJEKTSIOON

Frontaalne kalddimeetria on sarnaselt frontaalse kaldisomeetriaga kaldprojektsioon, kus ekraaniks võetakse  $xz$ -pind ja  $y$ -telg projekteeritakse sinna kaldkiirte abil. Kujutamiskiired on valitud nii, et  $y$ -telje kujutis tuleb telgede  $x$  ja  $z$  vahelise täisnurga poolitajale ning ühiklõik teljel projekteerub poole lühemana. Sellisel juhul on tegemist kabinetprojektsiooniga. Moondetegur  $x$ - ja  $z$ -teljel on 1 ( $m_x = m_z = 1$ ) ja  $y$ -teljel 0,5 ( $m_y = 0,5$ ). Frontaalse kalddimeetria teljestiku kujutis on sama, mis frontaalsel kaldisomeetrial (joonis 3.93.a). Nurga  $45^\circ$  asemel võib vajaduse korral kasutada ka väärtusi  $30^\circ$  või  $60^\circ$ .

Tabelis 3.4 on toodud ringjoonele raadiusega  $R$  vastava kujutisellipsi pooltelgede pikkused frontaalses kaldisomeetrias.

**Tabel 3.4.** Moondetegur ja kujutisellipsi pooltelgede pikkused frontaalses kalddimeetrias.

| Näitaja                                                                                        | Tegelik                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Moondetegur                                                                                    | 1,0 ( $x$ -, $z$ -telg)<br>0,5 ( $y$ -telg) |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_1, \varepsilon_3$ ) | $1,07R$                                     |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_1, \varepsilon_3$ ) | $0,33R$                                     |



**Joonis 3.93.** Frontaalne kalddimeetria: a – teljestiku kujutis; b – koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

Vastavalt frontaalse kaldaksonomeetria omadusele, projekteeruvad kõik  $xz$ -pinnaga paralleelsed tasandilised kujundid moondevabalt.

Joonisel 3.93.b on näidatud kõigil koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte projektsioonid. Ringjoon projekteerub  $xz$ -pinnale (ekraanile) ringjoonena. Tasanditega  $\varepsilon_1$  ja  $\varepsilon_3$  paralleelsete ringjoonte kujutisellipsite pikemate pooltelgede nurga väärtus vastavalt  $x$ - ja  $z$ -telje suhtes on  $7^\circ 14'$ .

## 17.6 HORISONTAALNE KALDISOMEETRIA

Horisontaalse kaldisomeetria korral võetakse ekraaniks  $xy$ -pind. Joonisel 3.94.a on kujutatud horisontaalse kaldisomeetria teljestik. Nurga väärtus  $x$ - ja  $y$ -telje vahel on  $90^\circ$ . Tehnilises joonestamises soovitatakse nurk horisontaalse sirge ja  $y$ -telje vahel võtta  $30^\circ$ , kuid võib kasutada nurga väärtust  $45^\circ$  või  $60^\circ$ . Moondetegurid telgedel  $x$  ja  $y$  võrduvad 1-ga ( $m_x = m_y = 1$ ). Moondetegur  $z$ -teljel sõltub kujutamiskiirte sihist. Kui kiirte kaldenurk ekraani suhtes on  $45^\circ$ , siis moondetegur  $m_z = 1$ .

Kõikide objektide horisontaalsed pinnad projekteeruvad horisontaalse kaldisomeetria korral moondevabalt.

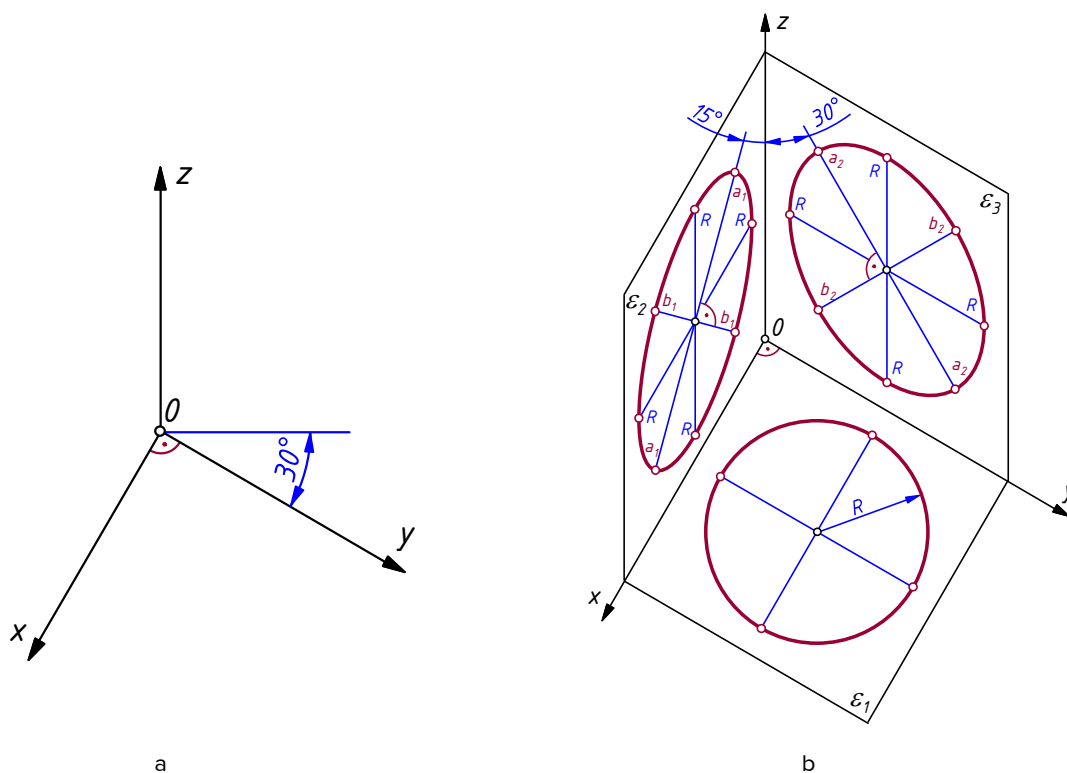
Tabelis 3.5 on toodud ringjoonele raadiusega  $R$  vastavate kujutisellipsite pooltelgede pikkused horisontaalses kaldisomeetrias.

**Tabel 3.5.** Moondetegur ja kujutisellipsite pooltelgede pikkused horisontaalses kaldisomeetrias.

| Näitaja                                                                           | Tegelik                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Moondetegur                                                                       | 1,0 ( $x$ -, $y$ -, $z$ -telg) |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a_1$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_2$ ) | 1,37R                          |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b_1$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_2$ ) | 0,37R                          |
| Kujutisellipsi pikem pooltelg $a_2$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_3$ ) | 1,22R                          |
| Kujutisellipsi lühem pooltelg $b_2$ (ringjoone tasand $\parallel \varepsilon_3$ ) | 0,71R                          |

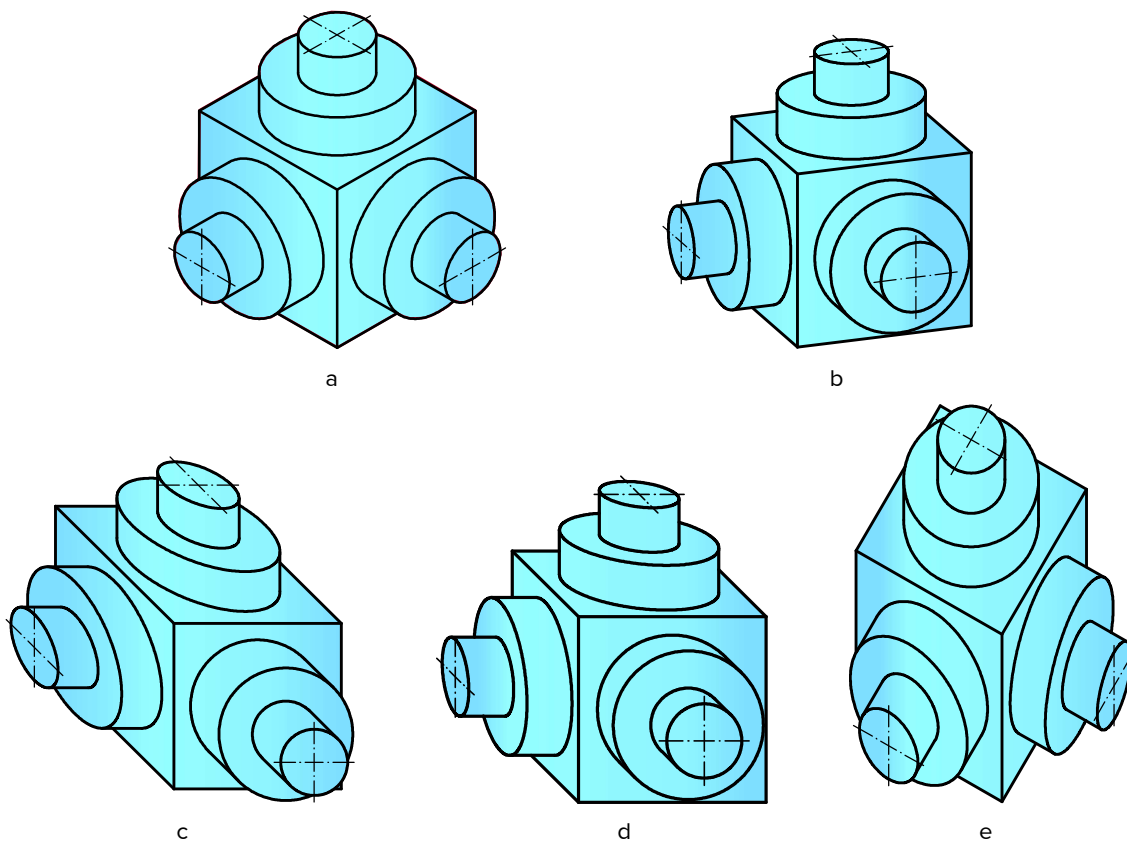
Joonisel 3.94.b on näidatud kõigil koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte projektsioonid. Ringjoon projekteerub  $xy$ -pinnale (ekraanile) ringjoonena. Tasanditega  $\varepsilon_2$  ja  $\varepsilon_3$  paralleelsete ringjoonte kujutisellipsite pikemate pooltelgede ja  $z$ -telje vaheliste nurkade väärtused on vastavalt  $15^\circ$  ja  $30^\circ$ .

Horisontaalset kaldisomeetriat on otstarbekas kasutada sellistel arhitektuursetel joonistel, kus on tähtis säilitada põhiplaanid nende õigel kujul.



**Joonis 3.94.** Horisontaalne kaldisomeetria: a – teljestiku kujutis; b – koordinaatpindadel asetsevate ringjoonte kujutisellipsid.

Igal konkreetsel juhul valitakse selline kujutamismeetod, mis kirjeldab objekti kõige paremini. Joonisel 3.95. on üks objekt esitatud võrdluseks tähtsamates aksonomeetria liikides.

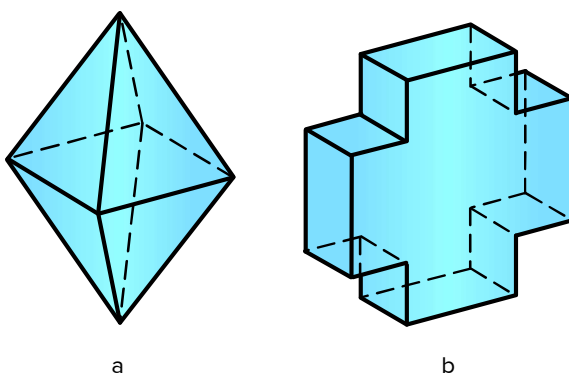


**Joonis 3.95.** Objekti kujutised aksonomeetrias: a – ristisomeetria; b – ristsdimeetria; c – frontaalne kalddimeetria; d – frontaalne kaldisomeetria; e – horisontaalne kaldisomeetria.

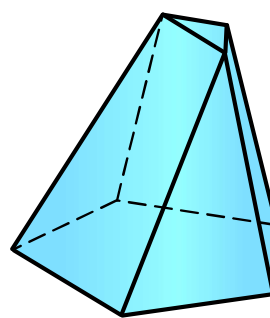
## 18 TAHUKAD

### 18.1 TAHUKATE LIIGID

Tahukas (polüeeder) on tasandiliste hulknurkadega (tahkudega) piiratud keha. Tahukas on kumer, kui ta jääb iga oma tahu tasandist tervenisti ühele poole (joonis 3.96.a). Vastasel korral on tahukas nõgus (joonis 3.96.b). Kumera tahuka iga tasandiline lõige on kumer hulknurk.



**Joonis 3.96.** Tahukad.



**Joonis 3.97.** Prismatoid.

Tahuka elemendid:

- tahukat piiravaid hulknurki nimetatakse tahuka **tahkudeks**;
- hulknurkade tippe nimetatakse tahuka **tippudeks**;
- hulknurkade külgi nimetatakse tahuka **servadeks**;
- tahuka eri tahkudel olevaid tippe ühendavaid lõike nimetatakse tahuka **diagonaalideks**.

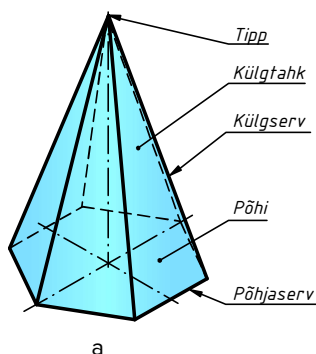
Tahuka **pinnalaotus** on tasapinnaline kujund, mis on koostatud selle tahuka tahkude tõelistest kujudest, kusjuures on arvestatud ka tahkude omavahelist paigutust.

**1. Lihtsamad tahukad.** Tuntumad tahukad on prisma ja püramiid, nendest mõlemast üldisem on prismatoid.

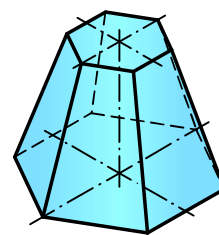
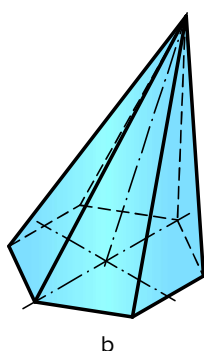
- **Prismatoidiks** nimetatakse tahukat, millel on kaks paralleelset tahku (põhja) ja millel ei ole muid tippe peale põhjatippude (joonis 3.97). Prismatoidi tippude koguarv on vähemalt 4.
- **Püramiidiks** nimetatakse tahukat, mille põhjaks on mistahes külgede arvuga hulknurk ja külgtahkudeks ühise tipuga kolmnurgad.

Püramiidid liigitatakse:

- püstpüramiidideks (joonis 3.98.a) ja kaldpüramiidideks (joonis 3.98.b),
- korrapärasteks (joonis 3.98.a) ja mittekorrapärasteks,
- kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne; üldiselt  $n$ -nurkseteks püramiidideks.



Joonis 3.98. Püramiid.



Joonis 3.99. Tüvipüramiid.

Püramiidi nimetatakse korrapäraseks (joonis 3.98.a), kui tema põhjaks on korrapärane hulknurk ja tema kõrguse alguspunkt ühtib põhja keskpunktiga. Korrapärase püramiidi külgservad on kõik võrdsed, seega on püramiidi külgtahud kongruentsed võrdhaarsed kolmnurgad. Sirget, mis läbib korrapärase püramiidi tippu ja põhja keskpunkti, nimetatakse püramiidi teljeks. Mittekorrapäraseks nimetatakse püramiidi (joonis 3.98.b), mille põhi ei ole korrapärane hulknurk ja külgtahud ei ole võrdse suurusega kolmnurgad.

Kolmnurkset püramiidi nimetatakse ka tetraedriks (joonis 3.102.a). Tetraedrit, mille põhi on võrdkülgne kolmnurk, nimetatakse korrapäraseks tetraedriks. Tetraedrit, mille kõik tahud on kongruentsed võrdkülgseid kolmnurgad, nimetatakse regulaarseks tetraedriks.

Kui püramiidi lõigata põhjaga paralleelse tasandiga, siis jaotub püramiid kaheks osaks. Püramiidi osa, mis jääb lõike ja põhja vahele, nimetatakse **tüvipüramiidiks** (joonis 3.99). Tüvipüramiidi paralleelseid tahke nimetatakse tüvipüramiidi põhjadeks ja nende vahelist kaugust tüvipüramiidi kõrguseks. Tüvipüramiidi külgtahud on trapetsid.

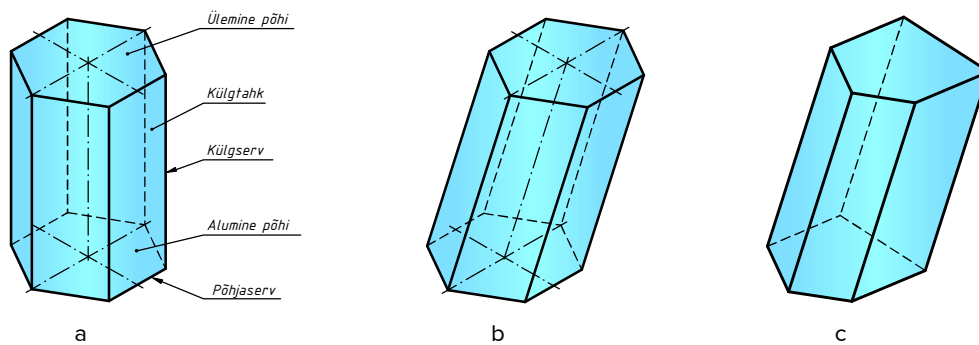
**Prismaks** nimetatakse niisugust tahukat, mille kaks tahku on võrdsete ja vastavalt paralleelsete külgedega hulknurgad ning kõik teised tahud on rõõpkülikud, millel on kummagi hulknurgaga üks ühine külg (joonis 3.100). Paralleelseid tahke nimetatakse prisma põhjadeks, ülejäänud tahke aga külgtahkudeks.

Prismad liigitatakse:

- püstprismadeks (joonis 3.100.a) ja kaldprismadeks (joonis 3.100.b),
- korrapärasteks (joonis 3.100.a) ja mittekorrapärasteks (joonis 3.100.c),
- kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne; üldiselt  $n$ -nurkseteks prismadeks.

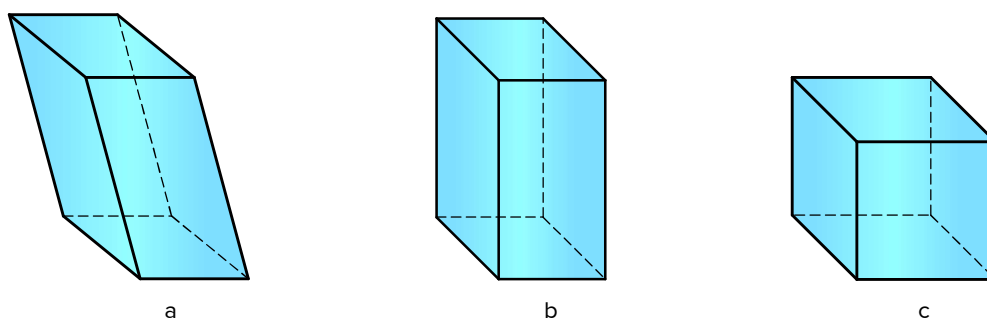
Püstprismaks nimetatakse prismat, mille külgservad on risti põhjadega (joonis 3.100.a). Püstprisma külgtahkudeks on ristkülikud. Kaldprismaks nimetatakse prismat, mille külgservad ei ole risti põhjadega (joonis 3.100.b).

Korrapäraseks prismaks nimetatakse püstprismat, mille põhjadeks on korrapäraseid hulknurgad (joonis 3.100.a). Mittekorrapäraseks prismaks nimetatakse püstprismat, mille põhjaks ei ole korrapärane hulknurk, ja kaldprismat (joonis 3.100.b ja c).



**Joonis 3.100.** Prisma.

**Rööptahukaks** nimetatakse niisugust prisma, mille põhjadeks on rööpkülilikud (joonis 3.101.a). Üldjuhul võib põhjaks lugeda iga tema tahku. Rööptahukas võib olla kas püst- või kaldrööptahukas. Püströöptahukat, mille põhi on ristkülik, nimetatakse risttahukaks (joonis 3.101.b).



**Joonis 3.101.** Prisma erijuhud: a – rööptahukas, b – risttahukas, c – kuup.

Nendest mõistetest järeldeb:

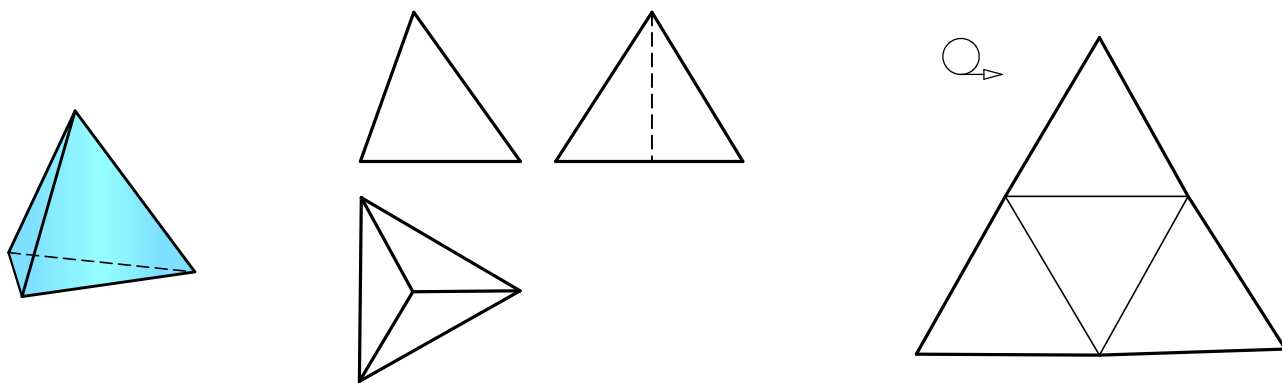
- rööptahuka kõik kuus tahku on rööpkülilikud;
- püströöptahuka neli külgtahku on ristkülikud ja kaks põhja on rööpkülilikud;
- risttahuka kõik kuus tahku on ristkülikud.

Prisma, mille põhi ja külgtahud on ruudud, nimetatakse kuubiks (joonis 3.101.c).

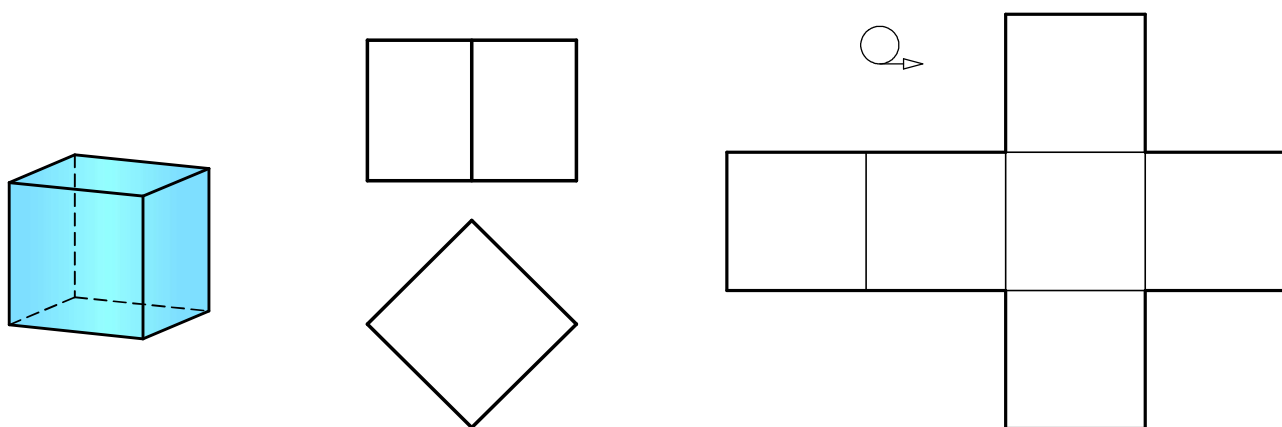
**2. Ideaal tahukad.** Korrapäraseid tahukaid, mille kõik tahud on korrapärased ja võrdsed hulknurgad, nimetatakse ideaaltahukateks. Kumeraid ideaaltahukaid on viis. Kumerate ideaaltahukate nimetused ja olulisemad andmed on ära toodud tabelis 3.6 Nende tahukate piltkujutised, mituvaated ja pinnalaotused on esitatud joonisel 3.102.

**Tabel 3.6.** Kumerad ideaaltahukad.

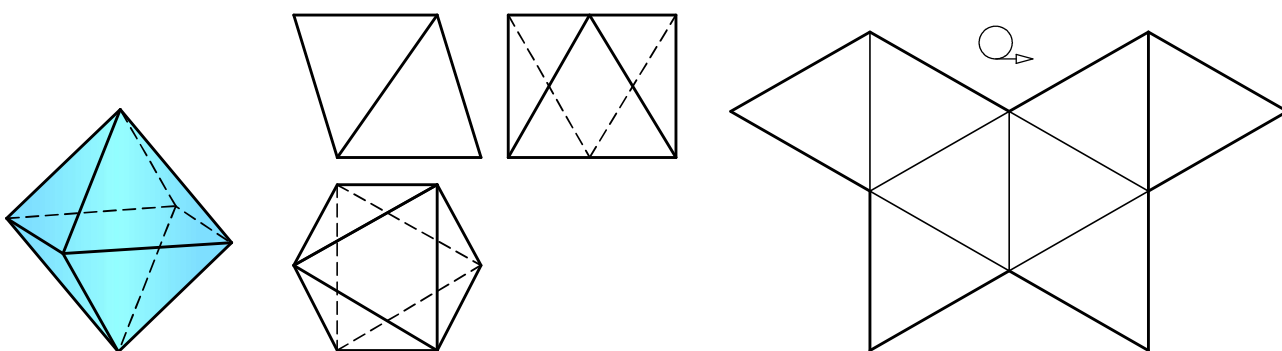
| JRK NR | TAHUKA NIMETUS                  | TAHU KUJU            | SERVADE ARV | TIPPUDE ARV | JOONISE NR. |
|--------|---------------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.     | Tetraeeder (4-tahukas)          | võrdkülgne kolmnurk  | 6           | 4           | 3.102.a     |
| 2.     | Heksaeeder (6-tahukas) ehk kuup | ruut                 | 12          | 8           | 3.102.b     |
| 3.     | Oktaeeder (8-tahukas)           | võrdkülgne kolmnurk  | 12          | 6           | 3.102.c     |
| 4.     | Dodekaeeder (12-tahukas)        | korrapärane viisnurk | 30          | 20          | 3.102.d     |
| 5.     | Ikosaeeder (20-tahukas)         | võrdkülgne kolmnurk  | 30          | 12          | 3.102.e     |



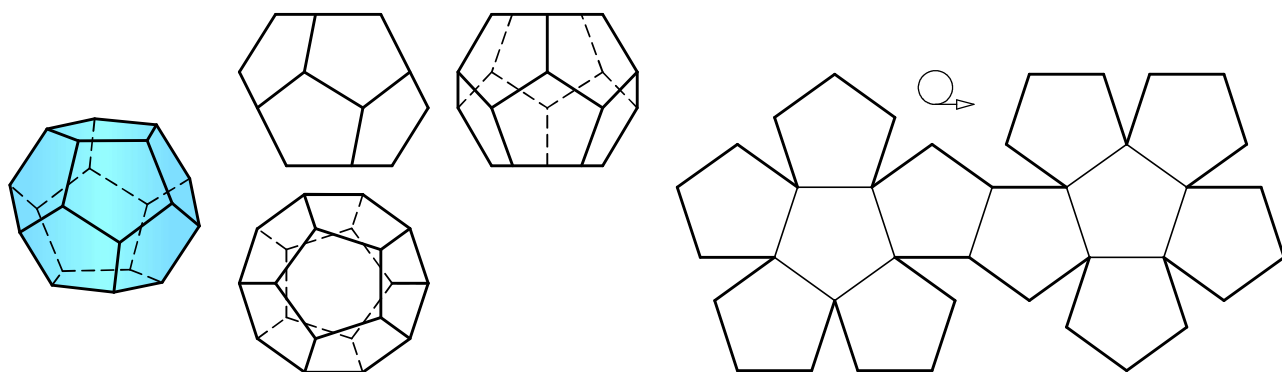
a



b

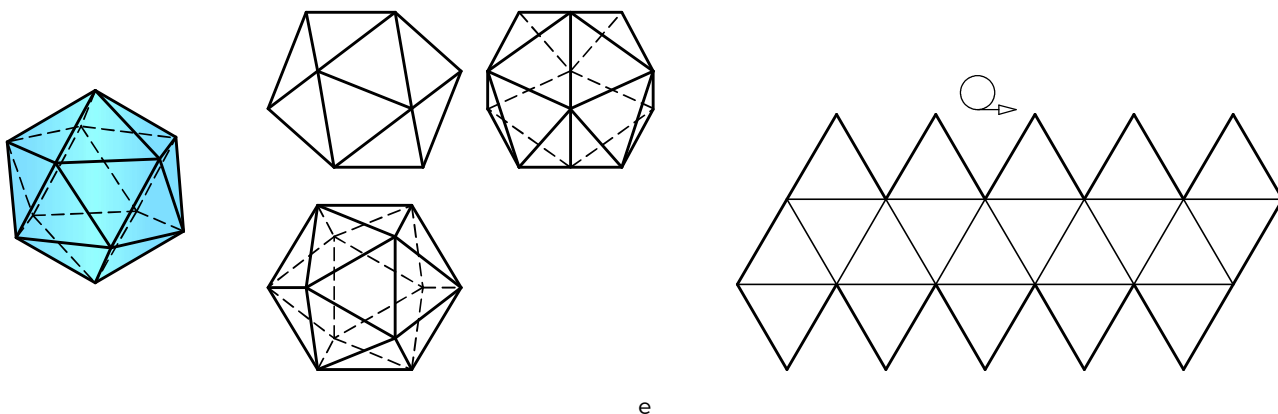


c



d

**Joonis 3.102.** Kumerad ideaaltahukad.



Joonis 3.102. (järg).

## 18.2 PUNKT TAHKKEHAL

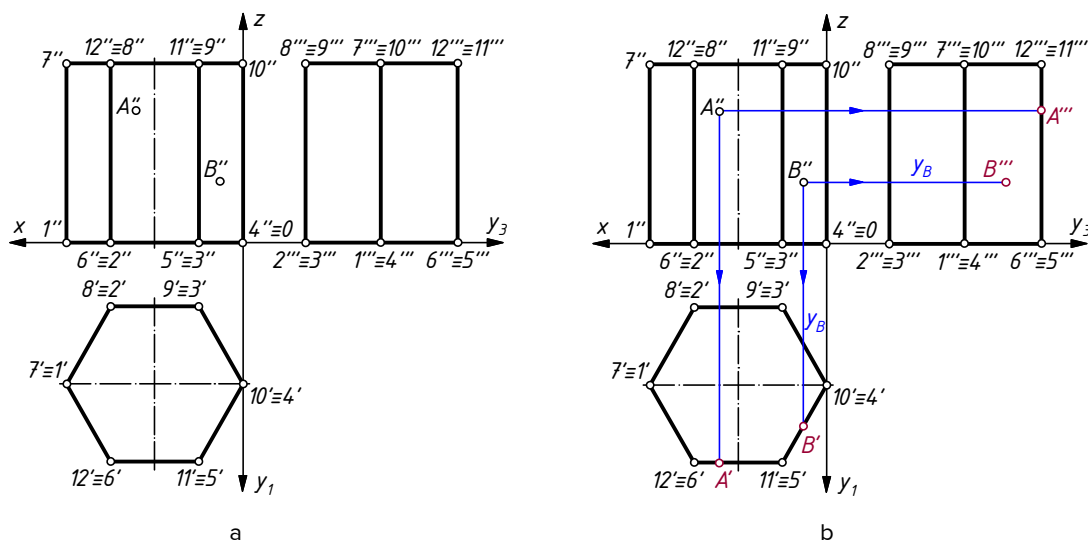
Kujutiste joonestamisel on läheb vaja oskust tuletada eseme pinnal olevate punktide projektsioone. Punkti asukoht objekti pinnal on tavaliselt määratud juba selle punkti üheainsa projektsiooniga.

### 1. Punkt prisma pinnal.

**Näide 3.28.** On antud korrapärase kuusnurkse püstprisma kolmvaade koos prisma pinnal asetsevate punktide  $A$  ja  $B$  eestvaadetega  $A''$  ja  $B''$  (joonis 3.103). Vaja on tuletada punktide  $A$  ja  $B$  puuduvad vaated, s.o. pealt- ja vasakultvaade. Punkt  $A$  asetseb tahul 5 6 12 11 ja punkt  $B$  tahul 4 5 11 10.

Punktide pealtvaade tuletamine. Kuna nimetatud tahud asuvad põhiekraani suhtes risti, siis nad projekteeruvad pealtvaatel sirgetena. Mõlema punkti pealtvaated  $A'$  ja  $B'$  leitakse sidejoonte abil nendel sirgetel.

Punktide vasakultvaade tuletamine. Kuna tahk, millel punkt  $A$  asetseb, on külgekraaniga risti, siis projekteerub see külgsuunal sirgenäht. Punkti  $A$  vasakultvaade  $A'''$  saab leida sidejoone abil. Punkti  $B$  vasakultvaade  $B'''$  tuletamiseks tuleb mõõta selle  $y$ -koordinaat ( $y_B$  – punkti  $B'$  kaugus  $x$ -teljest) ja kanda  $z$ -teljest sidejoonele.

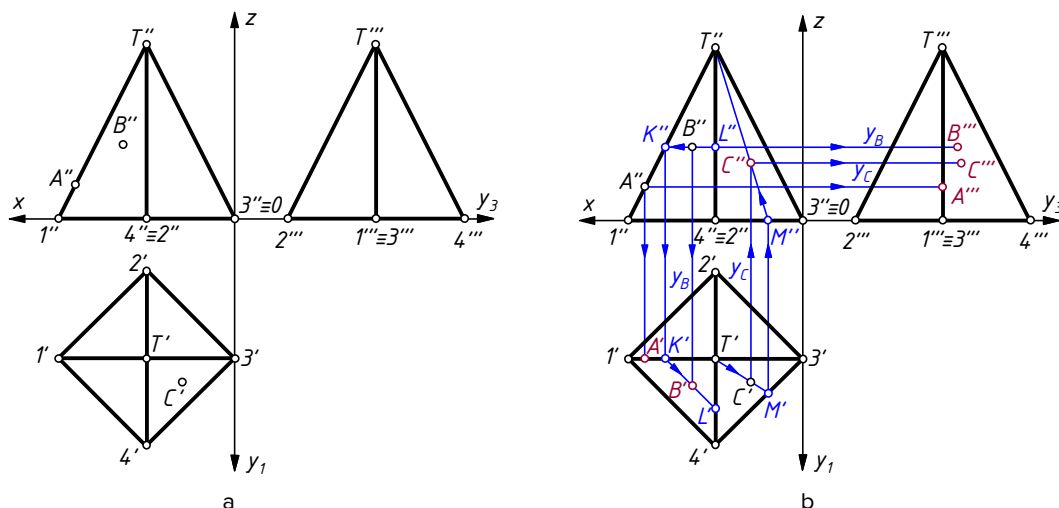


Joonis 3.103. Punkt prisma pinnal: a – lähteandmed; b – lahendus kolmvaatel.

### 2. Punkt püramiidi pinnal.

**Näide 3.29.** On antud korrapärase nelinurkse püstpüramiidi kolmvaade koos püramiidi pinnal asetsevate punktide  $A$  ja  $B$  eestvaadetega  $A''$  ja  $B''$  ning punkti  $C$  pealtvaatega  $C'$  (joonis 3.104). Vaja on tuletada punktide  $A$ ,  $B$  ja  $C$  puuduvad vaated.

Punkt  $A$  asub püramiidi serval  $T1$ . Punkti  $A$  pealtvaate  $A'$  ja vasakultvaate  $A''$  saab tuletada sidejoonte abil: punktist  $A''$  tuleb tõmmata sidejooned kuni lõikumiseni servaga  $IT$  pealtvaatel ja vasakultvaatel.



**Joonis 3.104.** Punkt püramiidi pinnal: a – lähteandmed; b – lahendus kolmvaatel.

Punkt  $B$  asub tahul  $T14$ . Punkti  $B$  pealtvaate  $B'$  saab tuletada, kasutades abisirget  $K''L''$ , mis tõmmatakse läbi punkti  $B''$  paralleelselt põhjaservaga  $1''4''$ . Kui sirged on paralleelsed, siis üldjuhul on paralleelsed ka nende samanimelised projektsioonid. Edasi tuletatakse abisirge  $KL$  pealtvaatel. Selleks tuletatakse sidejoone abil punkti  $K$  pealtvaate  $K'$  serval  $T'1'$  ning joonestatakse punktist  $K'$  abisirge  $K'L'$  paralleelselt põhjaservaga  $1'4'$ . Seejärel tuletatakse sidejoone abil punkti  $B$  pealtvaate  $B'$  abisirgel  $K'L'$ .

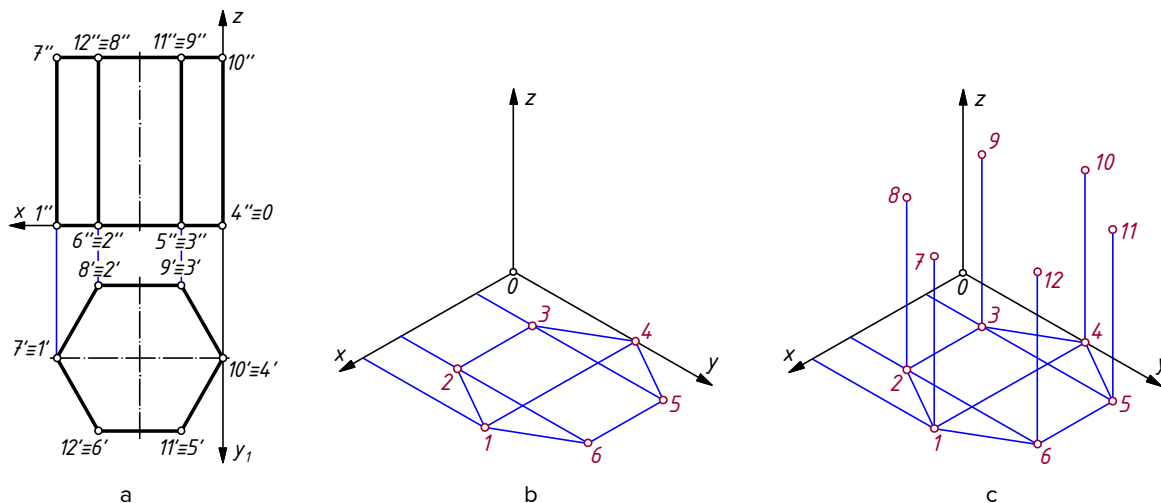
Punkt  $C$  asub tahul  $T34$ . Punkti  $C$  eestvaate  $C''$  tuletamiseks võib kasutada eespool kirjeldatud võtet. On olemas ka teine võte, kus tipust  $T'$  läbi punkti  $C'$  tõmmatakse sirge kuni lõikumiseni põhjaservaga  $3'4'$ , saades punkti  $M'$ . Sidejoone abil tuletatakse punkti  $M$  eestvaate  $M''$  põhjaserval  $3''4''$  ja joonestatakse sirge  $TM$  eestvaate  $T''M''$ . Punkti  $C$  eestvaate  $C''$  tuletatakse sidejoone abil sirgel  $T''M''$ .

Punktide  $B$  ja  $C$  vasakultvaated tuletatakse sidejoonte abil, kandes nende punktide  $y$ -koordinaatide väärtused (sarnaselt punktiga  $B$  prisma pinnal joonisel 3.103.b).

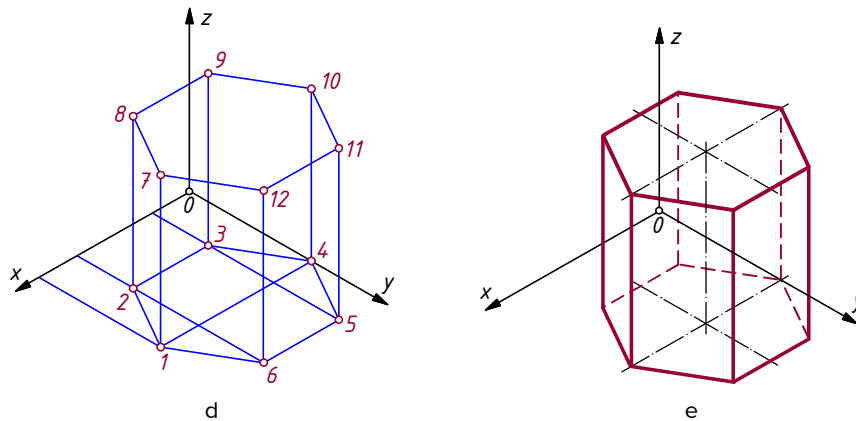
## 18.3 TAHKKEHADE AKSONOMEETRILISTE KUJUTISTE TULETAMINE

### 1. Prisma aksonomeetriline kujutis.

**Näide 3.30.** On antud korrapärase kuusnurkse püstprisma kaksvaade (joonis 3.105.a), mille järgi tuletatakse ristsomeetriline kujutis.



**Joonis 3.105.** Prisma aksonomeetrilise kujutise tuletamine: a – kaksvaade; b, c, d – tuletamine; e – tuletatud aksonomeetriline kujutis.



Joonis 3.105. (järg).

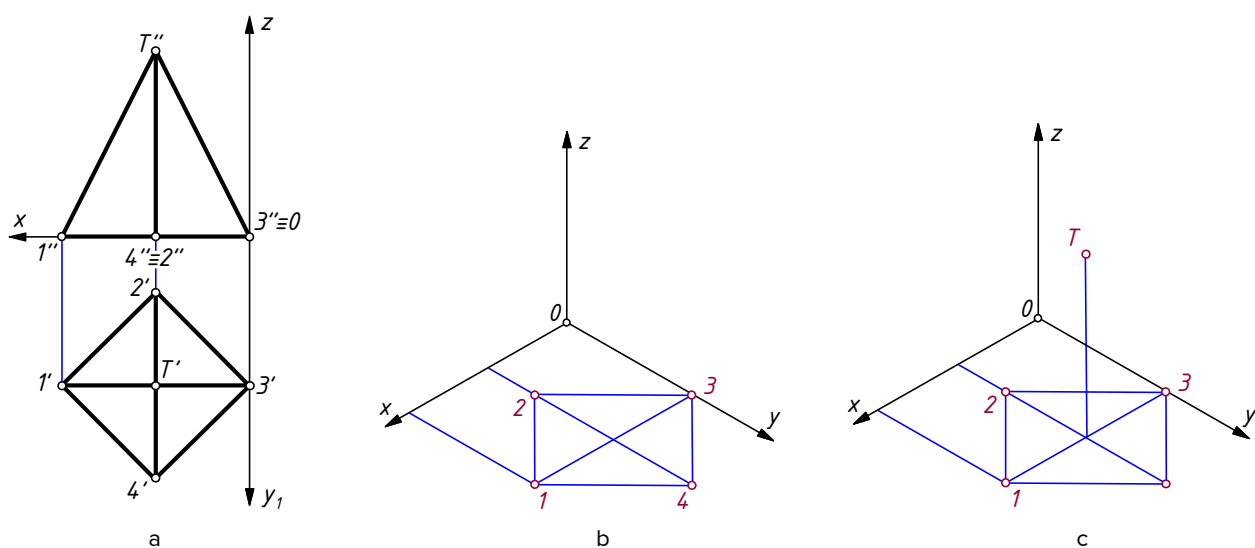
Prisma on seotud ristsomeetria teljestikuga nii, nagu on näidatud kaksvaatel. Kõigepealt joonestatakse teljestik. Seejärel kujutatakse prisma alumise põhja aksonomeetriline kujutis (joonis 3.105.b). Põhja tippude saamiseks kantakse tippude  $x$ - ja  $y$ -koordinaatlõigud kaksvaatelt üle ristsomeetrilisele kujutisele (vaata punkti kujutise tuletamine ristsomeetrias, joonis 3.87). Näiteks tipu  $I$  kujutise saamiseks kantakse  $x$ -teljele lõigu  $0I''$  pikkus ( $x$ -koordinaatlõik), seejärel saadud punktist joonestatud  $y$ -teljega paralleelsele abisirgele lõigu pikkus mõõdetud mõõda sidejoont  $x$ -teljest punktini  $I'$  ( $y$ -koordinaatlõik).

Prisma ülemise põhja tippude kujutiste tuletamiseks joonestatakse alumise põhja tippudest sirged paralleelselt  $z$ -teljega. Nendele sirgetele kantakse ülemiste tippude  $z$ -koordinaadi väärtused (näiteks lõigu  $I'''7'''$  pikkus), mis võrduvad prisma kõrgusega (joonis 3.105.c). Tuletatud punktid ühendatakse (joonis 3.105.d). Seejärel joonestatakse prisma lõplik kujutis ristsomeetrias, arvestades servade nähtavust, ja lisatakse sümmeetriateljed (joonis 3.105.e).

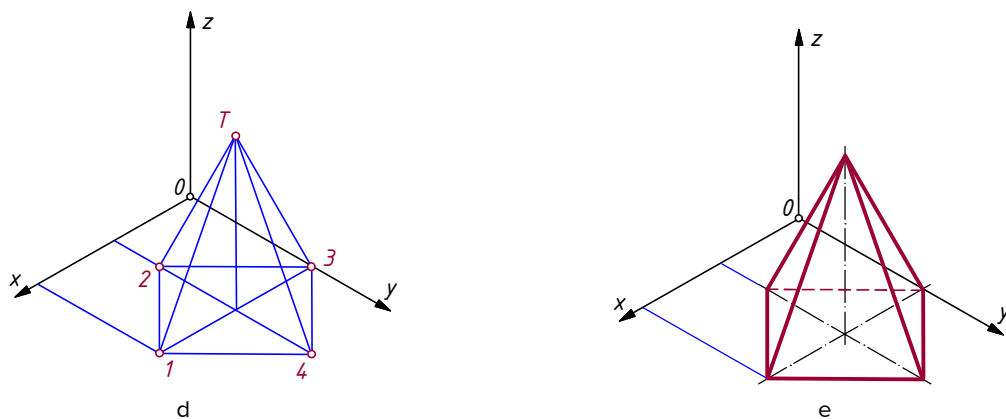
## 2. Püramiidi aksonomeetriline kujutis.

**Näide 3.31.** On antud korrapärase nelinurkse püstpüramiidi kaksvaade (joonis 3.106.a), mille järgi tuletatakse ristsomeetriline kujutis.

Püramiid on seotud ristsomeetria teljestikuga nii, nagu on näidatud kaksvaatel. Kõigepealt joonestatakse teljestik. Seejärel tuletatakse püramiidi põhja aksonomeetriline kujutis (joonis 3.106.b) sarnaselt prisma põhja kujutise tuletamisega.



Joonis 3.106. Püramiidi aksonomeetrilise kujutise tuletamine: a – kaksvaade; b, c, d – tuletamine; e – tuletatud aksonomeetriline kujutis.



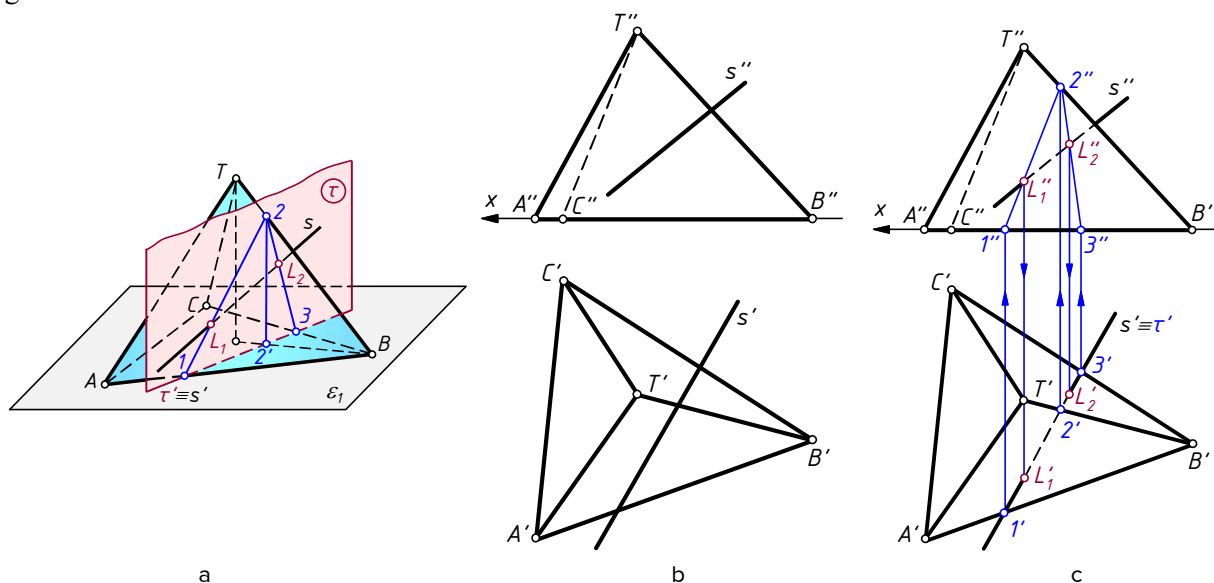
Joonis 3.106. (järg).

Püramiidi tipu  $T$  tuletamiseks joonestatakse põhja keskpunktist  $z$ -teljega paralleelne sirge ja sellele kantakse püramiidi kõrgus, mis mõõdetakse eestvaatelt  $x$ -teljest tipuni  $T''$  (joonis 3.106.c). Saadud tipud ühendatakse (joonis 3.106.d). Seejärel joonestatakse püramiidi lõplik kujutis ristsomeetrias, arvestades servade nähtavust ning lisatakse sümmeetriateljed (joonis 3.106.e).

## 18.4 TAHUKA LÕIKUMINE SIRGEGA

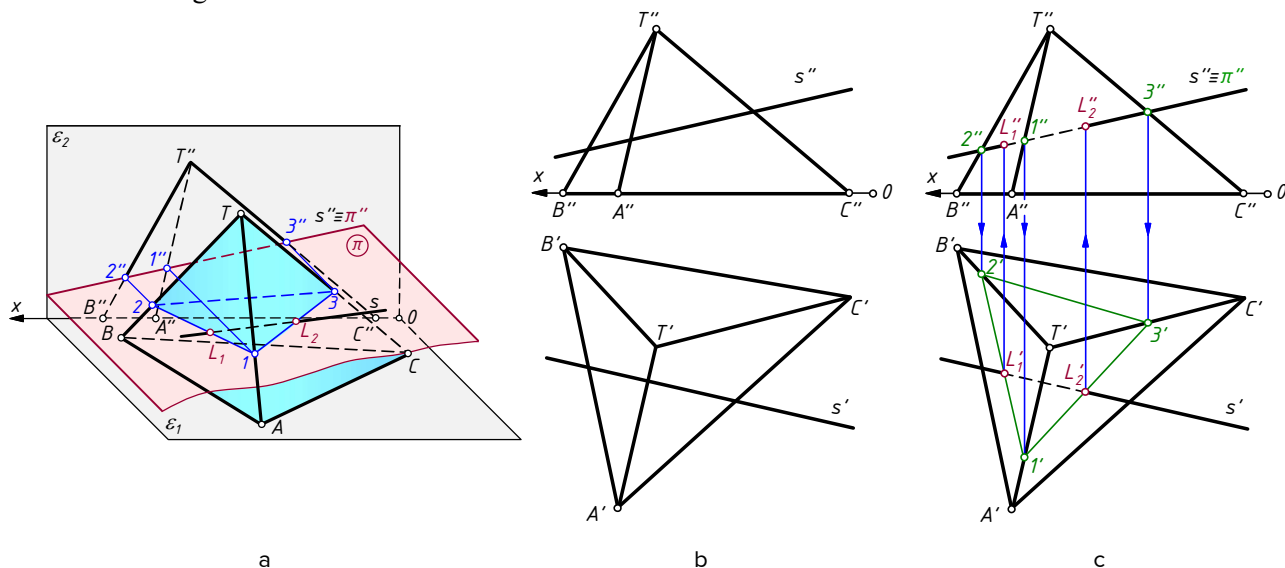
Joone ja pinna lõikeks on punkt (lõikepunkt). Tahuka ja sirgjoone lõikumisel on vaja leida need punktid, kus sirgjoon lõikab tahuka pinda. Lõikepunktid leitakse, rakendades sirge ja tasandi lõikumisülesande põhimõtet. Kui on teada millisel tahul otsitavad lõikepunktid asetsevad, siis saab need leida sirge ja selle tahu lõikepunktina. Kui aga tahk ei ole ette teada, siis kasutatakse lõikepunktide leidmiseks abitasandit. Tasand pannakse läbi antud sirge risti ühe ekraaniga (joonis 3.107). Tuletatakse selle tasandi ja tahuka lõikehulknurk ning leitakse punktid, kus sirge lõikab hulktahuka külgi. Need ongi otsitavad punktid.

**Näide 3.32.** On antud püramiid  $ABCT$  ja seda lõikav sirge  $s$  (joonis 3.107). Tuletada püramiidi ja sirge lõikepunktid. Läbi sirge  $s$  pannakse abitasand  $\tau$  risti põhiekraaniga ( $\tau \perp \varepsilon_1$ ) (joonis 3.107.a). Pealtvaatel sirge  $s$  ja abitasapinna  $\tau$  projektsioonid kattuvad ( $\tau' \equiv s'$ ) ning seetõttu lõikehulknurk projekteerub sirglõiguks. Sirge  $\tau'$  ja püramiidi servade lõikepunktid annavad lõikehulknurga tipud  $1', 2', 3'$ . Sidejoonte abil tuletatakse lõikehulknurga eestvaade  $1''2''3''$ . Kolmnurga  $1''2''3''$  ja sirge  $s''$  lõikepunktid määravad sirge ja püramiidi lõikepunktide eestvaated  $L_1''$  ja  $L_2''$ , ning pealtvaated  $L_1'$  ja  $L_2'$  tuletatakse sidejoonte abil. Lõpuks lahendatakse sirge  $s$  nähtavus kaksvaatel.



Joonis 3.107. Püramiidi ja sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.33.** On antud püramiid  $ABCT$  ja teda lõikav sirge  $s$  (joonis 3.108). Tuletada püramiidi ja sirge lõikepunktid. Selles näites on läbi sirge  $s$  pandud abitasand  $\pi$  risti esiekraaniga ( $\pi \perp \varepsilon_2$ ) (joonis 3.108). Eestvaatel sirge  $s$  ja abitasandi  $\pi$  projektsioonid kattuvad ( $\pi'' \equiv s''$ ), ning seetõttu lõikehulknurk projekteerub sirglõiguks. Sirge  $\pi''$  ja püramiidi servade lõikepunktid annavad lõikehulknurga tipud  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ . Sidejoonte abil tuletatakse lõikehulknurga pealtvaade  $1'2'3'$ . Kolmnurga  $1'2'3'$  ja sirge  $s'$  lõikepunktid määravad sirge ja püramiidi lõikepunktide pealtvaated  $L_1'$  ja  $L_2'$ , ning eestvaated  $L_1''$  ja  $L_2''$  tuletatakse sidejoonte abil. Lõpuks lahendatakse sirge  $s$  nähtavus kaksvaatel.



**Joonis 3.108.** Püramiidi ja sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

## 18.5 TAHKKEHADE TASANDILISED LÕIKED

Praktikas esineb detaile, mille lõpliku kuju määramiseks ei piisa ainult vaadetest. Sel juhul lõigatakse detaili ühe või mitme tasandiga ning joonisel esitatakse lõikaval tasandil tekkinud lõikekujund (lõige). **Lõige** on tasapinnaline kujund, mis tekib eseme läbilõikamisega tasandiga. Lõige koosneb detaili ja lõikava tasandi ühistest punktidest:

- joone ja pinna lõikeks on punkt (lõikepunkt);
- kahe pinna lõikeks on joon (lõikejoon);
- pinna ja keha lõikeks on pinnatükk.

Tahuka ja tasandi lõikejooneks on hulknurk, mille tippudeks on lõikava tasandi ja tahuka servade lõikepunktid, külgedeks aga lõikava tasandi ja tahkude lõikesirged.

Lõikejoone määramiseks on 2 võimalust:

- 1) sirge ja tasandi lõikumisülesande korduva lahendamisega leitakse lõikehulknurga tipud (abitasapinna võte);
- 2) kahe tasandi lõikumisülesande korduva lahendamisega leitakse lõikehulknurga küljed (jälgsirgete abil ja lisaekraani võte).

Praktikas kasutatakse mõlemaid viise harilikult kombineeritult.

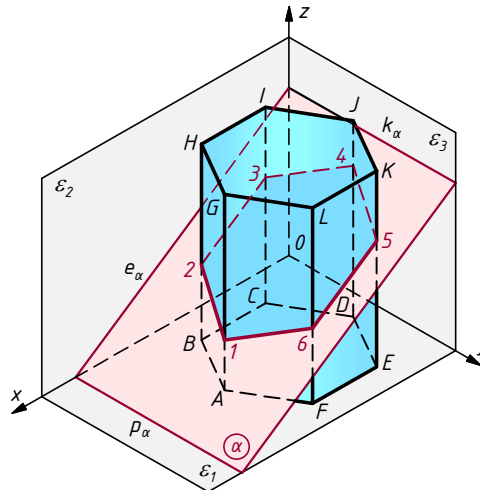
Enne ülesande lahendamist tuleb teha lähteandmete analüüs:

- tahuka tahkude arv ja asend ekraanide suhtes;
- millega on antud lõikav tasand ja kuidas ta asetseb ekraanide suhtes (üld- või eriasendis);
- millist lahendusmeetodit kasutada.

### 18.5.1 TAHUKA LÕIKUMINE ERIASENDILISE TASANDIGA

Lihtsalt lahenevad need ülesanded, kus lõikav tasand on risti põhi- või esiekraaniga. Sellel ekraanil tuleb lõikejoone projektsiooniks sirglõik. Otsitavad lõikepunktid märgitakse lõikesirge ja tahuka servade lõikepunktides. Lõikejoone teine projektsioon saadakse sidejoonte, aga vajadusel abisirgete abil (vt. punkt 18.2). Ülesannete püstitused võivad olla erinevad.

**Näide 3.34.** Joonisel 3.109 on toodud korrapärane kuusnurkne püstprisma, mille põhi  $ABCDEF$  asub põhiekraanil. Prismat lõikab tasand  $\alpha(p, e)$ . Tasand on esiekraaniga risti ( $\alpha \perp \varepsilon_2$ ). Lõikav tasand läbib prisma kõiki külgtahke ja -servi.

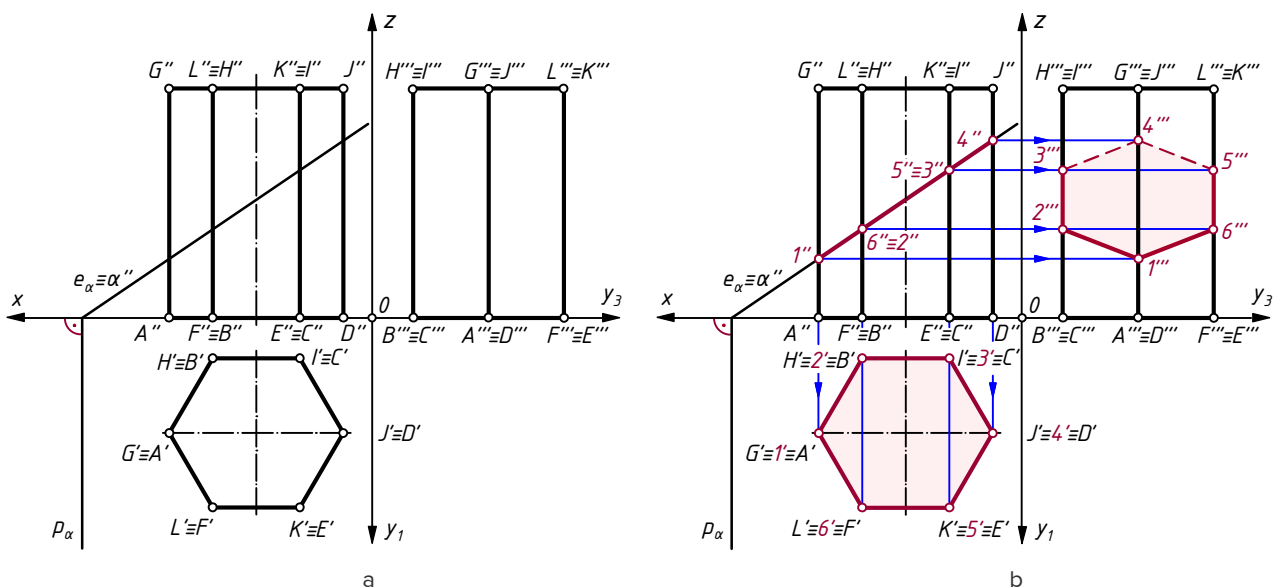


**Joonis 3.109.** Prisma lõikumise eriasendilise tasandiga piltkujutis.

Tuletada prisma antud kolmvaatel lõikejoon (joonis 3.110). Ülesande lahendamise esimeseks etapiks on määrata ja tähistada lõiketasandi ja prisma servade lõikepunktid. Et lõiketasand  $\alpha$  on esiekraaniga risti, siis lõike eestvaateks tuleb sirge, mis ühtib tasandi eestvaatega. Lõikehulknurga tipud eestvaatel on määratud lõikesirge ja tahuka servade lõikepunktidega  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$ ,  $6''$ .

Lõikehulknurga pealtvaateks on kuusnurk  $1'2'3'4'5'6'$ , mis ühtib prisma pealtvaatega.

Lõike külgvaate saamiseks tõmmatakse lõikehulknurga tippude eestvaadetelt sidejooned kuni lõikumiseni prisma vastavate servade külgvaadetega, mille lõikepunktid asuvad. Saadakse lõikehulknurga tippude külgvaated  $1'''$ ,  $2'''$ ,  $3'''$ ,  $4'''$ ,  $5'''$ ,  $6'''$ .



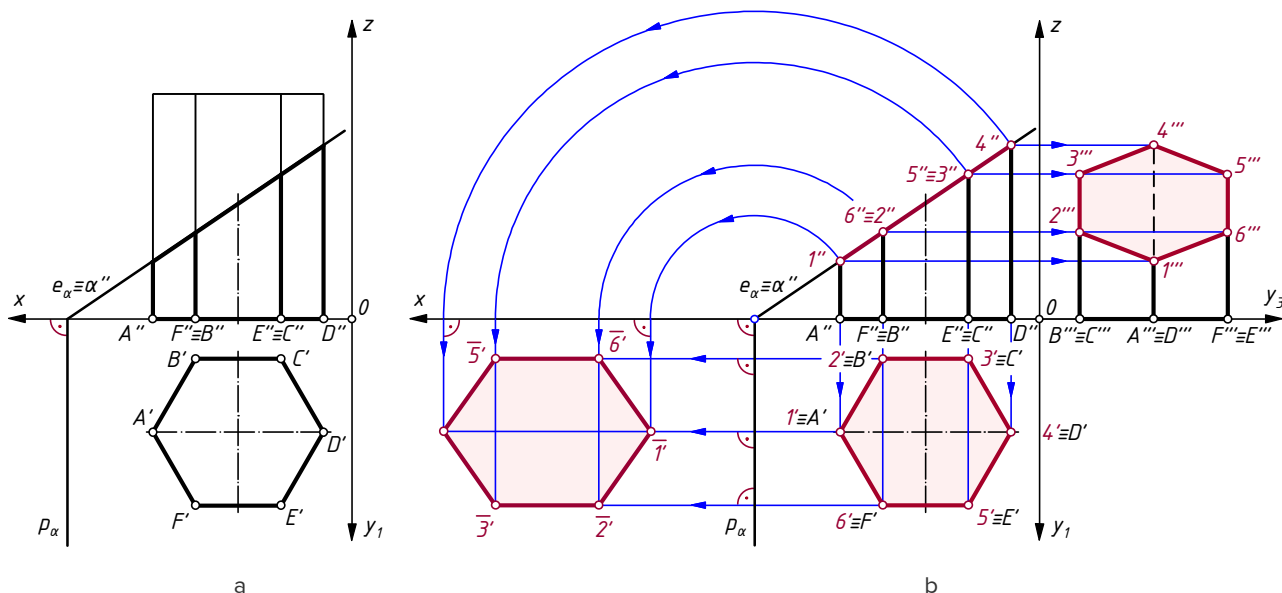
**Joonis 3.110.** Prisma lõikumine eriasendilise tasandiga: a – lähteandmed; b – lahendus kolmvaatel.

Seejärel tuleb tuletatud lõikehulknurga tipud ühendada ja määrata lõikejoonte nähtavus. Lõike eestvaade on nähtav. Lõikehulknurga pealtvaade langeb kokku prisma pealtvaate projektsiooniga. Külgvaatel on lõikehulknurga küljed  $1''2''$  ja  $1'''6'''$  nähtavad,  $3''4''$  ja  $4'''5'''$  varjatud,  $2''3''$  ja  $5'''6'''$  langevad kokku prisma väliskontuuriga.

**Näide 3.35.** On antud kaksvaatel korrapärane kuusnurkne püstprisma, mida on lõigatud esiekraani ristasandiga  $\alpha(p, e)$  (joonis 3.111.a). Tuletada pärast lõikamist alles jäänud prisma kolmvaade ja lõike tõeline kuju (joonis 3.111.b).

Ülesandes tuletatakse esmalt lõikepunktid analoogiliselt eelmisele näitele: määratakse ja tähistatakse otsitavad lõikepunktid eestvaatel  $1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6''$  ning seejärel pealtvaatel  $1', 2', 3', 4', 5', 6'$ .

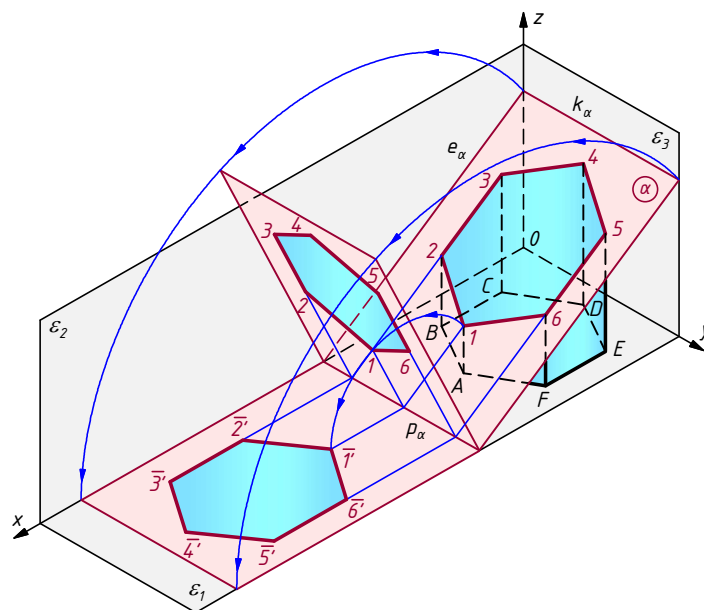
Vasakultvaate saamiseks tuletatakse esmalt prisma servade vasakult vaated. Selleks tuletatakse tippude  $A, B, C, D, E$  ja  $F$  vasakult vaated  $A''B''C''D''E''F''$ . Saadud punktidest joonestatakse servad paralleelselt  $z$ -teljega. Seejärel tõmmatakse lõikepunktide eestvaadetelt sidejooned kuni lõikumiseni prisma vastavate servadega külgvaatel ning saadakse punktid  $1''', 2''', 3''', 4''', 5''', 6'''$ .



**Joonis 3.111.** Prisma lõikumine eriasendilise tasandiga: a – lähteandmed; b – lahendus kolmvaatel.

Tuletatud lõikepunktid ühendatakse, määratakse prisma ja lõikepinna servade nähtavus. Lõikejoon on eestvaatel nähtav. Lõikehulknurga pealtvaade langeb kokku prisma pealtvaate projektsiooniga ja on nähtav. Külgvaatel (vaadates prisma vasakult) on prisma servad ja lõikeservad nähtavad, v.a tagumise serva osa punktide  $1'''$  ja  $4'''$  vahel tuleb kujutada varjatud kontuuriga.

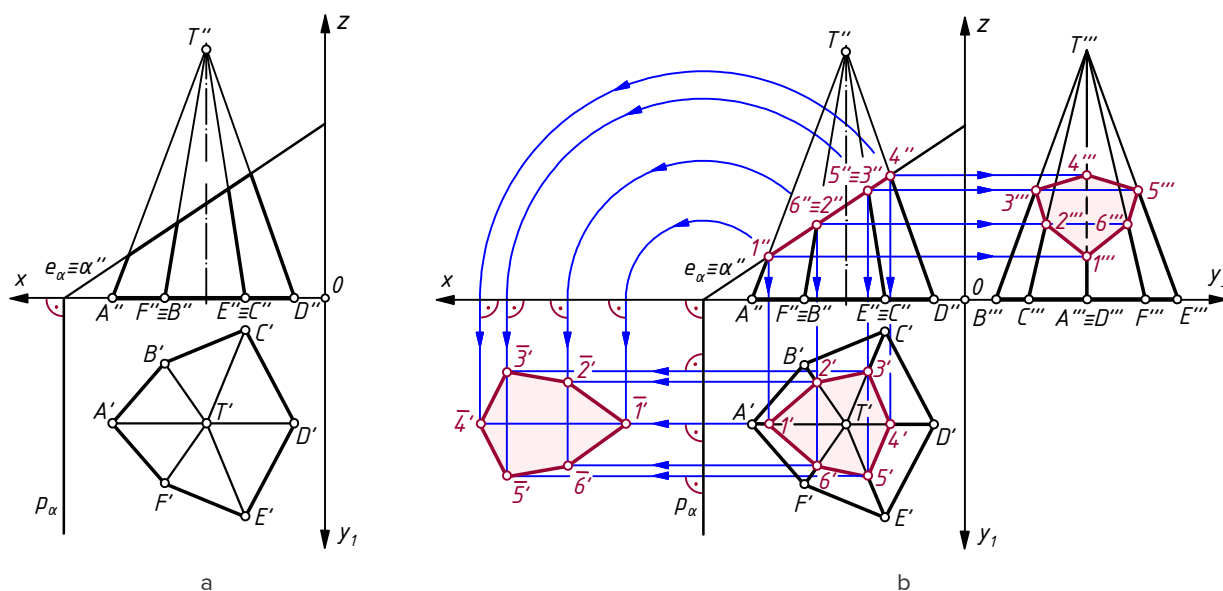
Kui lõikav tasand ei ole ühegi ekraaniga paralleelne, siis lõikehulknurk ei projekteeru ühelegi ekraanile tõelisel kujul. Lõike tõelise kuju saamiseks pööratakse lõikav tasand koos tekkinud lõikekujundiga kas põhiekraanile ümber lõiketasandi põhijälje  $p_\alpha$  (joonis 3.112) või esiekraanile ümber esijälje  $e_\alpha$ .



**Joonis 3.112.** Lõike tõelise kuju tuletamine pööramise teel ümber lõiketasandi põhijälje  $p_\alpha$ .

Siin näites pöörati prisma lõige koos tasandiga ümber põhijälje  $p_\alpha$ . Lõikekujundi tipud liiguvad mööda ringjooni, mis on esiekraaniga paralleelsed. Eestvaatel projekteeruvad need ringjoontena, pealtvaatel aga sirgjoontena, mis on  $x$ -teljega paralleelsed (joonis 3.111.b). Lõikepunktide eestvaadetelt joonestatud kaared kuni  $x$ -teljeni annavad punktide kaugused põhijäljest. Nii saadakse lõike tõeline kuju  $1'2'3'4'5'6'$ .

**Näide 3.36.** On antud kaksvaatel kuusnurkne püramiid  $TABCDEF$ , mida on lõigatud tasandiga  $\alpha(p, e)$  (joonis 3.113.a). Tasand  $\alpha$  on esiekraaniga risti, kuid põhiekraani suhtes kaldu. Tuletada lõigatud püramiidi kolmvaade ja lõike tõeline kuju (joonis 3.113.b).



**Joonis 3.113.** Püramiidi lõikumine eriasendilise tasandiga: a – lähteandmed; b – lahendus kolmvaatel.

Et lõikav tasand  $\alpha$  on risti esiekraaniga, siis projekteerub ta sinna sirgeks. Seega lõike eestvaateks tuleb sirglõik, mis ühtib tasandi eestvaatega  $\alpha''$ . Lõikehulknurga tippude eestvaated  $1'', 2'', 3'', 4'', 5''$  ja  $6''$  saadakse tasandi ja püramiidi servade lõikepunktides.

Lõike pealtvaatel saab kõik lõikepunktid tuletada sidejoonte abil. Eestvaate lõikepunktidest tõmmatakse sidejooned kuni lõikumiseni püramiidi vastavate servadega pealtvaatel ning saadakse punktid  $1', 2', 3', 4', 5', 6'$ .

Lõike vasakultvaate saamiseks tuletatakse esmalt püramiidi vasakultvaade  $T''A''B''C''D''E''F''$ . Seejärel tõmmatakse lõikepunktide eestvaadetest sidejooned kuni lõikumiseni püramiidi vastavate servadega külgsaatel ning saadakse punktid  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$ ,  $6''$ . Tuletatud punktid ühendatakse nii pealtvaatel kui ka külgsaatel lõikejooneks ning määratakse tahkudel olevate lõikejoonte nähtavus. Lõike pealt- kui ka vasakultvaate projektsioon on nähtav. Piltlikustamiseks on kõikidel vaadetel lõiketasapinnast kõrgemale jäävad püramiidi osad joonestatud välja kitsasjoontega.

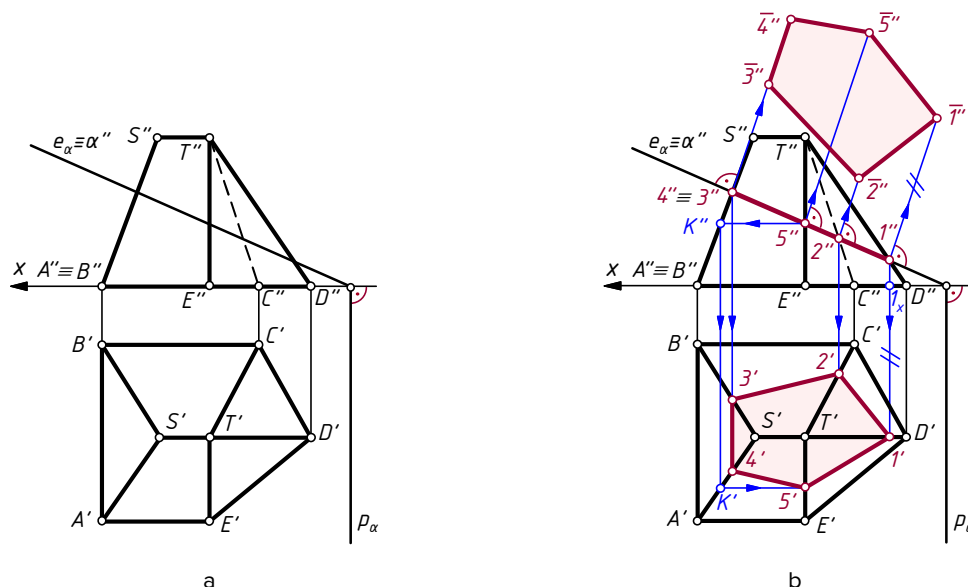
Lõike tõeline kuju  $I'2'3'4'5'6'$  on saadud lõikava tasandi pööramisega koos tekkinud lõikekujundiga ümber põhijälje  $p_\alpha$  põhiekraanile (vt. näide 3.35).

**Näide 3.37.** On antud kaksvaatel tahukas  $ABCDEST$ , mida on lõigatud esiekraani ristasandiga  $\alpha(p, e)$  (joonis 3.114.a). Tuletada lõike kaksvaade ja tõeline kuju.

Et tasand  $\alpha$  on risti esiekraaniga, siis lõike eestvaateks tuleb sirglõik (joonis 3.114.b), mis ühtib tasandi eestvaatega  $\alpha''$ . Lõikehulknurga tippude eestvaated  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$  saadakse tasandi ja tahuka servade lõikepunktides. Lõikepunktide  $1$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$  pealtvaadete  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ,  $4'$  saamiseks tõmmatakse sidejooned punktidest  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$  kuni lõikumiseni vastavate servadega pealtvaatel.

Lõikepunkti  $5$  pealtvaate  $5'$  leidmiseks tuleb kasutada abisirget, sest ta asetseb serval, mis on risti kaksvaate teljega. On kasutatud abisirget  $5K \parallel AE$ . Eestvaatel tõmmatakse punktist  $5''$  abisirge paralleelselt servaga  $A''E''$ . Serval  $A''S''$  saadakse abipunkt  $K''$ , millest tõmmatakse sidejoon kuni lõikumiseni servaga  $A'S'$ . Saadud punktist  $K'$  joonestatakse paralleelsirge servaga  $A'E'$  kuni lõikumiseni  $T'E'$ . Lõikepunkt ongi tuletatav punkti  $5$  pealtvaade  $5'$ . Leitud punktid ühendatakse lõikejooneks, ning lahendatakse nähtavuse probleem.

Antud näites tuletatakse lõike tõeline kuju pöörates see koos tasandiga  $\alpha$  esiekraanile ümber esijälje  $e_\alpha$ . Punktide  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$  tõmmatakse esijäljega  $e_\alpha$  ristsirged. Sirgetele kantakse lõikepunktide esikvoodid ehk  $y$  koordinaadid ( $1''T'' = 1'I_x$  jne.) ning saadakse lõike tõeline kuju  $I'2'3'4'5'6'$ .



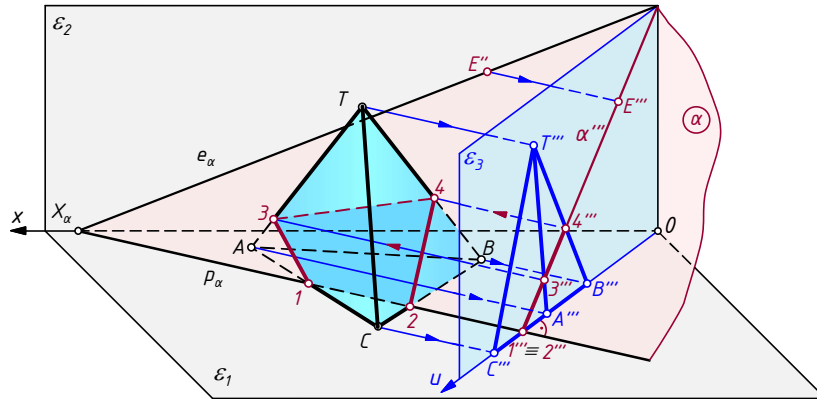
**Joonis 3.114.** Tahuka lõikumine eriasendilise tasandiga: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

## 18.5.2 TAHUKA LÕIKUMINE ÜLDASENDILISE TASANDIGA

Kui lõikav tasand on üldasendiline, siis on üks võimalus lahendada ülesannet kasutades lisaekraani. Uus ekraan võetakse risti lõikava tasandiga. Sellel meetodil saadud uuel kaksvaatel lõiketasand projekteerub sirgeks ning ülesanne lahendatakse eelmises punktis kirjeldatud viisil.

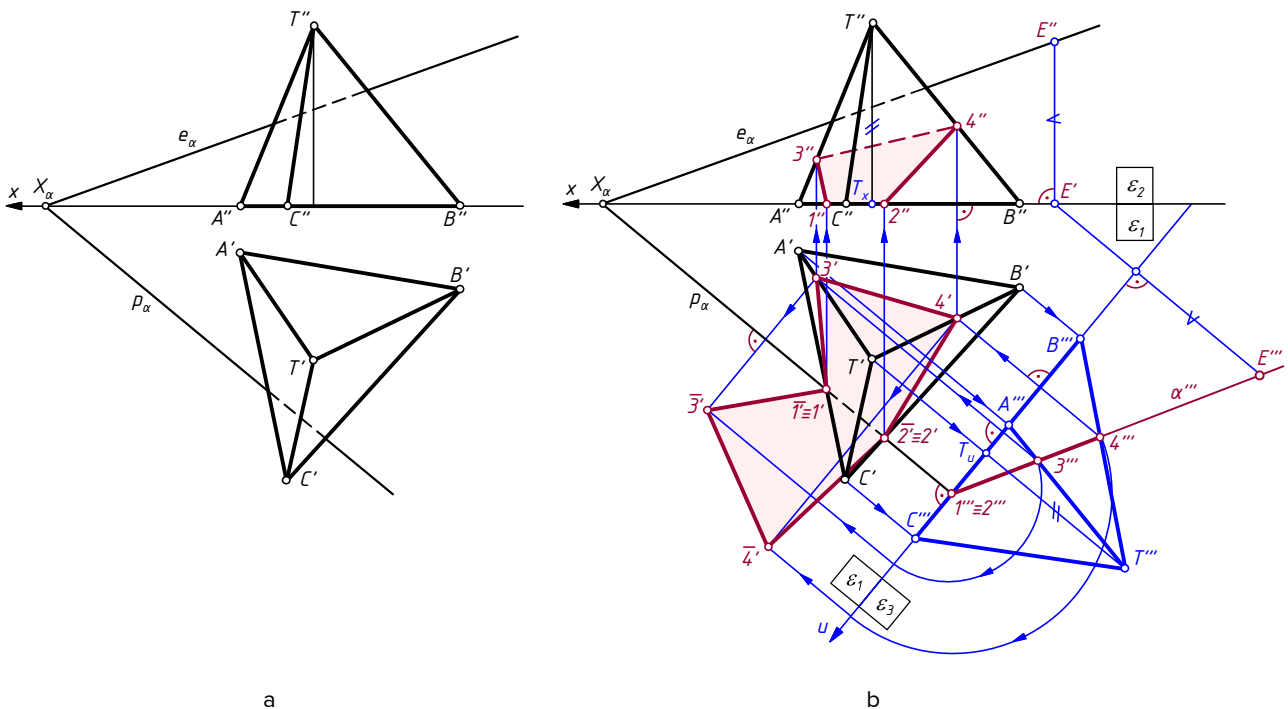
**Näide 3.38.** On antud püramiid  $ABCT$ , mida on lõigatud üldasendilise tasandiga  $\alpha(p_\alpha, e_\alpha)$ . Tuletada lõike kaksvaade, kasutades lisaekraani, ja lõike tõeline kuju.

Ülesande lahendamiseks võetakse uus  $\varepsilon_3$  ekraan risti põhiekraaniga  $\varepsilon_1$  ( $\varepsilon_3 \perp \varepsilon_1$ ) ja risti lõiketasandiga  $\alpha$  ( $\varepsilon_3 \perp \alpha$ ) (joonis 3.115 ja 3.116.b). Selleks joonestatakse uus telg  $u$  risti tasandi  $\alpha$  põhijäljega  $p_\alpha$  ( $u \perp p_\alpha$ ). Esmalt tuletatakse püramiidi kujutis uuel ekraanil  $\varepsilon_3$ . Püramiidi tippudest joonestatakse sidejooned risti uue teljega  $u$ , ning nendele kantakse teljest  $u$  tippude põhikvoodid (kaugused põhiekraanist). Kuna tipud  $A, B, D$  asuvad põhiekraanil, siis nende põhikvoot võrdub nulliga. Nende uued projektsioonid tekivad teljele  $u$ . Tipu  $T$  projekteerimisel kantakse sidejoonele  $T''T_x$  ( $T'''T_u = T''T_x$ ).



**Joonis 3.115.** Püramiidi ja üldasendilise tasandi lõikejoone tuletamine lisaekraani abil (piltkujutis).

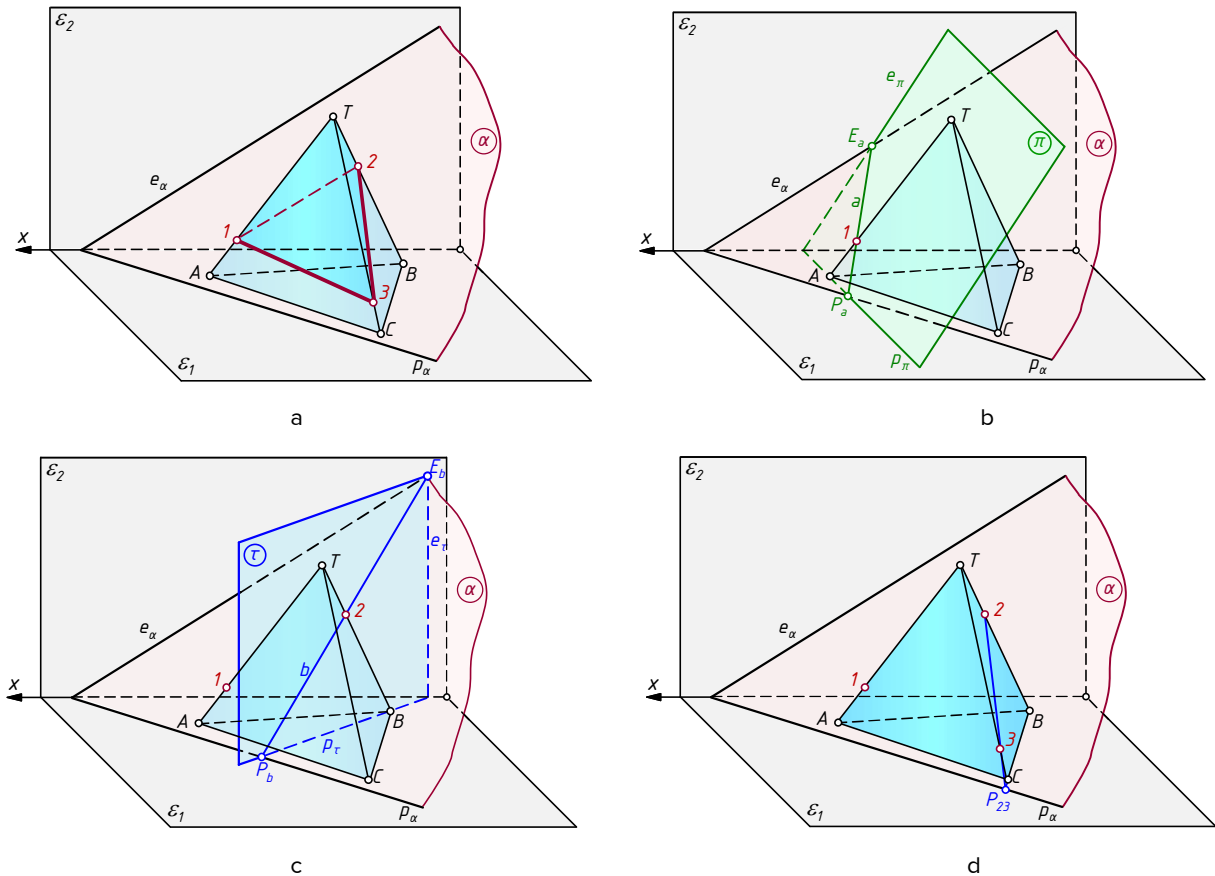
Tasandi  $\alpha$  uue projektsiooni  $\alpha'''$  tuletamiseks võetakse esijäljel vabalt punkt  $E''$ . Sidejoone abil leitakse  $x$ -teljel punkt  $E'$ . Punkti  $E'''$  leidmiseks tõmmatakse punktist  $E'$  sidejoon risti teljega  $u$  ja sellele kantakse punkti  $E$  põhikvoot  $E''E'$ . Tasand  $\alpha$  projekteerub ekraanile  $\varepsilon_3$  sirgjooneks  $\alpha'''$ , mille määravad põhijälje  $p$  ja uue telje  $u$  lõikepunkt, ning punkt  $E'''$ . Lisaekraanil tähistatakse otsitavad punktid  $1''', 2''', 3''', 4'''$  (püramiidi servade lõikepunktid lõiketasandiga). Lõikejoone uue vaate järgi tuletatakse sidejoonte abil lõikejoone pealtvaade ja selle järgi lõikejoone eestvaade. Tulemuse täpsuse kontrollimiseks tuleb jälgida, et lõikehulknurga tippude eestvaadete kaugused  $x$ -teljest peavad võrduma uute vaadete kaugustega  $u$ -teljest. Lõike tõeline kuju  $\bar{1}'\bar{2}'\bar{3}'\bar{4}'$  on tuletatud tasandi  $\alpha$  pööramisega põhiekraanile ümber põhijälje  $p_\alpha$ .



**Joonis 3.116.** Lõike kaksvaate ja tõelise kuju tuletamine lisaekraani abil: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

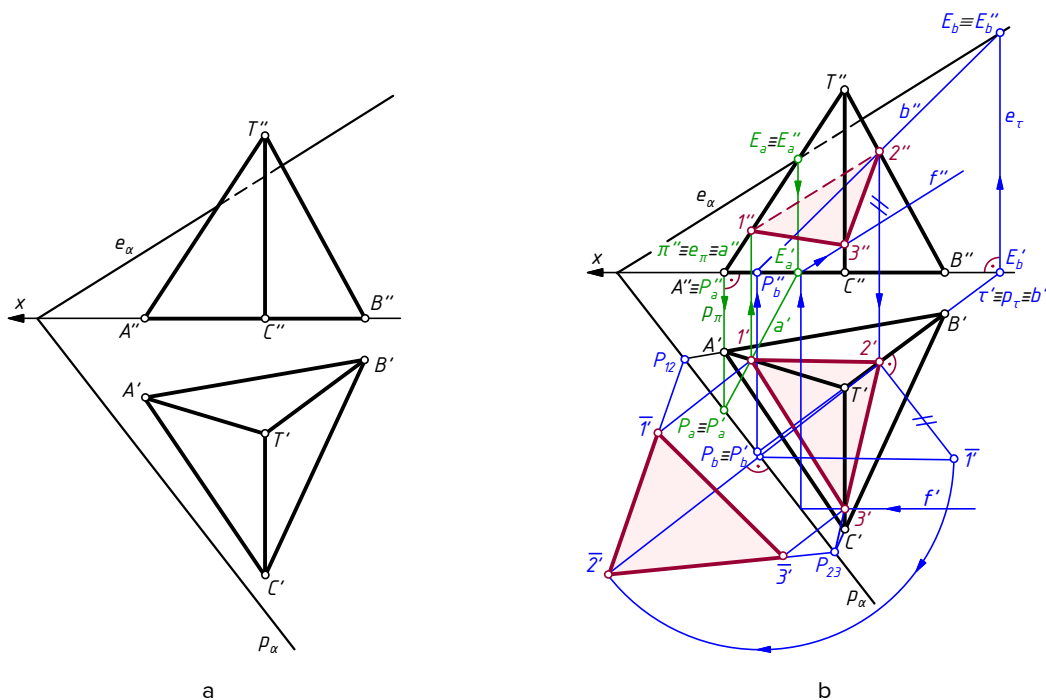
Tahuka ja üldasendilise tasandi lõike võib tuletada ka otseselt lähtekaksvaatel, s.t lisaekraani kasutamata.

**Näide 3.39.** On antud püramiid  $ABCT$ , mida on lõigatud üldasendilise tasandiga  $\alpha(p, e)$  (joonised 3.117.a ja 3.118.a). Tuletada lõike kaksvaade ja lõike tõeline kuju lisaekraani kasutamata. Selles näites tuletatakse lõikepunktid, kasutades kombineeritult sirge ja tasandi ning kahe tasandi lõikumist.



**Joonis 3.117.** Püramiidi ja üldasendilise tasandi lõikumise ülesande etapiviisiline lahendamine (piltkujutis).

Esimese otsitava punkti tuletamiseks kasutatakse abitasandi võtet. Kõigepealt tuletatakse serva  $AT$  ja tasandi  $\alpha$  lõikepunkt  $I$ . Selleks pannakse abitasand  $\pi$  läbi serva  $AT$  ( $AT \subset \pi$ ) risti esiekraaniga ( $\pi \perp \varepsilon_2$ ) (joonised 3.117.b ja 3.118.b). Tuleb lahendada kahe tasandi  $\pi$  ja  $\alpha$  lõikumine, kus tasandid on antud järgedega (vt. punkt 14.14). Tasandid  $\pi$  ja  $\alpha$  lõikuvad mõõda sirget  $a$  ( $\pi \times \alpha = a$ ). Et tasand  $\pi$  on risti esiekraaniga, siis lõikejoone eestvaate määravad punktid  $E_a''$  ja  $P_a''$  ( $a'' = E_a''P_a''$ ). Lõikesirge  $a$  pealtvaate  $a'$  tuletamiseks leitakse sidejoonte abil jälgpunktide teised projektsioonid  $E_a'$  ja  $P_a'$  ( $a' = E_a'P_a'$ ). Sirge  $a'$  ja serva  $AT'$  lõikepunkt annab esimese otsitava punkti  $I'$ . Sidejoone abil tuletatakse  $I''$ .



**Joonis 3.118.** Lõike kaksvaate ja tõelise kuju tuletamine lisaekraani kasutamata: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

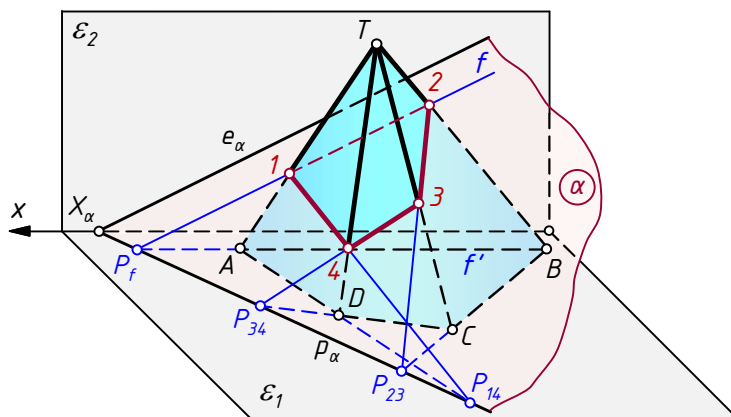
Teise otsitava lõikepunkti 2 tuletamiseks kasutatakse abitasandit  $\tau$ , mis võetakse läbi serva  $BT$  ( $BT \subset \tau$ ) risti põhiekraaniga ( $\tau \perp \varepsilon_I$ ) (joonised 3.117.c ja 3.118.b). Tasandid  $\tau$  ja  $\alpha$  lõikuvad mõõda sirget  $b$  ( $\tau \times \alpha = b$ ). Et tasand  $\tau$  on risti põhiekraaniga, siis lõikejoone pealtvaate määravad punktid  $E_b''$  ja  $P_b'$  ( $b' = E_b'P_b'$ ). Lõikesirge  $b$  eestvaate  $b''$  tuletamiseks leitakse sidejoonte abil jälgpunktide teised projektsioonid  $E_b''$  ja  $P_b''$  ( $b'' = E_b''P_b''$ ). Sirge  $b''$  ja serva  $B''T''$  lõikepunkt annab teise otsitava punkti  $2''$ . Sidejoone abil tuletatakse  $2'$ .

Sama meetodiga saaks tuletada ka viimase otsitava punkti, kuid selles ülesandes kasutatakse kahe tasandi lõikumise ülesannet. Lõikejoone tuletamisel lähtutakse lausest, et **tasandite samanimeliste jälgede lõikepunktid on nende tasandite lõikejoone jälgpunktideks**. Et punkt 2 asetseb serval  $BT$ , siis on ta tahu  $BCT$  ja tasandi  $\alpha$  lõikesirge üheks punktiks. Lõikesirge teiseks punktiks on tasandite  $BCT$  ja  $\alpha$  põhijälgede  $B'C'$  ja  $p_\alpha$  lõikepunkt  $P_{23}$  ( $P_{23} \equiv B'C' \times p_\alpha$ ) (joonised 3.117.d ja 3.118.b). Sirge  $P_{23}2'$  lõikepunkt servaga  $C'T'$  määrab lõike viimase otsitava punkti  $3'$ . Punkti 3 eestvaate  $3''$  tuletatakse tasandi nivoosirge frontaali abil, arvestades frontaali tunnust kaksvaatel (vt. punkt 14.12). Kui otsitavad lõikepunktid on tuletatud, ühendatakse need lõikejooneks ja määratakse nähtavus.

Lõike tõelise kuju  $I'2'3'$  võib konstrueerida külgede tõeliste pikkuste leidmisega kaksvaate alusel. Antud näites tuletatakse lõike tõeline kuju pööramise teel põhiekraanile ümber põhijälje  $p_\alpha$ . Esmalt tuletatakse punkti 2 kaugus tasandi  $\alpha$  põhijäljest  $p$  (tuletatakse punktist 2 tõmmatud põhilangusjoone pikkus, vt. punkt 14.13). Punkti 2 pealtvaatelt  $2'$  tõmmatakse ristsirge põhijäljega  $p$ . Konstrueeritakse täisnurkne kolmnurk, kus üheks kaatetik on põhilangusjoone pealtvaate pikkus (lõik punktist  $2'$  kuni põhijäljeni) ja teiseks kaatetik on punkti põhikvoot (lõik punktist  $2''$  kuni  $x$ -teljeni). Saadud täisnurkse kolmnurga hüpotenuus ongi punkti 2 kaugus põhijäljest. Hüpotenuusi pikkus pööratakse punktist  $2'$  tõmmatud ristsirgele ümber põhijälje  $p$ , saadakse punkti 2 pöörend  $2^T$ .

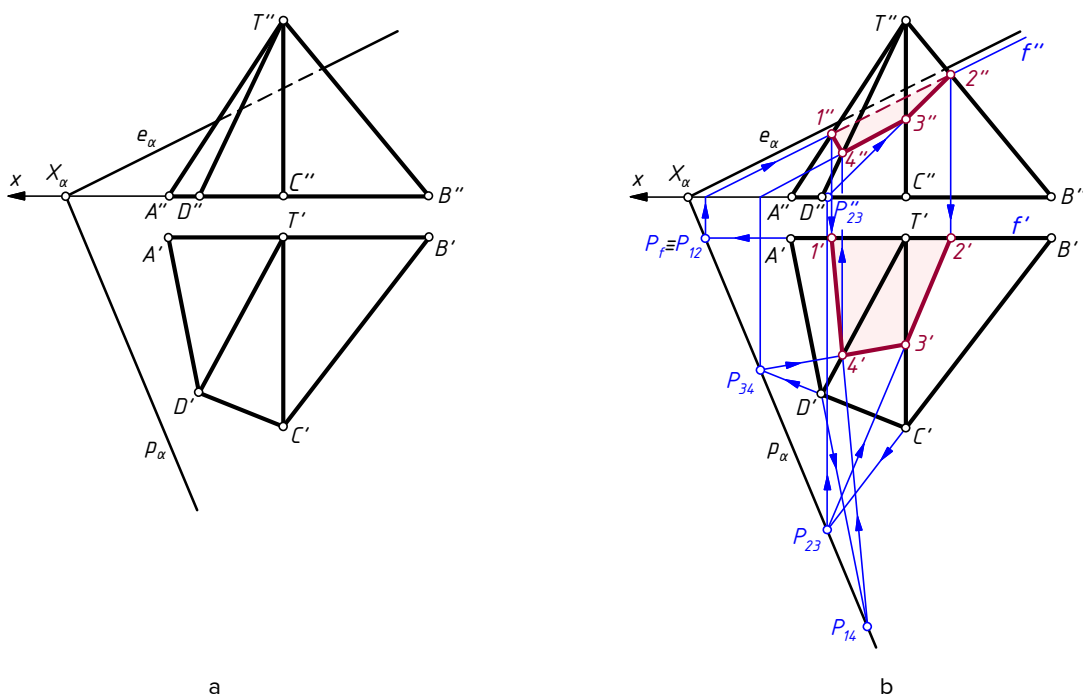
Punktid 1 ja 3 saaks analoogselt tuletada. Antud näites kasutatakse lõikejoonte jälgpunkte  $P_{12}$  ja  $P_{23}$ . Jälgpunktid jäävad pööramise ajal paigale. Punktist  $2^T$  joonestatakse sirged jälgpunktidesse  $P_{12}$  ja  $P_{23}$ , ning punktide  $1'$  ja  $3'$  ristsirged kuni lõikumiseni vastavalt sirgetega  $2^TP_{12}$  ja  $2^TP_{23}$ . Saadakse punktid  $1^T$  ja  $3^T$ . Ühendades tuletatud punktid saadakse lõike tõeline kuju.

**Näide 3.40.** On antud püramiid  $ABCDT$ , mida on lõigatud üldasendilise tasandiga  $\alpha(p, e)$  (joonised 3.119 ja 3.120.a). Tuletada lõike kaksvaade lisaekraani kasutamata. Selle näiteülesande lahendamise muudab lihtsamaks püramiidi eriasendiline tahk  $ABT$  (esiekraani nivoopind), sest tasand  $\alpha$  lõikab seda tahku mõõda frontaali (joonis 3.119 ja 3.120.b). Läbi tahu  $ABT$  pealtvaate  $A'B'T'$  võetakse frontaal  $f'$  ( $f' \parallel x$ ) kuni lõikumiseni tasandi  $\alpha$  põhijäljega  $p_\alpha$  punktis  $P_f$ . Sidejoone abil tuletatakse frontaali põhijälje eestvaade  $P_f''$ .



**Joonis 3.119.** Püramiidi ja üldasendilise tasandi lõikejoone tuletamine lisaekraani kasutamata.

Punkti  $P_f''$  joonestatakse vastavalt frontaali tunnusele kaksvaatel ( $f'' \parallel e$ ) frontaali eestvaade  $f''$ . Püramiidi servade  $AT$  ja  $BT$  lõikepunktid frontaaliga on otsitavad lõikepunktid  $1''$  ja  $2''$ . Seejärel tuletatakse sidejoonte abil nende punktide pealtvaated  $1'$  ja  $2'$  vastavatel servadel.



**Joonis 3.120.** Lõike kaksvaade tuletamine lisaekraani kasutamata: a – lähteandmed; b – lahendus kaksvaatel.

Ülejäänud tipud tuletatakse kasutades tasandi  $\alpha$  ja tahkude põhijälgede lõikepunkte (analoogselt lõikepunkti 3 tuletamisega eelmises näites). Tuletatakse tahul  $BCT$  asetseva lõikesirge põhijälg  $P_{23} \equiv B'C' \times p$ , mille ühendamisel punktiga  $2'$  saadakse lõikepunkti 3 pealtvaade  $3'$  serval  $CT$ . Seejärel tuletatakse lõikepunkti 4 pealtvaade  $4'$  serval  $DT$ , kasutades põhijälge  $P_{14} \equiv A'D' \times p$ . Tulemuse täpsuse kontrollimiseks võib kasutada põhijälge  $P_{34} \equiv C'D' \times p$ , sest lõikesirge  $3'4'$  pikendus peab lõikuma selles jälgpunktis. Lõikepunkti 4 eestvaade

saadakse sidejoone abil. Lõikepunkt 3 asub serval  $TC$ , mis on risti kaksvaate teljega. Kuna otse sidejoone abil ei saa punkti tuletada eestvaatel, on üks võimalus kasutada jälgpunkti  $P_{23}''$ . Jälgpunktist  $P_{23}$  joonestatakse sidejoon kuni  $x$ -teljeni. Saadakse jälgpunkt  $P_{23}''$ , millest joonestatakse sirge punkti  $2''$ . Lõikepunkt servaga  $T''C''$  annab otsitava lõikepunkti  $3''$ .

Punktid ühendatakse lõikejooneks ja lahendatakse nähtavuse probleem.

## 18.6 KAHE TAHUKA OMAVAHELINE LÕIKUMINE

Kahe tahuka pindade lõikejoon võib koosneda ühest või mitmest kinnisest murdjoonest. Lõikejoon tuletatakse sarnaselt tahuka ja tasandi lõikejoone tuletamisega kas sirge ja tasandi või kahe tasandi lõikumis-ülesande korduva lahendamise. Esimesel juhul leitakse ühe tahuka servade lõikepunktid teise tahuka tahkudega (saadakse lõikejoone tipud). Teisel juhul leitakse ühe tahuka tahkude lõikesirged teise tahuka tahkudega (saadakse lõikejoone küljed). Praktikaks kasutatakse neid võimalusi harilikult kombineeritult.

Tähelepanu tuleb pöörata lõikejoone väljajoonestamisele:

- ühendada võib ainult neid lõikejoone punkte, mis asetsevad mõlema tahuka ühel ja samal tahul;
- lõikejoon on nähtav, kui ta selles vaates on nähtav mõlema tahuka suhtes eraldi vaadatuna.

Kahest lõikuvast kehast koosneva liitumodeli kujutamisel tuleb varjatud kontuurjoonte joonestamisel arvestada järgmiste võimalustega:

- liitumudel koosneb kahest kehast, millest üks on terve, teine aga väljalõikega. Sellisel juhul näidatakse terve objekti kõik kontuurid ja väljalõikega objektil ainult alles jäävad kontuurid;
- liitumudel võib olla ühtne massiivne keha. Siin ei näidata massiivi sisse jäävaid kontuure;
- liitumudel koosneb kahest pinnast, mis mõlemad on terviklikud. Siin näidatakse objektide kõik kontuurid.

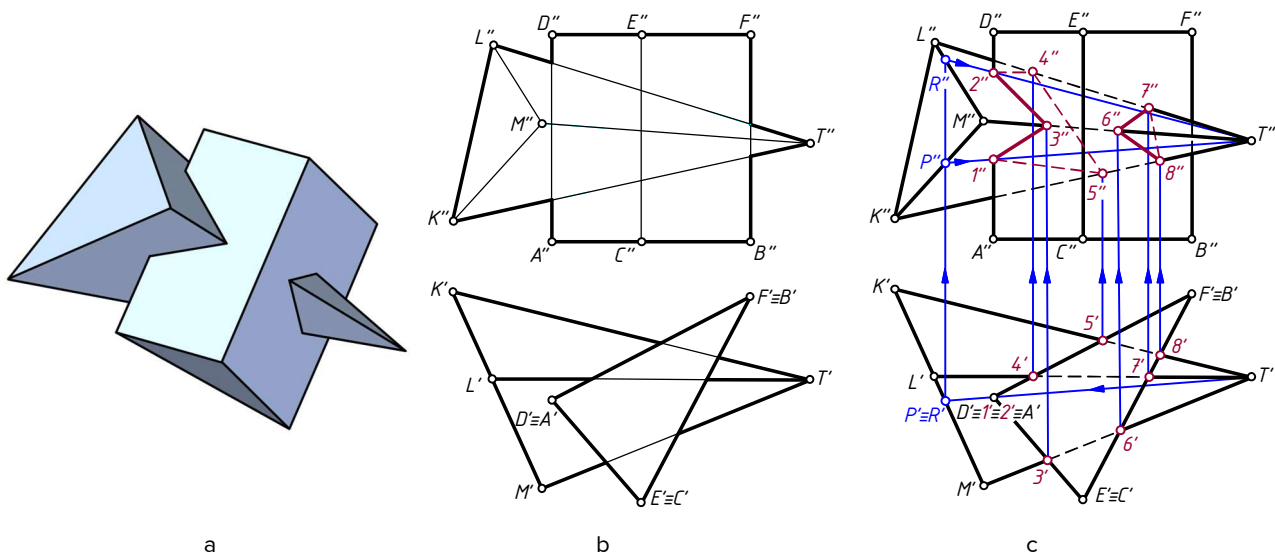
Sellisel liitumodelil puudub praktiline tähtsus, sest tegelikkuses sellist olukorda ei esine.

Kui ülesandes ei ole ette antud, millise liitkehaga on tegemist, siis otsustab lahendaja, kuidas selle probleemi lahendab.

**Näide 3.41.** On antud kolmnurkne prisma  $ABCDEF$  ja püramiid  $KLMT$  (joonis 3.121.a ja b). Tuletada prisma ja püramiidi pindade lõikejoon. Nähtavuse määramisel eeldada, et püramiid on tervik ja prismal on väljalõige.

Prisma serv  $AD$  lõikab püramiidi tahke  $KMT$  ja  $LMT$ . Antud lõikepunktide pealtvaated  $1'$  ja  $2'$  ühtivad pealtvaatel serva  $AD$  pealtvaatega  $A'D'$  (joonis 3.121.c). Punktide  $1$  ja  $2$  eestvaate tuletamiseks võetakse läbi tipu  $T$  ja serva  $AD$  põhiekraani ristasand  $\tau$  ( $\tau \perp \varepsilon_l$ ). Lõikel tekib kolmnurk  $TPR$ . Tuletades punktide  $P$  ja  $R$  eestvaated, saadakse kolmnurga küljed  $T''R''$  ja  $T''P''$ . Nende külgede lõikepunktid servaga  $AD$  annavad otsitavad lõikepunktid  $1''$  ja  $2''$ .

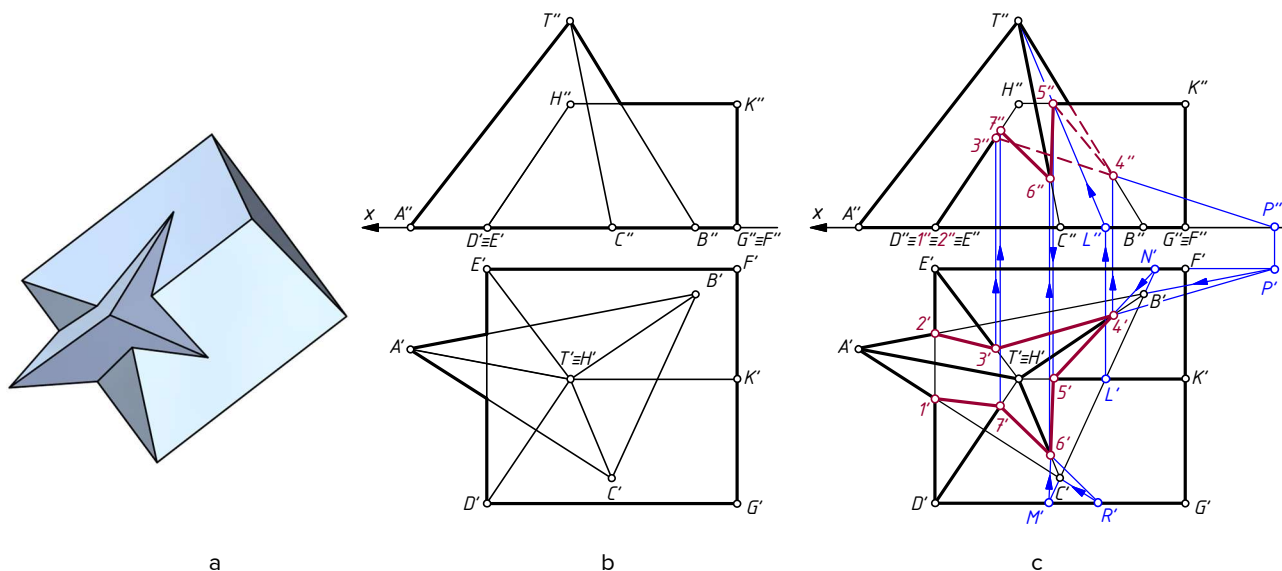
Püramiidi servad  $TK$ ,  $TL$  ja  $TM$  lõikavad prisma külgtahke punktides 3, 4, 5, 6, 7 ja 8. Nende punktide pealtvaated  $3'$ ,  $4'$ ,  $5'$ ,  $6'$ ,  $7'$  ja  $8'$  on kohe määratavad. Sidejoonte abil tuletatakse nende punktide eestvaated  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$ ,  $6''$ ,  $7''$  ja  $8''$ . Kõik otsitavad lõikepunktid on tuletatud. Edasi ühendatakse punktid lõikejooneks, arvestades, et ühendada võib need punktid, mis asetsevad mõlema tahuka ühel ja samal tahul. Määratakse nähtavus. Punkte  $1''$  ja  $2''$  ei saa lõikejooneks ühendada, sest need asuvad püramiidi eri tahkudel.



**Joonis 3.121.** Tahukate lõikumine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

**Näide 3.42.** On antud püramiid  $ABCT$  ja katusekujuline prisma  $DEFGKH$  (joonis 3.122.a ja b). Tuletada prisma ja püramiidi pindade lõikejoon. Nähtavuse määramisel eeldada, et liitmodel on ühtne massiivne keha.

Kohe saab ära tähistada lõikepunktid 1 ja 2 seal, kus prisma serv  $DE$  lõikub püramiidi servadega  $AB$  ja  $AC$  (joonis 3.122.c). Järgnevalt tuletatakse prisma serva  $HK$  (harjajoone) lõikepunkt püramiidi tahuga  $BCT$ . Selleks võetakse põhiekraani risttasand  $\tau$  ( $\tau \perp \varepsilon_l$ ) läbi serva  $HK$  ja saadakse lõikejoon  $TL$ . Sirgete  $KH$  ja  $TL$  lõikepunkt eestvaatel määrab otsitava lõikepunkti  $5''$ . Pealtvaade  $5'$  leitakse sidejoone abil. Leitud punkt 5 on tahkude  $BCT$  ja  $HKGD$  lõikesirge üheks punktiks. Lõikesirge teine punkt tuletatakse antud tahkude põhijälgede  $B'C'$  ja  $D'G'$  lõikepunktina  $M'$ , mis on otsitava lõikesirge jälgpunktiks. Joonestatud sirge  $M'5'$  lõikumine servaga  $T'C'$  annab lõikepunkti  $6'$ . Sarnaselt tuletatakse lõikepunkt  $7'$  serval  $T'D'$ , kasutades tahkude  $ACT$  ja  $HKGD$  põhijälgede  $A'C'$  ja  $D'G'$  lõikepunkti  $R'$ .



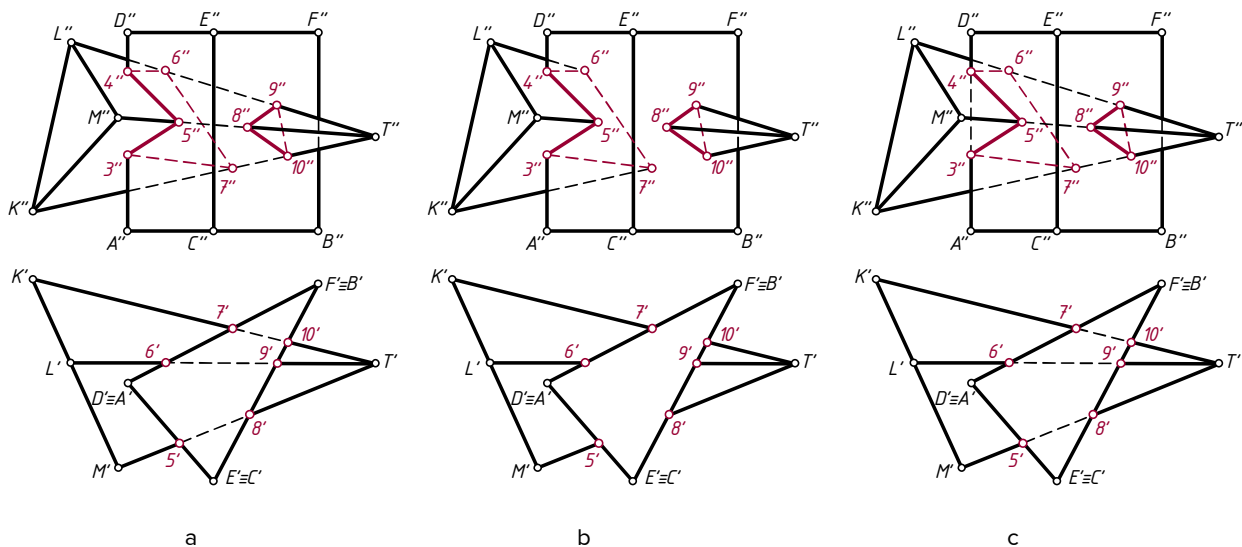
**Joonis 3.122.** Tahukate lõikumine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kaksvaatel.

Analoogselt kasutatud võttega tuletatakse esmalt lõikepunkt  $4'$  serval  $T'B'$ , kasutades tahkude  $BCT$  ja  $HKFE$  põhijälgede  $B'C'$  ja  $E'F'$  lõikepunkti  $N'$ . Lõikepunkt  $3'$  tuletatakse serval  $T'E'$ , kasutades tahkude  $ABT$  ja  $HKFE$  põhijälgede  $A'B'$  ja  $E'F'$  lõikepunkti  $P'$ .

Tuletatud punktide eestvaated  $3''$ ,  $4''$ ,  $6''$  ja  $7''$  leitakse sidejoonte abil. Punktide tuletamise täpsust saab kontrollida tahkude lõikejoonte põhijälgede eestvaadete abil. Näiteks lõikesirge  $3''4''$  pikendus peab minema punkti  $P''$ .

Lõpuks ühendatakse punktid lõikejooneks ja määratakse nähtavus. Kuna tegemist on ühtse massiivse kehaga, siis määratakse nähtavus massiivi välistel servadel (objekti kitsad jooned on jäetud konstruktsioonide tegemiseks).

Joonisel 3.123 on toodud joonisel 3.121 lahendatud liitmudeli lõikejoone kujutamise kolm võimalust.



**Joonis 3.123.** Tahkate lõikumine: a – püramiid on terviklik ja prisma väljalõikega; b – ühtne massiivne keha; c – mõlemad on terviklikud

## 19 KÕVERJOONED JA KÕVERPINNAD

### 19.1 JOONTE PROJEKTSIOONILISED OMADUSED

Joont võib vaadelda kas liikuva punkti trajektoorina või kahe pinna lõikena. Joonete liigitus on toodud joonisel 2.124.

Iga pinna tasandiline lõige osutub **tasakõveraks** (erijuhul sirgeks). Tasakõverad asuvad üleni ühel tasapinnal. Tuntuim tasakõver on ringjoon.

Kahe kõverpinna lõikejoon on üldjuhul **ruumikõver**. Tuntuim ruumikõver on kruvijoone.

**Graafilistel kõveratel** puudub kindel seaduspärasus. Neid saab esitada ainult graafiliselt (katse- andmetest saadud kõver).

**Analüütilised jooned** on võrranditega määratavad jooned:

- algebralised jooned on esitatavad ristkoordinaadistikus algebraliste võrranditega;
- transtsendentsed jooned on esitatavad ristkoordinaadistikus transtsendentsete võrranditega.

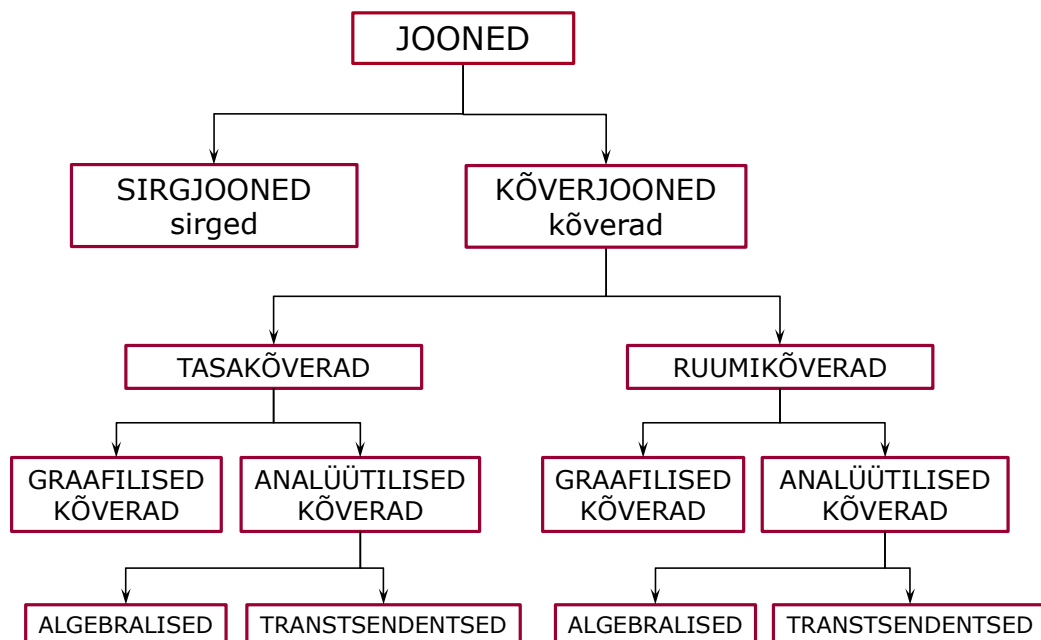
Algebraliste joonte puhul kasutatakse nn **järku** mõistet:

- **algebralise tasakõvera järk** on võrdne selle kõverjoone võrrandi astmega. Geomeetrilises tõlgenduses tähendab algebralise tasakõvera järk selle joone lõikepunktide arvu sirgega;
- **algebralise ruumikõvera järku** määrab selle kõvera ja tasandi lõikepunktide arv.

Sirge on ainus esimest järku joon.

**28. Algebraliste tasakõverate järk on projekteerimise suhtes invariantne, s.t sõltumata projekteerimise liigist projekteeruvad nad sama järku joonteks.**

Nii näiteks projekteeruvad teist järku jooned üldiselt samanimelisteks kujutisteks, s.t ellips projekteerub ellipsiks, hüperbool hüperbooliks ja parabool parabooliks.



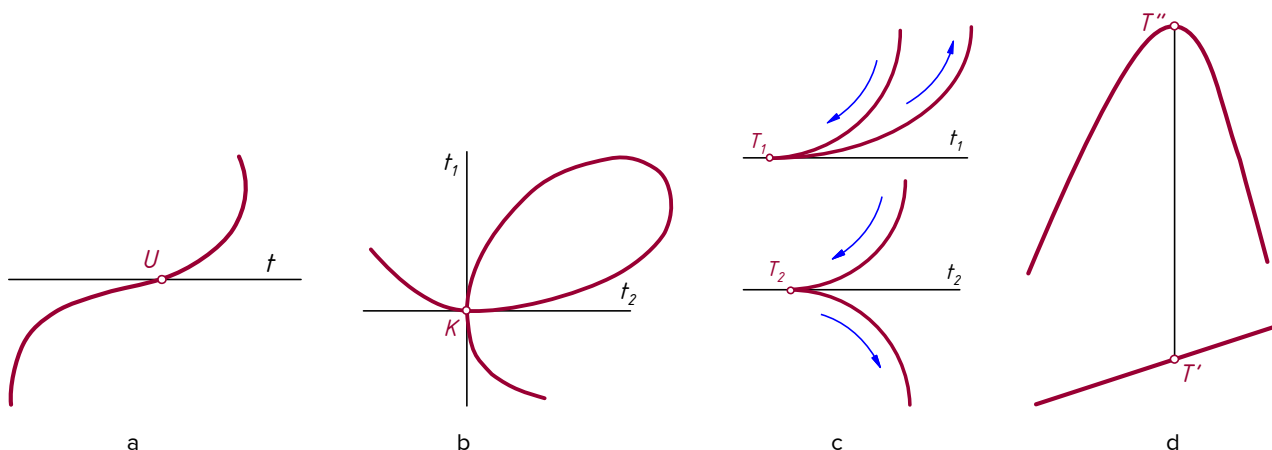
Joonis 3.124. Joonte liigitus.

Kõverjoonte kujutamise seisukohalt on oluline ka järgmine seaduspärasus.

## 29. Kõverjoone puutuja ja puutepunkt projekteeruvad vastavalt joone kujutise puutujaks ja puutepunktiks.

Kõrgemat järku joontel võib olla mitmesuguseid iseäraseid punkte, millest olulisemad on järgmised.

- **Käänupunkt**  $U$  (joonis 3.125.a) on punkt, kus kõver muutub kas nõgusast kumeraks või ümberpöördukt. Puutuja  $t$  käänupunktis on ühtlasi kõvera lõikajaks.
- **Sõlmpunkt**  $K$  (joonis 3.125.b) on punkt, kus kõver lõikab iseennast. Kõveral on selles punktis kaks erinevat puutujat  $t_1$  ja  $t_2$ .
- **Taasisipõördepunkt**  $T_1, T_2$  (joonis 3.125.c) on punkt, kus kõver muutub vastassuunaliseks. Selles punktis on kõvera mõlemal harul ühine puutuja  $t_1, t_2$ .
- **Haripunkt**  $T$  (joonis 3.125.d) on ekstremaalse kõrgusega koht antud joonel.



Joonis 3.125. Kõverjoonte iseäraseid punkte: a – käänupunkt; b – sõlmpunkt; c – tagasipõördepunkt; d – haripunkt.

Ruumikõverate projekteerimisel tuleb arvestada, et ruumikõvera iga punkt võib projekteeruda kujutiskõvera mingiks iseäraseks punktiks ja ruumikõvera kujutiseks ei saa tulla sirge.

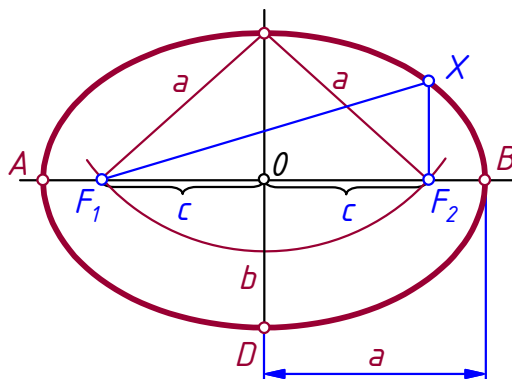
## 19.2 TEIST JÄRKU JOONED

Teist järku jooned on:

- ellips;
- hüperbool;
- parabool.

**Ellips.** Ellips on tasandiline joon (joonis 3.126), mille igast punktist ( $X$ ) kuni joone tasandi kahe kindla punktini (joone fookuseni –  $F_1, F_2$ ) mõõdetud kauguste summa on jääv:  $XF_1 + XF_2 = 2a$ . Ellipsi elemendid on:

- $AB = 2a$  – pikem telg ( $a$  – pikem pooltelg);
- $CD = 2b$  – lühem telg ( $b$  – lühem pooltelg);
- $O$  – keskpunkt (poolitab kõiki seda punkti läbivaid ellipsi kõõle);
- $F_1, F_2$  – fookused.

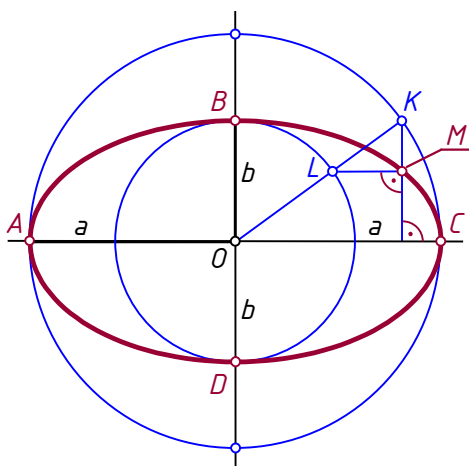


Joonis 3.126. Ellips.

Ellips tekib koonilise või silindrilise pinna lõikamisel tasandiga, mis ei ole paralleelne ühegi moodustajaga. Ellips, mille poolteljed on võrdsed, osutub ringjooneks. Üldjuhul on ringjoone projektsiooniks ellips.

Järgnevalt on kirjeldatud mõningaid ellipsi konstruktsioone.

**1) Ellipsi konstrueerimine telgede järgi ehk telgringjoonte võtte.** Olgu antud ellipsi poolteljed  $a = OA$  ja  $b = OB$  (joonis 3.127). Ümber keskpunkti  $O$  joonestatakse ringjooned raadiustega  $a$  ja  $b$ . Suuremal telgringjoonel valitakse vabalt punkt  $K$  ja joonestatakse raadiuslõik  $OK$  lõikab väiksemat ringjoont punktis  $L$ . Punktist  $K$  tõmmatakse sirge paralleelselt lühema teljega ja punktist  $L$  sirge paralleelselt pikema teljega. Nende sirgete lõikepunkt ongi ellipsi punkt  $M$ .



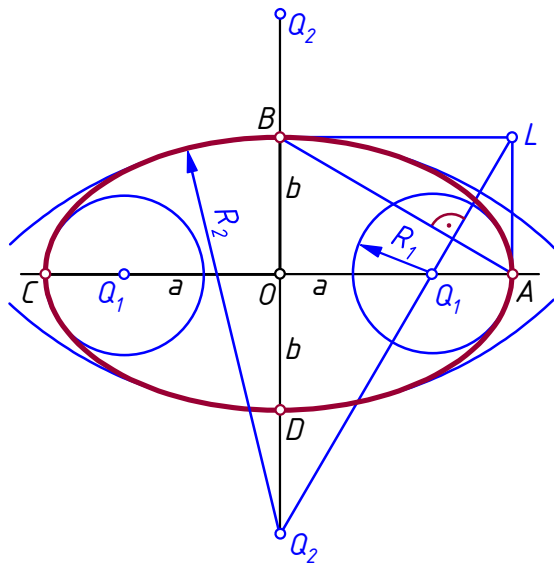
Joonis 3.127. Ellipsi punkti leidmine telgede järgi.

Praktikas on otstarbekohane jaotada telgringjoon 12 võrdseks osaks ja kirjeldatud konstruktsiooniga tuletada ellipsi punktid. Selliselt saadud punktide arv on küllaldane korrektse ellipsi väljajoonestamiseks.

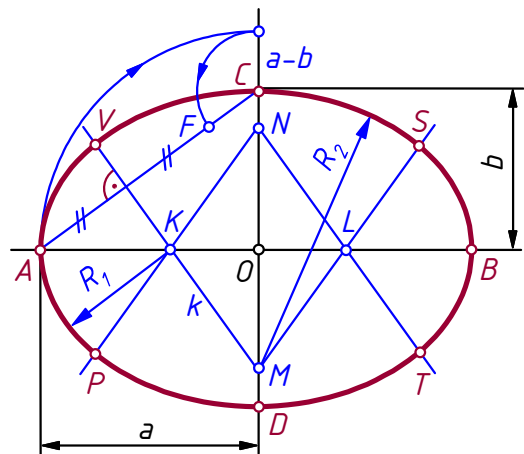
**2) Ellipsi lähiskõver kõverusringjoonte abil.** Et ellipsi täppiskonstruktsioonid on suhteliselt keerulised, siis lubatakse tehnilistel joonistel ellipseid asendada ringikaartest koosnevate lähiskõveratega. Ellipsi kõverusraadiused haripunktides  $A$  ja  $B$  on vastavalt  $R_1 = b^2/a$  ja  $R_2 = a^2/b$ , kus  $a$  ja  $b$  on ellipsi poolteljed (joonis 3.128).

Kõverusringjoonte tsentre  $Q_1$  ja  $Q_2$  tuletamiseks tõmmatakse haripunktide  $A$  ja  $B$  sirged paralleelselt telgedega. Nende lõikepunktist  $L$  tõmmatakse ristsirge lõiguga  $AB$ . Ristsirge lõikab ellipsi telgsirgeid otsitavates kõveruskeskpunktides  $Q_1$  ja  $Q_2$ , kusjuures  $AQ_1 = R_1$  ja  $BQ_2 = R_2$ . Ellipsi saamiseks joonestatakse haripunktide ümbruses paraja pikkusega kaared raadiustega  $R_1$  ja  $R_2$ . Ellipsi vahepealsed tükid kaarte vahel joonestatakse lekaali abil.

Joonestamisel tuleb silmas pidada, et kirjeldatud konstruktsioon on lähiskonstruktsioon. Väiksemate kõverusringjoonte kaared jäävad ellipsi sisse, suuremate omad aga ellipsist väljapoole.



Joonis 3.128. Ellipsi lähiskõver kõverusringjoontest.



Joonis 3.129. Ellipsit lähendav ovaal.

**3) Ellipsit lähendav ovaal.** Ellipseid võib asendada ka ovaalidega, s.o kõveratega, mis koosnevad sujuvalt ühendatud ringikaartest. On antud ellipsi teljed  $AB$  ja  $CD$ , siis  $OA = a$  ja  $OC = b$  (joonis 3.129). Joonestatakse kõõl  $AC$  ja sellest lahutatakse lõik  $CF$  ( $CF = a - b$ ). Lõigule  $AF$  konstrueeritakse keskristsirge  $k$ . Sirge  $k$  lõikab telgsirgeid punktides  $K$  ja  $M$ . Punktid  $L$  ja  $N$  on telgede suhtes sümmeetrilised. Leitud punktid võetakse ringjoonte tsentriteks. Punktide  $K$  ja  $L$  joonestatakse kaared raadiusega  $R_1$  ning punktide  $M$  ja  $N$  raadiusega  $R_2$ . Ringikaared liituvad sujuvalt tsentrite sirgeil punktides  $V$ ,  $P$ ,  $S$  ja  $T$ .

**Hüperbool.** Hüperbool on tasandiline joon, mille igast punktist kuni joone tasandi kahe kindla punktini (joone fookusteni  $-F_1, F_2$ ) mõõdetud kauguste vahe on jääv:  $|XF_1 - XF_2| = 2a$  (joonis 3.130). Hüperbool koosneb kahest lahusseisvast lõpmata pikkade harudega kõverast, mis keskpunktist kaugenedes muutuvad üha sirgemaks. Hüperbooli elemendid on:

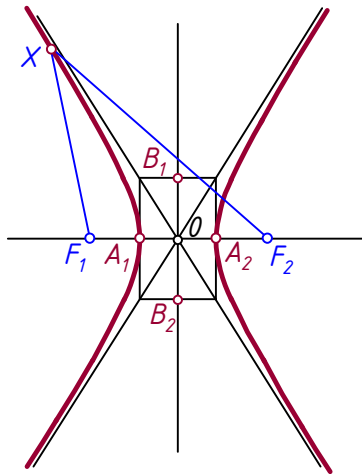
- $A_1$  ja  $A_2$  – haripunktid;
- $A_1A_2 = 2a$  – hüperbooli reaaltelg;
- $B_1B_2 = 2b$  – hüperbooli imaginaartelg;
- $O$  – keskpunkt;
- $F_1, F_2$  – fookused.

Hüperbool tekib koonilise pinna lõikamisel tasandiga, mis on paralleelne koonuse kahe moodustajaga. Sirged on hüperbooli asümptoodid. Asümptoodid on sirged, millele hüperbooli harud piiramatult lähenevad. Hüperbooli asümptootide võib ka vaadelda kui puutujaid ebapunktides, mida hüperboolil on kaks. Hüperbooli, mille poolteljed on võrdsed ( $a = b$ ), nimetatakse risthüperbooliks. Risthüperbooli asümptoodid on teineteisega risti.

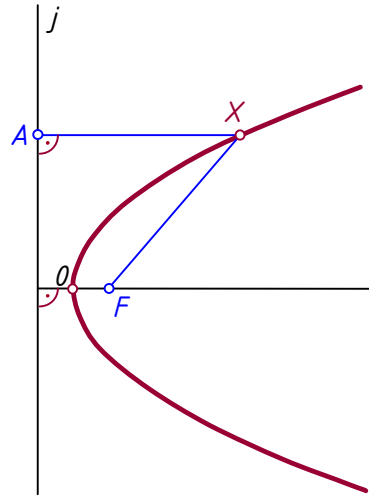
**Parabool.** Parabool on tasapinnaline joon, mille iga punkt asetseb võrdsetel kaugustel ühest kindlast punktist  $F$  (fookusest) ja ühest kindlast sirgest  $j$  (juhtjoonest):  $XF = XA$  (joonis 3.131). Parabooli elemendid on:

- $F$  – fookus;
- $j$  – juhtjoon;
- $O$  – haripunkt.

Sirget, mis läbib fookust ( $F$ ) ja on risti juhtjoonega ( $j$ ), nimetatakse parabooli teljeks. Parabool on telje suhtes sümmeetriline.



Joonis 3.130. Hüperbool.

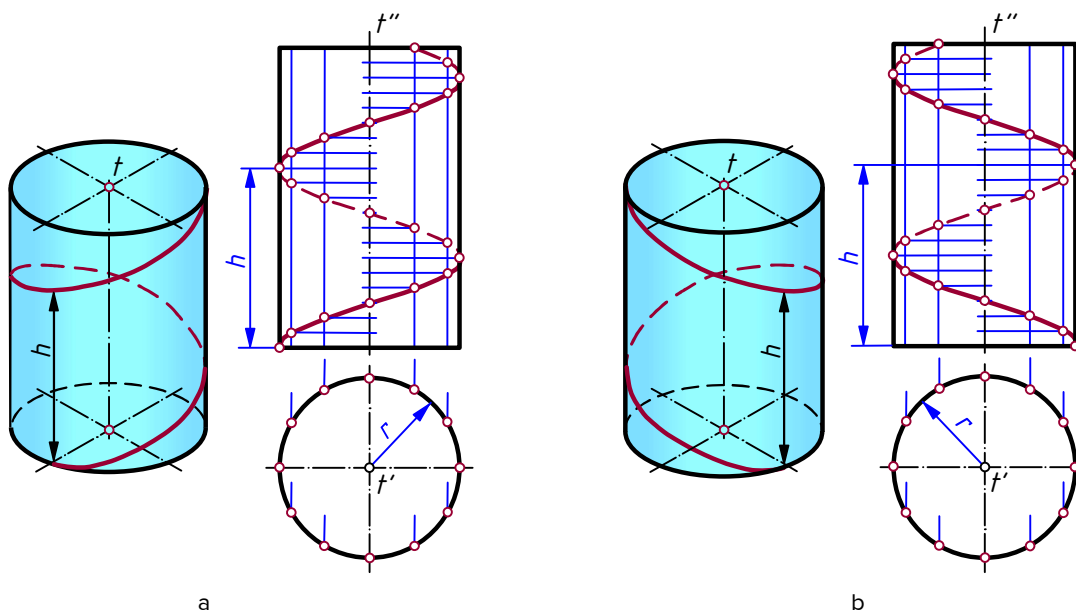


Joonis 3.131. Parabool.

### 19.3 KRUVIJOONED

Tehnikas esinevatest ruumikõveratest omavad erilist kohta kruvijooned. Tähtsamad neist on silindriline ja kooniline kruvijoone.

**1. Silindriline ehk harilik kruvijoone** on pöördsilindri moodustajat mööda ühtlaselt liikuva punkti trajektoor, kui silinder pöörleb ühtlaselt ümber oma telje (joonis 3.132). Kruvijoont kandva silindri telge loetakse ühtlasi **kruvijoone teljeks**, silindri raadiust aga **kruvijoone raadiuseks**. Kruvijoone osa, mis vastab punkti ühele täispöördele ümber kruvijoone telje, nimetatakse **kruvijoone keeruks**. Keeru otspunktide vahelist kaugust (s.o keeru kõrgust) nimetatakse **kruvijoone sammuks** ( $h$ ).



Joonis 3.132. Silindriline kruvijoone: a – paremakäeline; b – vasakukäeline.

Kruvijooni liigitatakse:

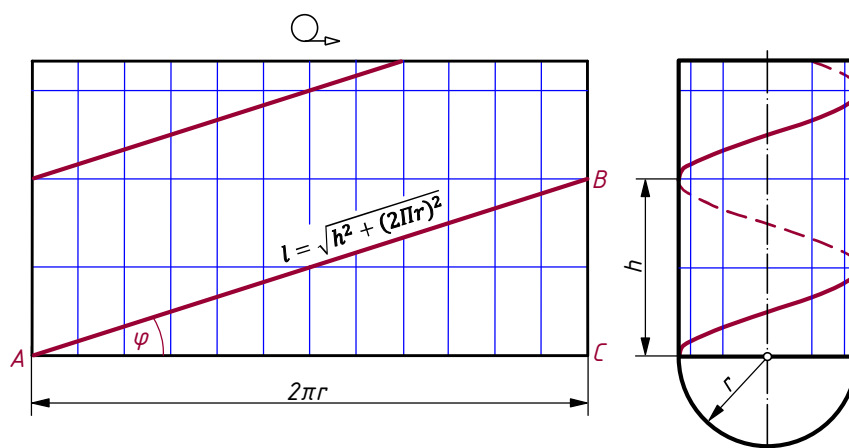
- paremakäelisteks (joonis 3.132.a) – kui telje sihis vaatlemisel punkti eemaldumine kruvijoont mööda toimub pöörlemisega päripäeva (silindri eestvaatel kruvijoone nähtava osa tõus on vasakult paremale; kui paigutada sümmeetriatelg horisontaalselt, siis kruvijoone nähtava osa tõus on paremalt vasakule;
- vasakukäelisteks (joonis 3.132.b) – kui telje sihis vaatlemisel punkti eemaldumine kruvijoont mööda toimub pöörlemisega vastupäeva (silindri eestvaatel kruvijoone nähtava osa tõus on paremalt vasakule; kui paigutada sümmeetriatelg horisontaalselt, siis kruvijoone nähtava osa tõus on vasakult paremale).

**Kruvijoone on täielikult määratud, kui on teada tema raadius  $r$ , samm  $h$  ja käelisus.**

Kruvijoone projektsioonide tuletamisel võetakse tema telg risti põhiekraaniga (joonis 3.132).

Kruvijoone pealtvaateks tuleb ringjoon raadiusega  $r$ . Eestvaate tuletamiseks jaotatakse silindri põhja ringjoon ja samm  $h$  samaks arvuks võrdseteks osadeks, näiteks 12. Joonestatakse ringjoone jaotuspunkte läbivate moodustajate eestvaated ja tõmmatakse sammu  $h$  jaotuspunktidest horisontaalsed sirged kuni lõikumiseni moodustajatega. Nii saadakse kruvijoone eestvaate punktid.

Hariliku kruvijoone võib tekitada ka tasandile joonestatud sirgjoonest, kui tasand painutada pöördsilindriliseks pinnaks (joonis 3.132).



Joonis 3.133. Silindriline kruvijoone.

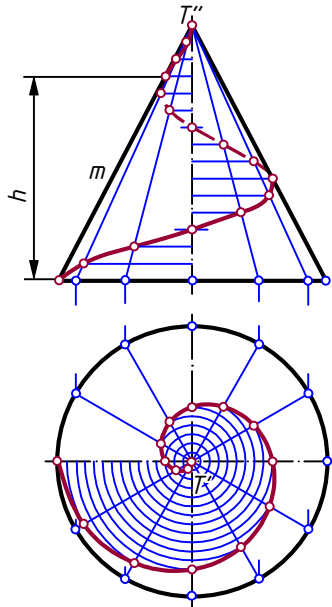
Jooniselt 3.133 saab täisnurksest kolmnurgast  $ABC$  välja kirjutada valemi kruvijoone ühe keeru pikkuse  $AB = l$  arvutamiseks:

$$l = \sqrt{h^2 + (2\pi r)^2}, \text{ kus}$$

$h$  ja  $r$  on vastavalt kruvijoone samm ja raadius.

Laotussirge  $AB$  kaldenurka  $\varphi$  alusjoone  $AC$  suhtes nimetatakse kruvijoone tõusunurgaks. Kui kruvijoone samm  $h = 0$ , siis kruvijoone koondub ringjooneks, kui aga samm  $h = \infty$ , siis kruvijoone muutub sirgjooneks. Seega ringjoon ja sirge on kruvijoone äärmised vormid.

**2. Kooniline kruvijoone** on pöördkoonuse moodustajat mööda ühtlaselt liikuva punkti trajektoor, kui koonus pöörleb ühtlaselt ümber oma telje. Kruvijoone osa, mis vastab ühe punkti täispöördele ümber kruvijoone telje, nimetatakse **kruvijoone keeruks**. **Sammuks** loetakse keeru otspunktide kõrguste vahet.



**Joonis 3.134.** Kooniline kruvijoon.

Koonilise kruvijooone kujutamisel kaksvaates võetakse koonuse telg harilikult risti põhiekraaniga (joonis 3.134). Koonuse pind jaotatakse moodustajatega võrdseteks osadeks ja samaks arvaks jaotatakse ka samm. Eestvaatel kantakse sammu jaotuspunktide kõrgused üle vastavatele moodustajatele. Saadakse rida punkte joone eestvaate jaoks. Pealtvaated tuletatakse sidejoonte abil vastavatel moodustajatel. Pealtvaates osutub kruvijoon Arhimedese spiraaliks. **Arhimedese spiraal** on tasapinnaline joon, mille tekitab sirgel ühtlaselt liikuv punkt, kui sirge pöörleb ühtlaselt ümber oma ühe punkti.

## 19.4 PINNAD

Pinna võib tekitada joone (pinna moodustaja) pideva liikumisega ruumis mingi eeskirja järgi. Pind on määratud, kui on teada tema moodustaja kuju ja liikumise eeskiri.

**Kinemaatilised pinnad** – joone liikumisega tekitatavad pinnad.

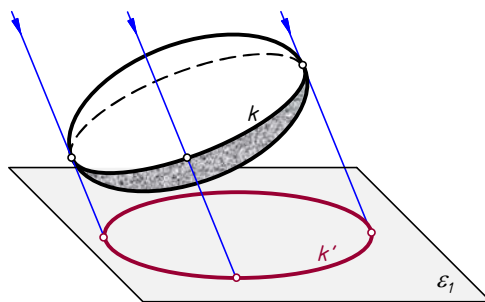
**Topograafilised pinnad ehk karkasspinnad** ei ole seotud joone liikumisega. Selliste pindade määramiseks antakse ette karkass ehk kandesõrestik, s.o. teatav süsteem sellele pinnale kuuluvaid jooni.

**Analüütilised pinnad** esitatakse võrrandite abil.  $N$ . astme algebralise võrrandiga määratavat pinda nimetatakse  $n$ . järku algebraliseks pinnaks. Geomeetriliselt on algebralise pinna järk võrdne selle pinna tasandilise lõikejoone järguga või selle pinna ja sirge lõikepunktide arvuga.

Pindasid liigitatakse klassideks järgu, moodustaja kuju, moodustaja liikumise eeskirja ja muude aluste järgi. Vastavalt liigituse alusele, võib üks pind kuuluda korraga mitmesse klassi, näiteks pöördsilinder on ühtaegu pöördpind, teist järku pind ja joonpind.

Tehnikas rakendatakse peamiselt järgmisi pindade klasse:

- 1) **pöördpinnad** – tekivad joone pöörlemisel ümber paigal seisva telje;
- 2) **üldised teist järku pinnad** – tekivad teist järku joone pöörlemisel ümber oma sümmeetriatelje;
- 3) **joonpinnad** – tekivad sirgjoone liikumisel;
- 4) **kruvipinnad** – tekivad joone kruvijoonelisel liikumisel;
- 5) **karkasspinnad** – määratakse pinnale kuuluva karkassiga.



Joonis 3.135. Pinna kujutamine.

Kõverpinna kujutise saamiseks on vaja tuletada ekraanile selle pinna oluliste punktide ja joonte kujutised. Pinna kujutise kontuur  $k'$  saadakse pinda puutuvate kujutamiskiirte abil (joonis 3.135). Vastavad puutepunktid moodustavad pinna kontuuri  $k$ . Pinna kujutise projekteerimisel ei saa selle pinna ühegi punkti kujutis sattuda pinna kujutise kontuurist väljapoole.

#### 19.4.1 PÖÖRDPINNAD

**Pöördpind** tekib mis tahes joone (moodustaja) pöörlemisel ümber kindla sirgjoone, mida nimetatakse **pöördpinna teljeks** (joonis 3.136).

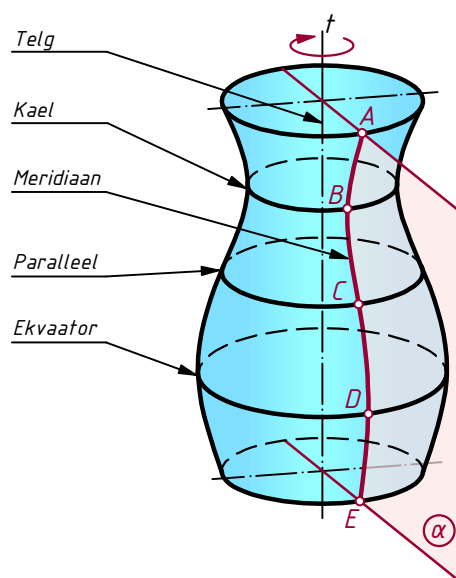
Pöördpinna teljega risti olevaid lõikeid nimetatakse **pöördpinna paralleelideks**.

**Pöördpinna ekvaator** on suurima raadiusega paralleel.

**Pöördpinna kael** on väikseima raadiusega paralleel.

Kahe paralleeliga piiratud pöördpinna osa nimetatakse **pöördpinna vööks**.

Pöördpinna lõikamisel telge läbiva tasandiga ( $\alpha$ ) saadakse **pöördpinna meridiaan**. Iga meridiaani võib lugeda selle pöördpinna moodustajaks.



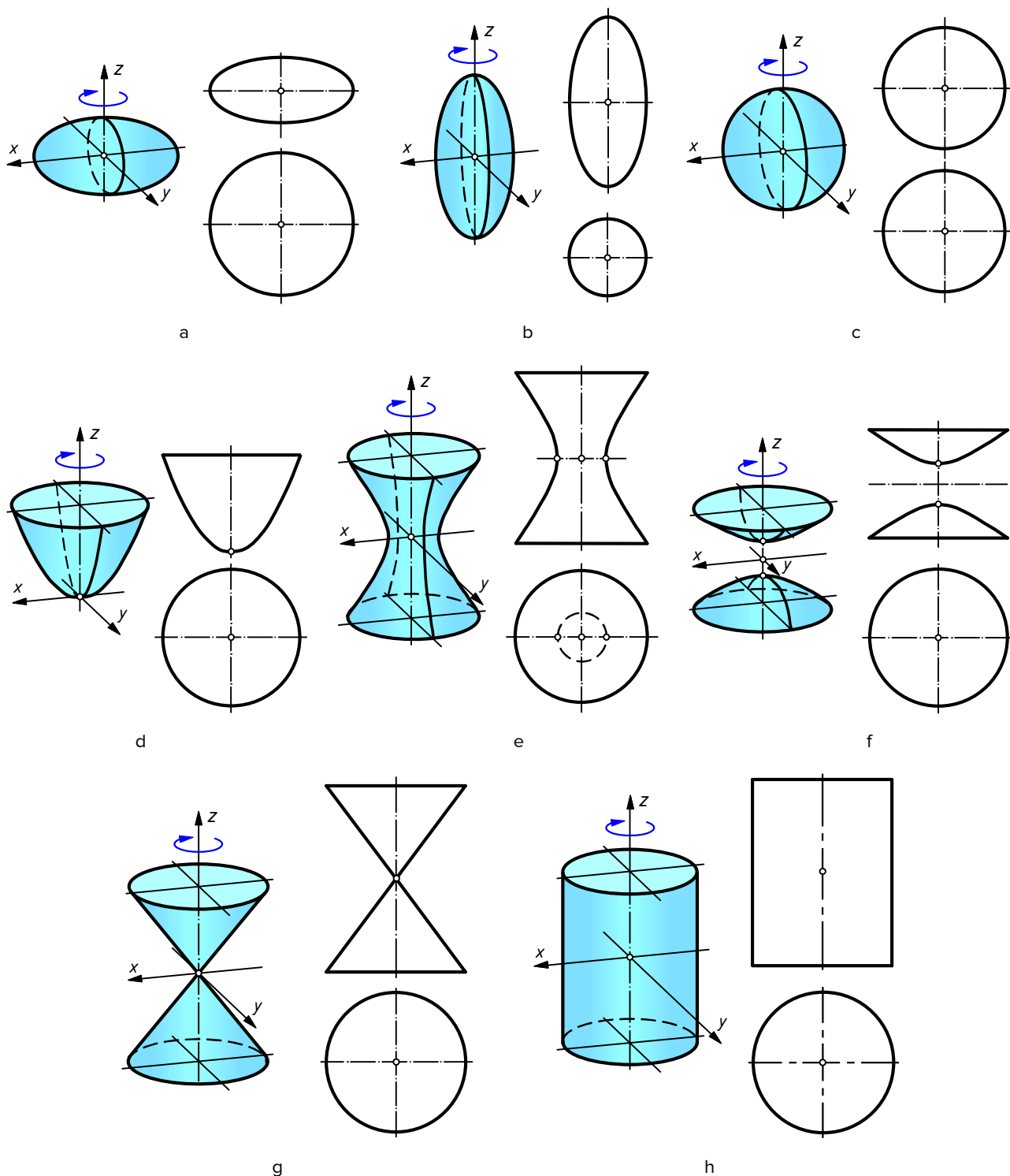
Joonis 3.136. Pöördpind.

Pöördpinna määramisandmeteks on tema telg ja moodustaja. Praktikas kohtub kõige sagedamini sirge moodustajaga pöördpindu (pöördsilindrit ja pöördkoonust). Kõvera meridiaaniga pöördpinna telg võetakse projekteerimisel harilikult risti põhiekraaniga (paralleelid on põhiekraaniga paralleelsed kontsentrilised ringjooned, mis eestvaates on sirglõigud).

**Teist järku pöördpinnad.** Teist järku pöördpind tekib teist järku joone pöörlemisel ümber sümmeetria-  
telje.

Teist järku pöördpinnad on järgmised.

- **Pöördellipsoid** tekib ellipsi pöörlemisel ümber oma sümmeetriatelje. Kui pöörlemisteljeks võetakse lühem telg, saadakse lapik pöördellipsoid (joonis 3.137.a), kui pikem telg, saadakse piklik pöördellipsoid (joonis 3.137.b) pöördellipsoid. Ringjoone pöörlemisel ümber telje saadakse kerapind (sfäär) (joonis 3.137.c). Sfäär on ellipsoidi erijuht.



**Joonis 3.137.** Teist järku pöördpinnad: a – lapik pöördellipsoid; b – piklik pöördellipsoid; c – sfäär;  
d – pöördparaboloid; e – ühekatteline pöördhüperboloid; f – kahekatteline pöördhüperboloid; g – pöördkoonus;  
h – pöördsilinder.

- **Pöördparaboloid** tekib parabooli pöörlemisel ümber oma sümmeetriatelje (joonis 3.137.d).
- **Ühekatteline pöördhüperboloid** tekib hüperbooli pöörlemisel ümber kaastelje (joonis 3.137.e).
- **Kahekatteline pöördhüperboloid** tekib hüperbooli pöörlemisel ümber fokaaltelje. Kumbki hüperbooli haru tekitab selle pinna ühe poole ehk kätte, mis on teise haru tekitatud kattest eraldatud (joonis 3.137.f).
- **Pöördkoonus** tekib kahe lõikuva sirge pöörlemisel ümber nende sümmeetriatelje. Sirgete lõikepunkt jääb koonuse tipuks, see on punkt, mis ühendab kahte lõpmatut katet ehk lehtrit (joonis 3.137.g). Tekkinud katted on sümmeetrilised tasandi suhtes, mis läbib tippu ja on pinna teljega risti.
- **Pöördsilinder** tekib kahe paralleelse sirge pöörlemisel ümber nende sümmeetriatelje (joonis 3.137.h).

Pöördkoonus ja pöördsilinder on ühekattelise pöördhüperboloidi äärmised vormid. Silindri puhul on pinna moodustaja paralleelne teljega, pöördhüperboloidi puhul on see telje suhtes kiivne, pöördkoonuse puhul aga lõikab telge.

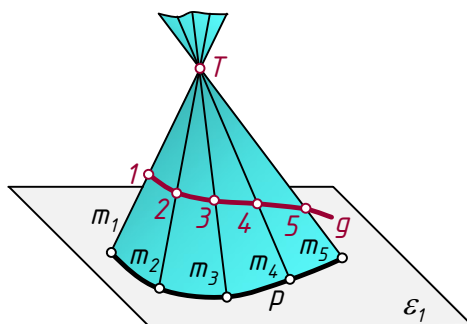
Tasandi järel on teist järku pöördpinnad lihtsamad pinnad. Neid pindu kasutatakse laialdaselt tehnikas, näiteks väga paljude masinate detailid koosnevad põhiliselt teist järku pindadest. Neid kasutatakse laialdaselt ka ehituses.

## 19.4.2 JOONPINNAD

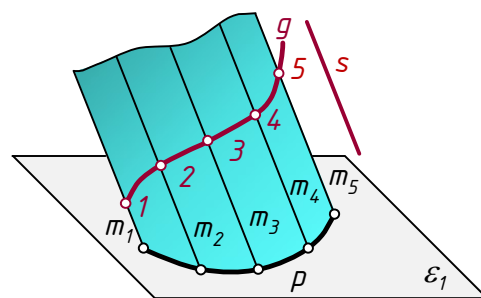
**Joonpinnaks** nimetatakse pinda, mille tekitab kindlate tingimuste kohaselt liikuv sirgjoon (moodustaja). Sirgjoone liikumisvabadust piiratakse harilikult sellega, et ta peab lõikama ühte või mitut antud paigalseisvat joont, nn juhtjoont. Sõltuvalt juhtjoonte süsteemist ja muudest moodustaja liikumist kitsendavatest tingimustest võib saada väga mitmesuguseid joonpindu. Joonpinnad liigitatakse laotuvateks ja mittelaotuvateks.

**1. Laotuvad joonpinnad.** Pinda, mida saab deformeerida tasapinnaks painutamise teel ilma pinna kvaliteeti muutmata, nimetatakse laotuvaks ehk tasanduvaks pinnaks. Pind ei veni ega tõmbu kokku, ei rebene ega lähe volti.

- **Kooniline pind** tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab antud juhtjoont ja läbib antud punkti (pinna tippu). Tipp ühendab koonilise pinna kahte lõpmata ulatuslikku katet, mis on teineteisega sümmeetrilised tipu suhtes. Koonilise pinna määramisandmeteks on tipp ( $T$ ) ja juhtjoon ( $g$ ) (joonis 3.138). Juhtjooneks võib võtta iga koonilise pinna tasapinnalise lõike, ka jälgjoone ( $p$ ). Kui juhtjooneks võetakse teist järku joon, siis saadakse teist järku koonus (erijuhul pöördkoonus). Kui koonilise pinna juhtjooneks võetakse murdjoon, on tulemuseks püramiidiline pind.
- **Silindriline pind** tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab antud juhtjoont ( $g$ ) ja jääb paralleelseks antud sihisirgega ( $s$ ) (joonis 3.139). Juhuslikule ruumikõverale tuleks eelistada pinna juhtjoonena tasandilist jälgjoont ( $p$ ). Kui juhtjooneks võetakse teist järku joon, siis saadakse teist järku silinder (elliptiline, hüperboolne või paraboolne). Kui silindrilise pinna juhtjooneks võetakse murdjoon, on tulemuseks prismaline pind.

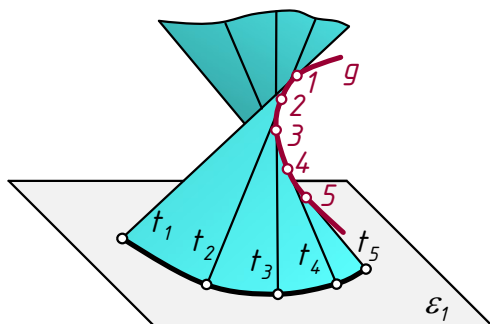


Joonis 3.138. Kooniline pind.

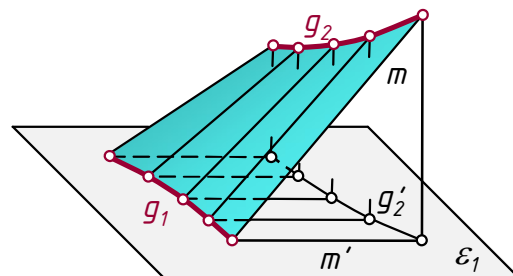


Joonis 3.139. Silindriline pind.

- **Puutujatepind** moodustub sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis jääb etteantud ruumikõvera puutujaks. Joonisel 3.140 näidatud ruumikõveral ( $g$ ) on võetud rida punkte ( $1, 2 \dots$ ) ning nendest tõmmatud puutujad ( $t_1, t_2, \dots$ ) kuuluvadki puutujatepinna. Puutuja on siin joonpinna moodustaja ja kõver  $g$  juhtjoon. Puutujatepinnaal on servjoon, milleks osutub ruumikõver ( $g$ ). Servjoon jaotab puutujatepinna kaheks hõlmaks ja iga puutuja kaheks osaks, millest üks kuulub pinna ühele ja teine teisele hõlmale.



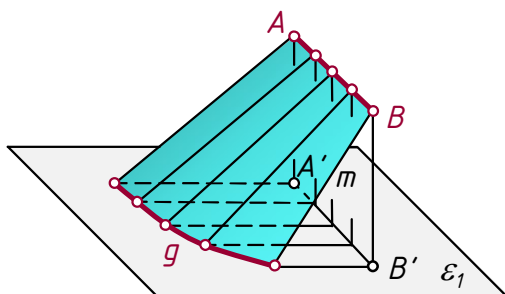
Joonis 3.140. Puutujatepind.



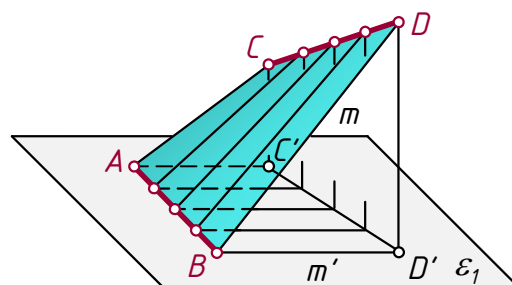
Joonis 3.141. Silindroid.

**2. Mittelaotuvad joonpinnad.** Pinda, mida ei saa painutamise teel deformeerida tasapinnaks ilma, et see veniks, tõmbuks kokku, rebeneks ega läheks kortsu, nimetatakse mittelaotuvaks pinnaks. Tähtsamad mittelaotuvad joonpinnad on silindroidid (erijuht konoid, hüperboolne paraboloid), kolme juhtjoonega joonpinnad ning normaal- ja kaldkrüvipinnad.

- **Silindroid** on pind, mis tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab kahte juhtjoont ja jääb ühtlasi paralleelseks antud tasapinnaga – juhtpinnaga (joonis 3.141). Joonisel kujutatud silindroidi juhtjoonteks on kõverad  $g_1$  ja  $g_2$  ning juhtpinnaks esiekraan.
- **Konoidiks nimetatakse** silindroidi, mille üks juhtjoon on sirge (joonis 3.142). Joonisel on kujutatud konoid, mille juhtkõveraks on kõver  $g$  ja juhtsirgeks on sirge  $AB$ .



Joonis 3.142. Konoid.



Joonis 3.143. Hüperboolne paraboloid.

- **Hüperboolseks paraboloidiks** nimetatakse silindroidi, mille juhtjoonteks on kaks kiivsirget (joonis 3.143). Joonisel kujutatud hüperboolse paraboloidi juhtjoonteks on kiivsirged  $AB$  ja  $CD$ . Sama pind saadakse ka siis, kui juhtjoonteks võetakse kiivsirged  $AC$  ja  $BD$ .

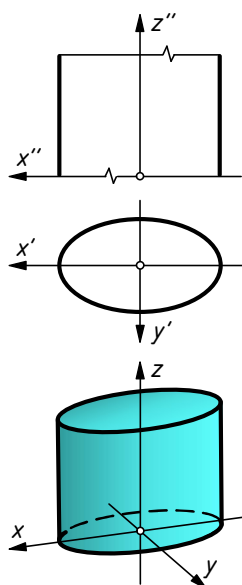
### 19.4.3 ÜLDISED TEIST JÄRKU PINNAD

Joonistel 3.144–3.152 on kujutatud kõigi üldiste teist järku pindade kaks- või kolmvaated ning nende aksonomeetriselised kujutised. Oluline on tunda teist järku pindade sümmeetriat.

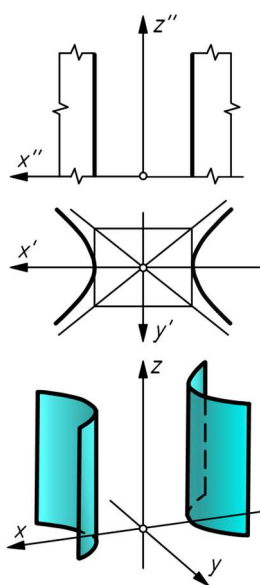
Üldised teist järku pinnad on järgmised.

1. **Elliptiline silinder** (joonis 3.144) on sümmeetriline  $xz$ - ja  $yz$ -pinna suhtes ning iga tasandi suhtes, mis on paralleelne  $xy$ -pinnaga; on ühtlasi joonpind; esineb ka pöördpinnaline vorm.

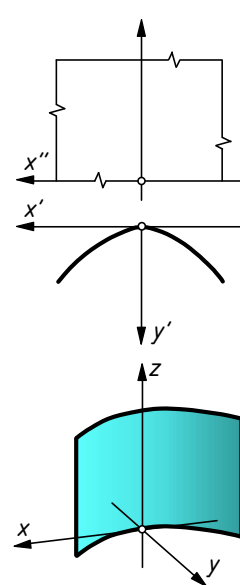
2. **Hüperboolne silinder** (joonis 3.145) on sümmeetriline  $xz$ - ja  $yz$ -pinna suhtes ning iga tasandi suhtes, mis on paralleelne  $xy$ -pinnaga; on ühtlasi joonpind.
3. **Paraboolne silinder** (joonis 3.146) on sümmeetriline  $yz$ -pinna suhtes ja iga tasandi suhtes, mis on paralleelne  $xy$ -pinnaga; on ühtlasi joonpind.
4. **Elliptiline koonus** (joonis 3.147). Elliptilisel koonusel on kolm sümmeetriapinda, nendeks on telgede tasandid; on ühtlasi joonpind; esineb ka pöördpinnaline vorm.
5. **Ellipsoid** (joonis 3.148). Ellipsoidil on kolm sümmeetriapinda, nendeks on telgede tasandid; esineb ka pöördpinnaline vorm.
6. **Ühekatteline hüperboloid** (joonis 3.149). Ühekattelisel hüperboloidil on kolm sümmeetriapinda, nendeks on telgede tasandid; on ühtlasi joonpind; esineb ka pöördpinnaline vorm.



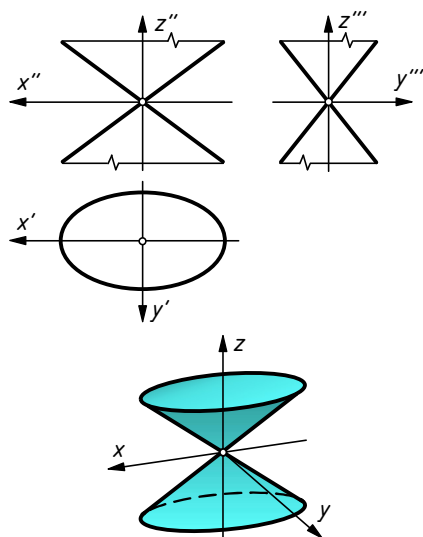
Joonis 3.144. Elliptiline silinder.



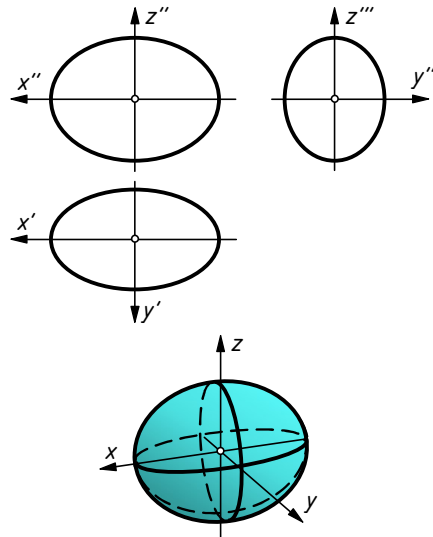
Joonis 3.145. Hüperboolne silinder.



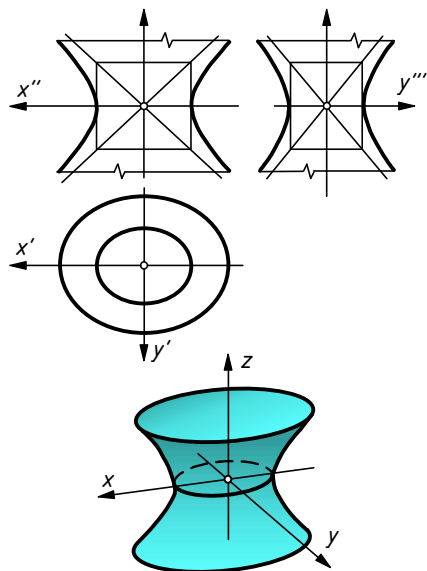
Joonis 3.146. Paraboolne silinder.



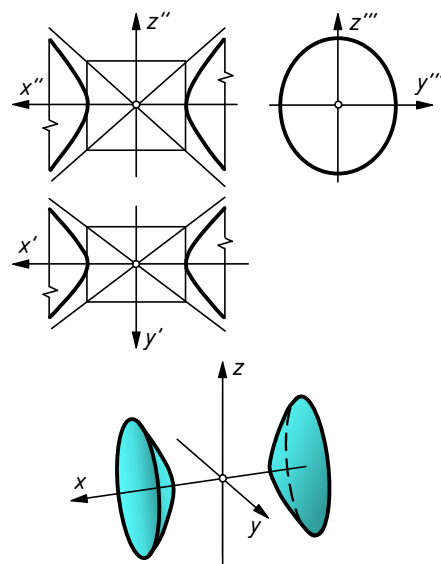
Joonis 3.147. Elliptiline koonus.



Joonis 3.148. Ellipsoid.

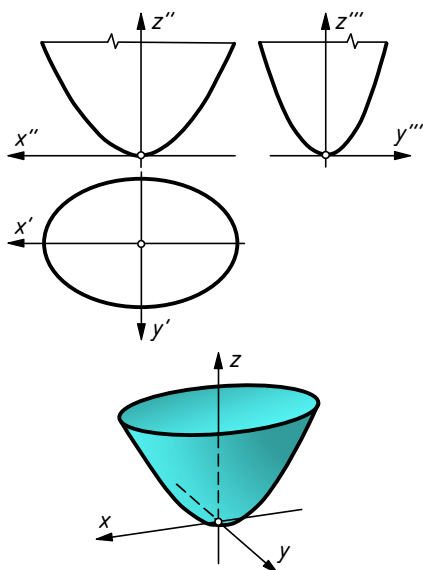


Joonis 3.149. Ühekatteline hüperboloid.

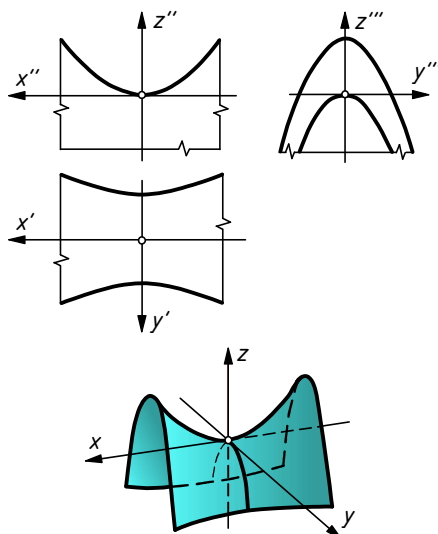


Joonis 3.150. Kahekatteline hüperboloid.

7. **Kahekatteline hüperboloid** (joonis 3.150). Kahekattelisel hüperboloidil on kolm sümmeetriapinda, nendeks on telgede tasandid; esineb ka pöördpinnaline vorm.
8. **Elliptiline paraboloid** (joonis 3.151) on sümmeetriline  $xz$ - ja  $yz$ -pinna suhtes; esineb ka pöördpinnaline vorm.
9. **Hüperboolne paraboloid** (joonis 3.152) on sümmeetriline  $xz$ - ja  $yz$ -pinna suhtes; on ühtlasi joonpind.



Joonis 3.151. Elliptiline paraboloid.



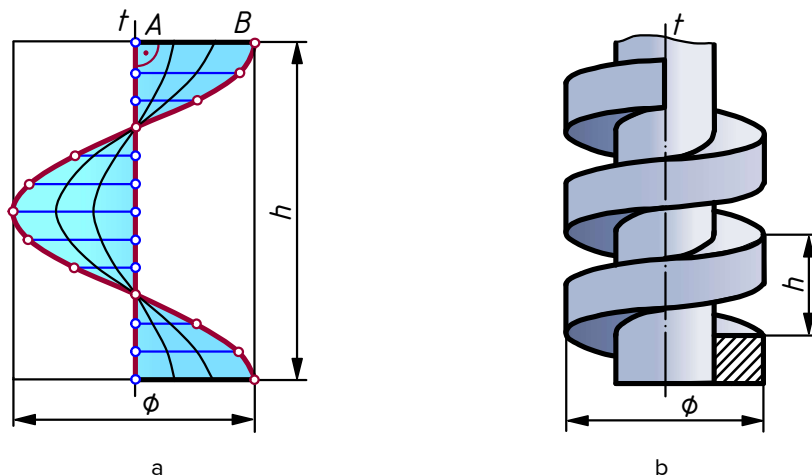
Joonis 3.152. Hüperboolne paraboloid.

#### 19.4.4 KRUVIPINNAD

Objekti liikumist, mille puhul kõik tema punktid liiguvad mööda niisuguseid silindrilisi kruvijooni, millel on ühine telg ja võrdne samm, nimetatakse **kruvijooneeliseks liikumiseks**. Pinda, mis tekib joone (moodustaja) kruvijooneelisel liikumisel, nimetatakse **kruvipinnaks**. Tehnikas on erilise tähtsusega sirge moodustajaga kruvipinnad, millest olulisemad on normaalkruvipind ja kaldkruvipind. Kruvipinna määramisandmeteks üldjuhul on tema telg ( $t$ ), moodustaja ( $m$ ) ja samm ( $h$ ).

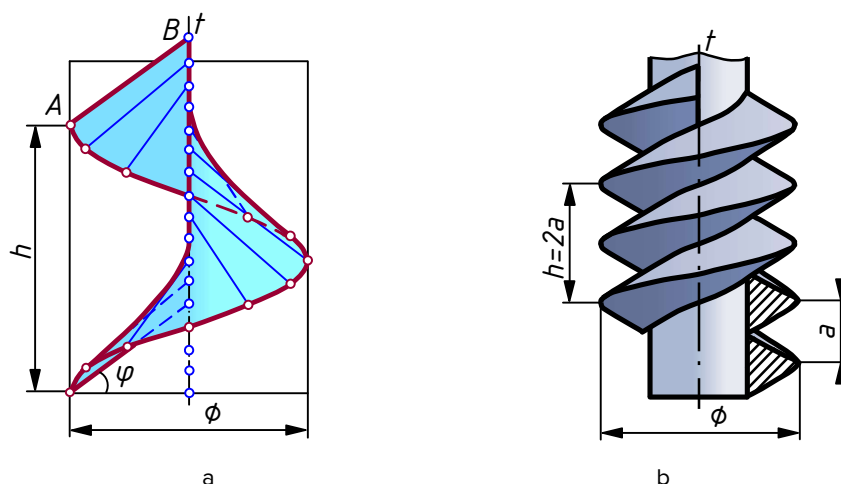
**1. Normaalkruvipind** (harilik kruvipind) tekib sirgjoone kruvijoonelisel liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab pinna telge täisnurga all. Ta kuulub ühtlasi joonpindade klassi konoidide rühma, sest telgsirget ja kruvijoont võib vaadelda juhtjoontena, telje risttasandit aga juhtpinnana (joonis 4.153.a).

Normaalkruvipinna rakendusena võib nimetada ruutkeeret, s.o. keha, mis tekib ruudu kruvijoonelisel liikumisel, kui ruudu kaks külge on telje ristlõikajad (joon. 3.153.b). Tavaliselt toetub liikuva ruudu külg mitte teljele, vaid ühe pöördsilindri (südamiku) pinnale. Keermega varustatud silindrilisi ja koonilisi kehi nimetatakse kruvideks. Keha, mille silindrilises avas on kruvi keermega kongruentne soon, nimetatakse mutriks.



Joonis 3.153. Normaalkruvipind.

**2. Kaldkruvipind** tekib sirgjoone kruvijoonelisel liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab pinna telge ühe ja sama teravnurga all.

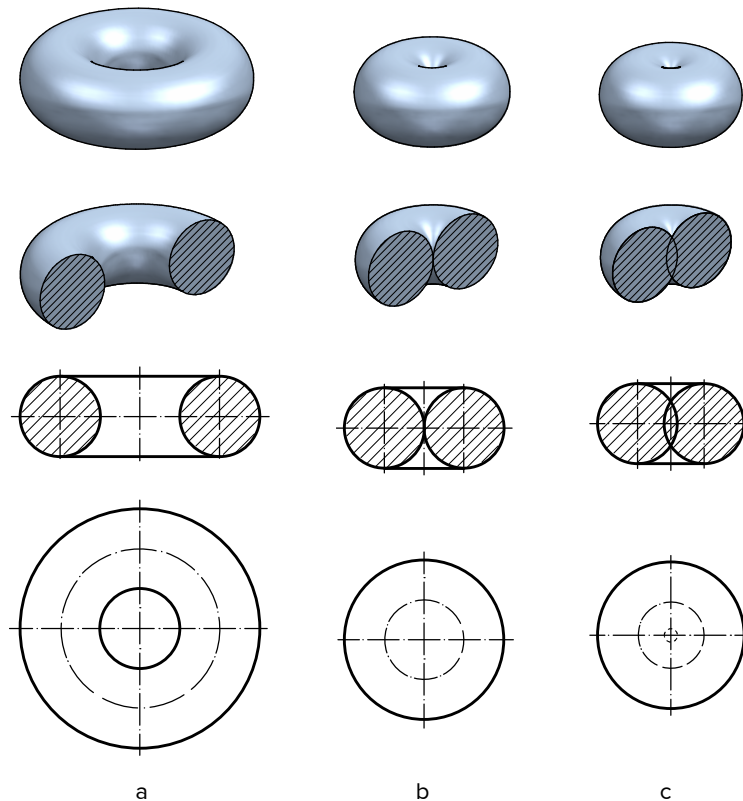


Joonis 3.154. Kaldkruvipind

Joonisel 3.154.a on kujutatud kaldkruvipind, mille moodustajaks on sirglõik  $AB$ , mille põhikaldenurk on  $\varphi$ . Kaldkruvipind leiab rakendamist kolmnurkkeerme juures. Taoline keermekeha tekib võrdhaarse kolmnurga kruvijoonelisel liikumisel ümber kolmnurga tasandis asetseva telje nii, et alus on teljega paralleelne ja kumbki haar moodustab ühe kaldkruvipinna. Ühekäigulise kolmnurkkeerme samm võetakse võrdne kolmnurga alusega  $a$ ; kahe- ja kolmekäigulise kolmnurkkeerme puhul võetakse kruvijoonte samm vastavalt  $2a$  ja  $3a$ . Joonisel 3.154.b on kujutatud kahekäiguline kolmnurkkeere.

### 19.4.5 TSÜKLILISED PINNAD

Tsükliline pind tekib püsiva või muutuva raadiusega ringjoone liikumisel. Järelikult saab tsüklilise pinna iga punkti kohalt teha tasandilise lõike, mille kuju on ringjoon.



**Joonis 3.155.** Rõngaspind: a – auguga rõngaspind; b – iseennast puutuv rõngaspind; c – iseennast lõikav rõngaspind.

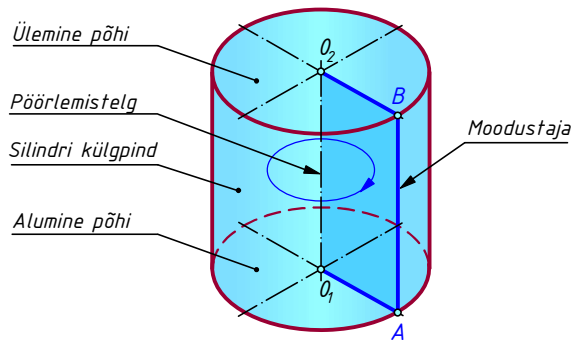
Tsüklilist pinda, mis tekib püsiva raadiusega ringjoone pöörlemisel ümber selle ringjoone tasandil asuva telje, nimetatakse rõngaspinnaks. Seega kuulub see pind korraga nii tsükliliste kui ka pöördpindade klassi. Rõngaspind on neljandat järku pind.

Joonisel 3.155 on kujutatud rõngaspinda ja tema võimalikke erivorme (piltkujutised ja kaksvaated). Rõngaspinna kuju sõltub pöörlemistelje asukohast meridiaanringjoone suhtes. Kõige üldisemas tähenduses on rõngaspind auguga, s.t telg asetseb väljaspool ringjoont (joonis 3.155.a). Kui telg puutub ringjoont, saadakse iseennast puutuv rõngaspind (joonis 3.155.b). Telje lõikumisel ringjoonega tekib iseennast lõikav rõngaspind (joonis 3.155.c). Jõuab aga telg ringjoone keskpunkti kohale, aheneb rõngaspind kerapinnaks.

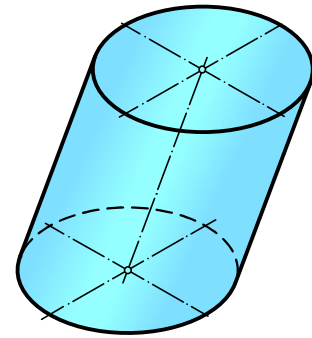
## 20 PÖÖRDKEHAD

**Pöördkehaks** nimetatakse geomeetrilist keha, mis tekib tasandilise kujundi pöörlemisel ümber kujundi tasandil asetseva sirge.

**1. Silinder.** Silinder tekib ristküliku pöörlemisel ümber selle ühe külje (joonis 3.156). Külge  $0_10_2$ , mille ümber silindrit moodustav ristkülik pöörleb, nimetatakse silindri teljeks. Silindri telje vastas asetsev külge  $AB$  on silindri moodustaja. Silindri moodustaja kujundatud pinda nimetatakse silindri külgpinnaks. Ristküliku ülejäänud küljed  $0_1A$  ja  $0_2B$  on silindri raadiusteks. Silindri raadiused kujundavad pöörlemisel silindri alumise ja ülemise põhja. Silindri põhjad on teineteisega paralleelsed. Silindri põhjade vahelist kaugust (lõik  $AB$ ) nimetatakse silindri kõrguseks.



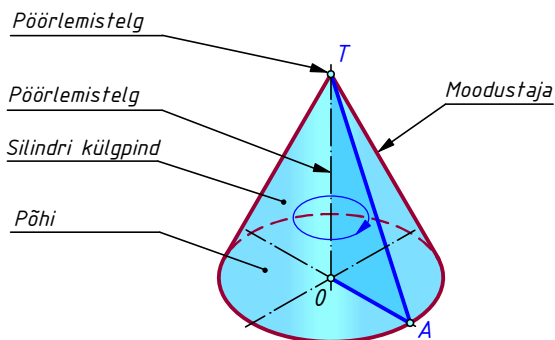
Joonis 3.156. Silinder.



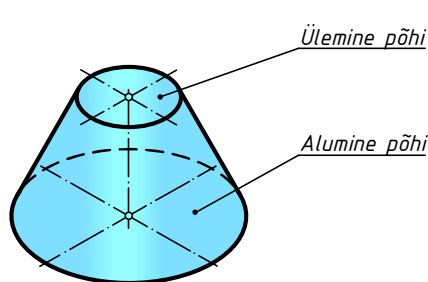
Joonis 3.157. Kaldsilinder.

Silindrit nimetatakse kas püstsilindriks (joonis 3.156) või kaldsilindriks (joonis 3.157) vastavalt sellele, kas moodustajad on põhjadega risti või kaldu.

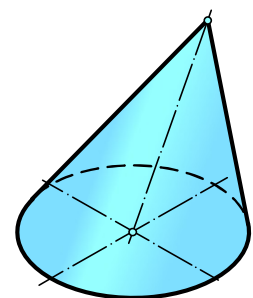
**2. Koonus.** Koonus tekib täisnurkse kolmnurga pöörlemisel ümber ühe oma kaateti (joonis 3.158). Kaatetit  $OT$ , mille ümber koonust moodustav täisnurk pöörleb, nimetatakse koonuse teljeks. Lõik  $OT$  on ühtlasi koonuse kõrgus. Kolmnurga hüpotenuus  $AT$  on koonuse moodustaja. Koonuse moodustaja kujundatud pinda nimetatakse koonuse külgpinnaks.



Joonis 3.158. Koonus.



Joonis 3.159. Tüvikoonus.



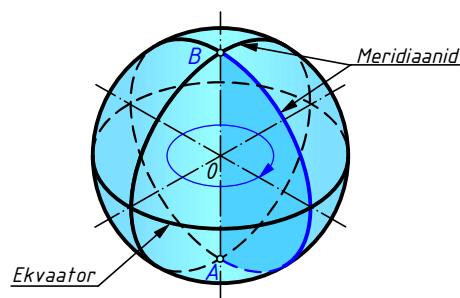
Joonis 3.160. Kaldkoonus.

Kolmnurga teine kaatet  $OA$  on koonuse põhjaringjoone raadiuseks ja kujundab pöörlemisel koonuse põhja. Punkti  $T$  nimetatakse koonuse tipuks.

Tüvikoonus on keha, mida piiravad kooniline pind ja kaks paralleelset tasandit (ülemine ja alumine põhi), mis lõikavad kõiki koonilise pinna moodustajaid. Tüvikoonus saadakse koonuse lõikamisel selle põhjaga paralleelse tasandiga (joonis 3.159).

Koonust nimetatakse kas püst- või kaldkoonuseks (joonis 3.158 ja 3.160) vastavalt sellele, kas koonuse kõrguse algpunkt ühtib põhja keskpunktiga.

**3. Sfäär.** Sfäär tekib poolringi pöörlemisel ümber telje, mis ühtib poolringi diameetriga  $AB$  (joonis 3.161). Sfääri iga punkt asub tsentrist kindlal kaugusel, mida nimetatakse kera raadiuseks.



Joonis 3.161. Sfäär.

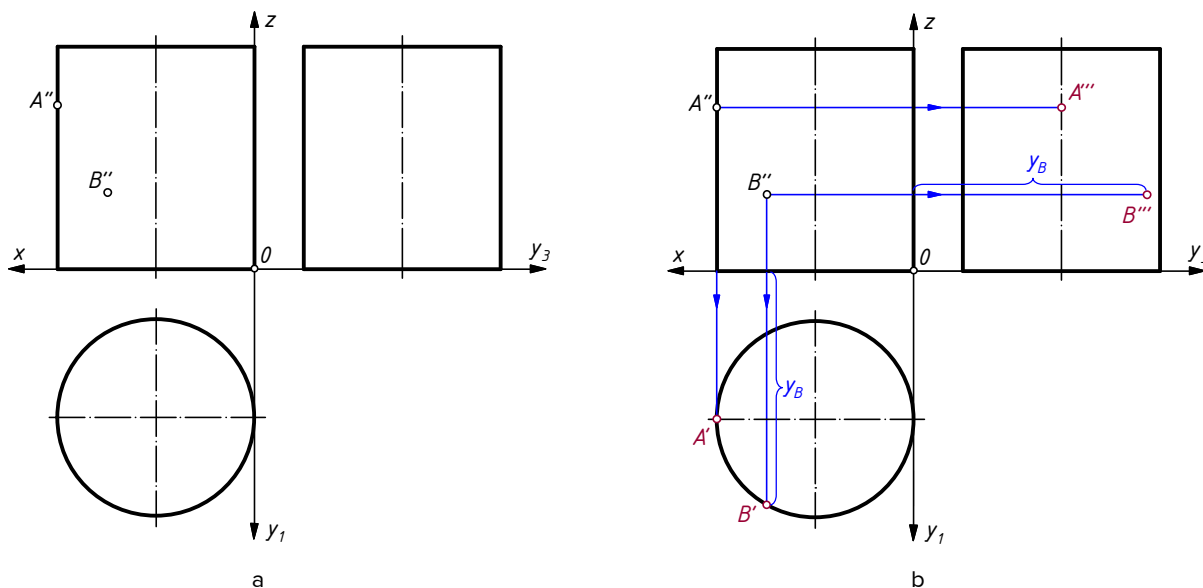
## 20.1 PUNKT PÖÖRDKEHAL

### 1. Punkt silindri pinnal.

**Näide 3.43.** On antud silindri kolmvaade koos silindri pinnal asetsevate punktide  $A$  ja  $B$  eestvaadetega  $A''$  ja  $B''$  (joonis 3.162). Vaja on tuletada punktide  $A$  ja  $B$  puuduvad vaated, s.o pealt- ja vasakultvaate.

Kuna silindri külgpind on risti põhiekraaniga ning projekteerub ekraanile ringjooneks, siis punktide  $A$  ja  $B$  pealtvaated  $A'$  ja  $B'$  peavad kuuluma sellele ringjoonele ning nende asukohad määratakse sidejoonte abil.

Punktide vasakultvaated tuletatakse sidejoonte abil, kasutades kolmvaate peaomadust. Punkti  $A$  vasakultvaade  $A'''$  projekteerub silindri sümmeetriateljel ja punkti  $B$  vasakultvaade  $B'''$  tuletamiseks kantakse sidejoonele punkti  $y$ -koordinaadi väärtus  $y_B$ .

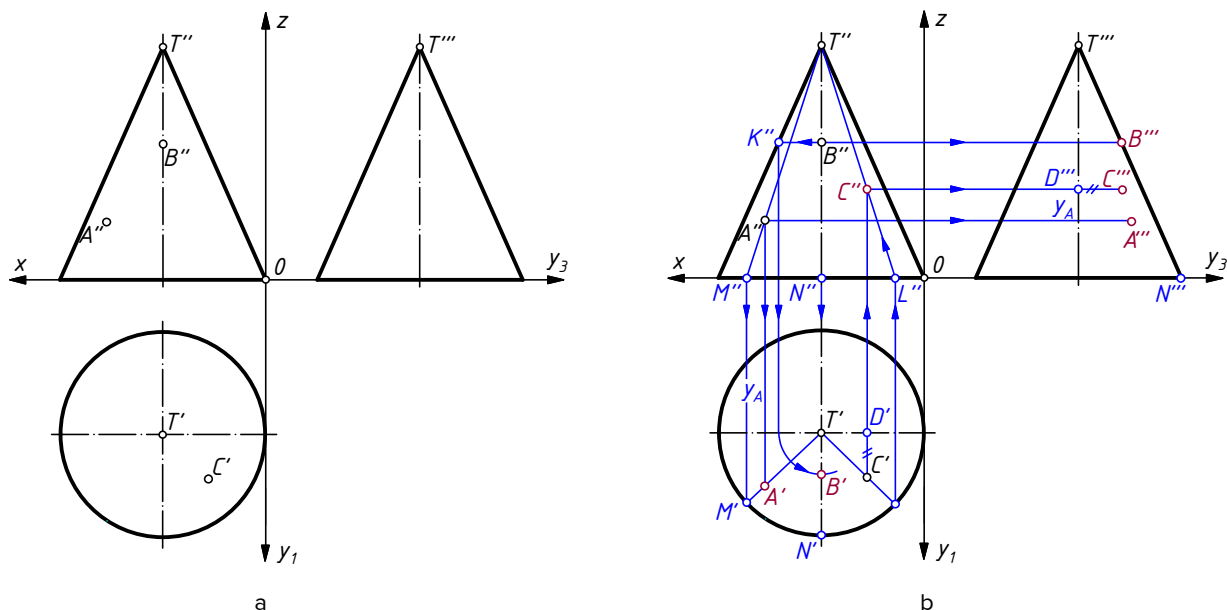


**Joonis 3.162.** Punkt silindri pinnal: a – lähteandmed; b – lahendus.

### 2. Punkt koonuse pinnal.

**Näide 3.44.** On antud koonuse kolmvaade koos koonuse pinnal asetsevate punktidega  $A$ ,  $B$  ja  $C$  (joonis 3.163). Vaja on tuletada punktide  $A$ ,  $B$  ja  $C$  puuduvad projektsioonid. Punktid  $A$  ja  $B$  on määratud oma eestvaadetega  $A''$  ja  $B''$  ning punkt  $C$  pealtvaatega  $C'$ .

Punkti  $A$  pealtvaade  $A'$  tuletamiseks tõmmatakse tipust  $T$  sirge (moodustaja) läbi punkti  $A''$  kuni lõikumiseni põhjaringjoonega punktis  $M''$ . Punkt  $A$  seotakse sirgega  $TM$ . Seejärel tuletatakse sidejoone abil punkti  $M$  pealtvaade  $M'$  põhjaringjoonel ja joonestatakse sirge  $TM$  pealtvaade  $T'M'$ . Punkti  $A$  pealtvaade  $A'$  leitakse sidejoone abil moodustajal  $T'M'$ .



**Joonis 3.163.** Punkt koonuse pinnal: a – lähteandmed; b – lahendus.

Punkt  $B$  asub moodustajal  $TN$ , mis on eest- ja pealtvaatel risti  $x$ -teljega, ning seepärast ei saa pealtvaadet otse sidejoonega antud moodustajal tuletada. Punkti  $B$  pealtvaate  $B'$  tuletamiseks kasutatakse abitasandit, mis on võetud läbi punkti  $B$  risti koonuse teljega. See tasand lõikab koonust mööda ringjoont raadiusega  $BK$ . Eestvaates projekteerub see ringjoon sirgena ja pealtvaatel ringjoonena raadiusega  $B''K''$ . Tipust  $T'$  joonestatakse ringjoon raadiusega  $B''K''$  kuni lõikumiseni moodustajaga  $T'N'$ . Lõikepunkt määrab punkti  $B$  pealtvaate  $B'$ .

Punkti  $C$  eestvaate tuletamiseks joonestatakse esmalt pealtvaatel tipust  $T'$  läbi punkti  $C'$  moodustaja  $T'L'$ , seejärel tuletatakse moodustaja  $T''L''$  eestvaade. Sidejoone abil leitakse punkti  $C$  eestvaade  $C''$  moodustajal  $T''L''$ .

Punktide vasakultvaadete tuletamiseks tõmmatakse punktide eestvaadetelt sidejooned vasakultvaatele. Punkti  $A$  vasakultvaate  $A'''$  tuletamiseks kantakse sidejoonele punkti  $A$   $y$ -koordinaadi väärtus  $y_A$ . Moodustaja  $TN$ , millel asub punkt  $B$ , projekteerub vasakultvaatel parempoolseks äärmiseks moodustajaks. Punkti  $B$  vasakultvaate  $B'''$  saab tuletada sidejoonega moodustajal  $T'''N'''$ . Punkti  $C$  vasakultvaate võib tuletada analoogselt punkti  $A$  tuletamisega- või punkti  $C$  kaugusega sümmeetriatelgjoonest, mõõtes sirglõigu  $D'C'$  pikkuse ja kandes vasakultvaatel sümmeetriatelgjoonest paremale ( $D'''C'''$ ).

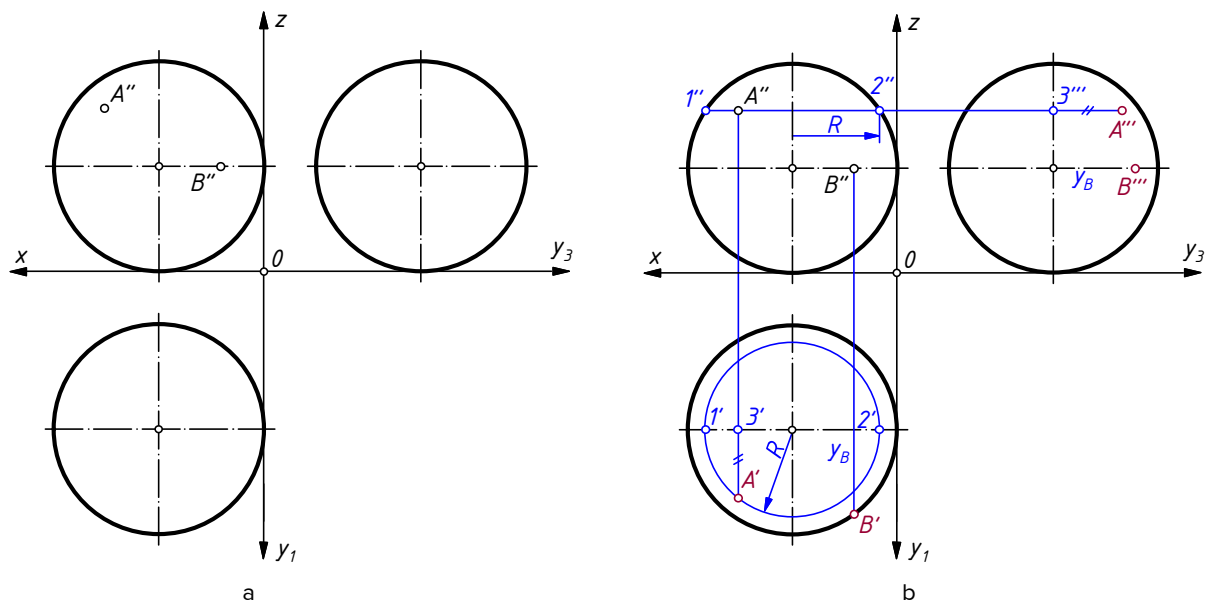
### 3. Punkt sfääri pinnal.

**Näide 3.45.** On antud sfääri kolmvaade koos sellel pinnal asetsevate punktide  $A$  ja  $B$  eestvaadetega  $A''$ ,  $B''$  (joonis 3.164). Vaja on tuletada punktide puuduvad projektsioonid.

**Sfääri iga tasapinnaline lõige on ring.** Punkti  $A$  pealtvaate  $A'$  tuletamiseks kasutatakse põhiekraaniga  $\varepsilon_1$  paralleelset abitasandit, mis on võetud läbi punkti  $A''$ . See tasand lõikab sfääri mööda ringjoont, mille lõikejoone projektsiooniks esiekraanil tuleb sirglõik  $I''2''$  ja pealtvaatel ringjoon raadiusega  $R$ . Punkti  $A$  pealtvaate  $A'$  tuletatakse sidejoone abil ringjoonel, mis on joonestatud raadiusega  $R$ .

Punkti  $A$  külgsaate saab tuletada, kandes punkti kauguse sümmeetriateljest (lõik  $3'A'$ ) külgsaatel sümmeetriateljel punktist  $3'''$ .

Kui punkt  $B$  asub eestvaatel sfääri ekvaatoril, siis pealtvaade  $B'$  saadakse sidejoone abil ekvaatoril. Punkti  $B$  vasakultvaate  $B'''$  tuletamiseks kantakse sidejoonele punkti  $y$ -koordinaadi väärtus  $y_B$ .



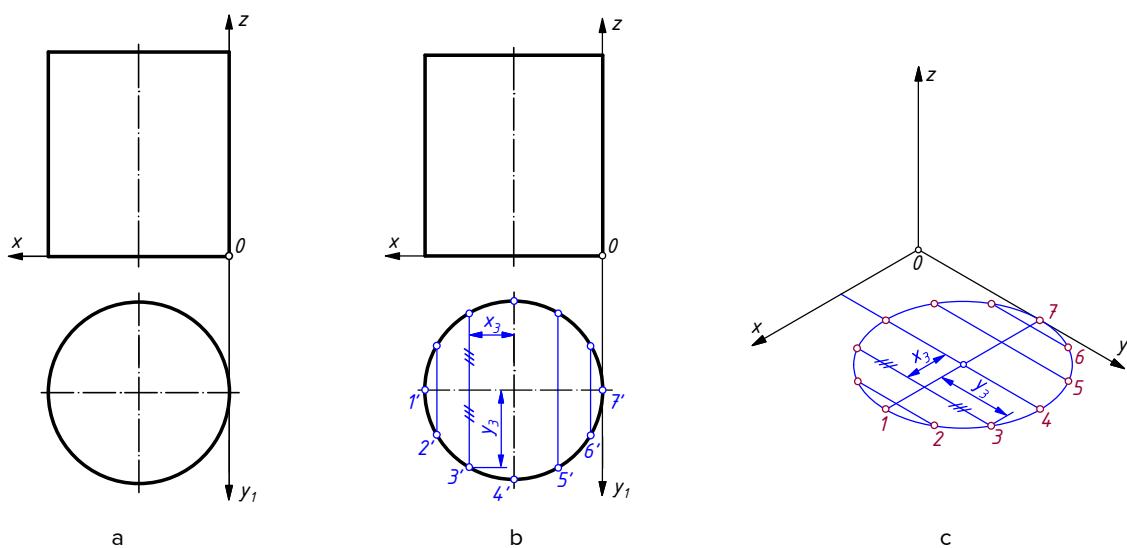
Joonis 3.164. Punkt sfääri pinnal: a – lähteandmed; b – lahendus.

## 20.2 PÖÖRDKEHADE AKSONOMEETRILISTE KUJUTISTE TULETAMINE

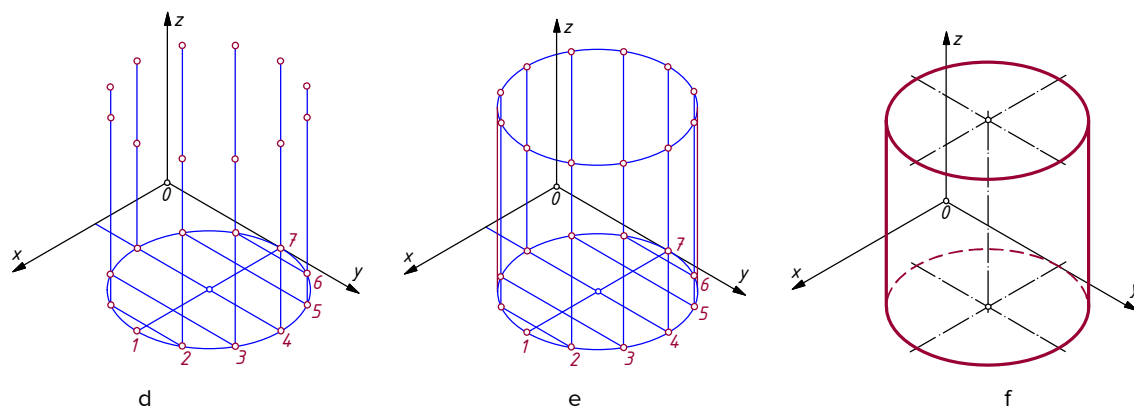
### 1. Silindri ristisomeetriline kujutis.

**Näide 3.46.** On antud püstsilindri kaksvaade (joonis 3.165.a), mille järgi tuletatakse ristisomeetriline kujutis. Silinder on seotud teljestikuga nii, nagu on näidatud kaksvaatel. Silindri põhjaringjoone aksonomeetriliseks kujutiseks tuleb ellips. Ellipsi tuletamiseks jaotatakse põhjaringjoon näiteks 12 võrdseks osaks (vt punkt 11.7). Kuna silinder on sümmeetriline keha, siis võib tähistada ühe sümmeetriapoole punktid ( $1' \dots 7'$ ). Saadud punktidest joonestatakse  $y$ -teljega paralleelsed kõõlud (joonis 3.165.b).

Edasi leitakse  $x$ - ja  $y$ -koordinaadi järgi silindri alumise põhja tsentri asukoht ristisomeetria teljestikus. Läbi tsentri punkti joonestatakse  $x$ - ja  $y$ -telje suunalised abijooned (joonis 3.165.c). Seejärel tuletatakse nende kõõlude ristisomeetrilised kujutised koordinaatlõikude abil. Selleks kantakse kaksvaatelt  $x$ -teljele kõõludevahelised kaugused ja tõmmatakse siis kõõlude kujutised paralleelselt  $y$ -teljega. Joonisel 3.165.c on näidatud punkti 3 kujutise tuletamine koordinaatlõikude  $x$  ja  $y$  abil. Et sümmeetrilistel punktidel on vastavad koordinaatlõigud pikkuselt võrdsed, siis taandub kogu konstruktsioon  $y$ -teljega paralleelsete ringjoone kõõlude ülekandmisele kaksvaatelt aksonomeetrilisele kujutisele. Kui kõõlude otspunktid on tuletatud, siis ühendades need punktid sujuva kõverjoonega, saadakse kujutisellips, mis on silindri põhja kujutiseks.



Joonis 3.165. Silindri ristisomeetrilise kujutise tuletamine.



Joonis 3.165. (järg).

Silindri ülemise põhja kujutise tuletamiseks joonestatakse alumise põhja kõõlude punktidest sirged paralleelselt  $z$ -teljega. Nendele sirgetele kantakse silindri kõrgus (joonis 3.165.d). Ühendades lõikude otspunktid lekaali abil, saame silindri ülemise põhja kujutise (joonis 3.165.e). Silindri äärmised moodustajad tõmmatakse mõlemale põhjaellipsile puutujatena. Silindri äärmised moodustajad peavad olema paralleelsed  $z$ -teljega (joonis 3.165.e).

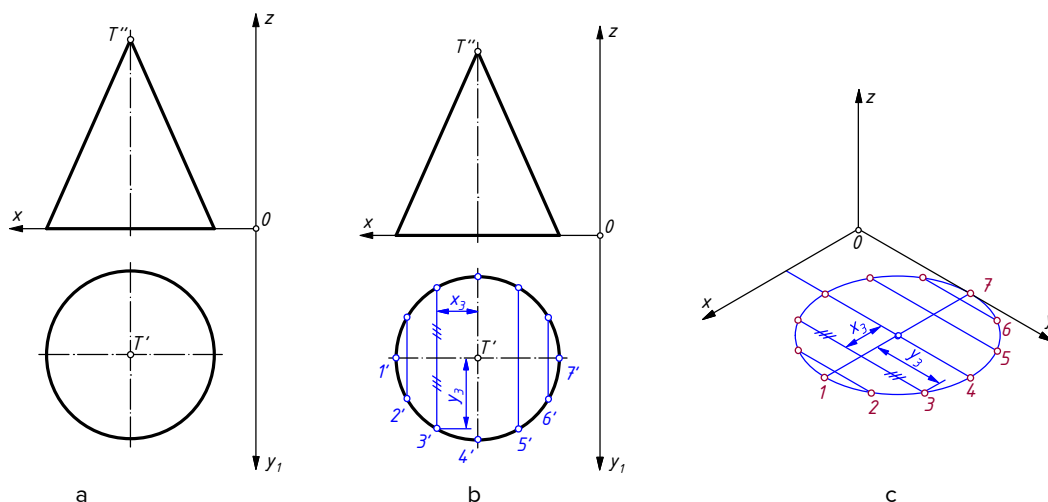
Seejärel joonestatakse silindri lõplik kujutis ristisomeetrias, arvestades servade nähtavust, ja lisatakse sümmeetriateljed (joonis 3.165.f).

## 2. Koonuse ristisomeetriline kujutis.

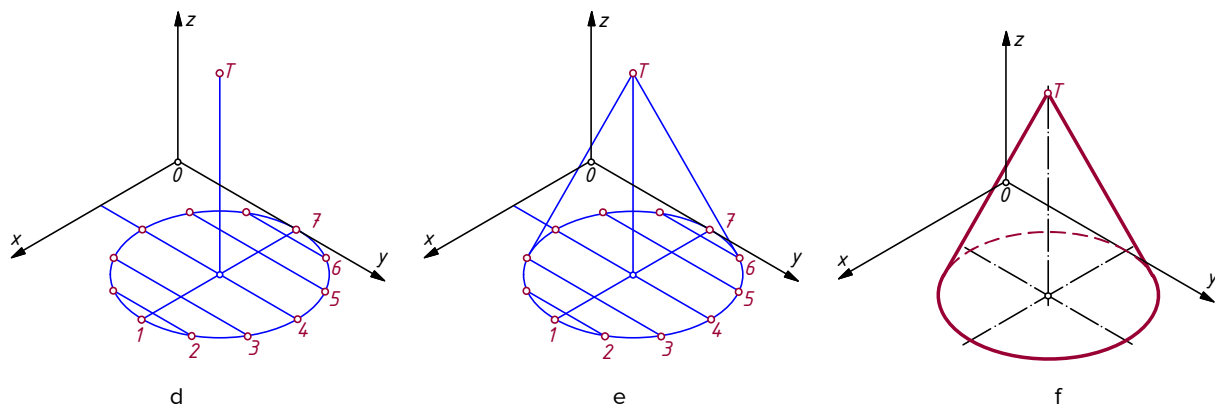
**Näide 3.47.** On antud püstkoonuse kaksvaade (joonis 3.166.a), mille järgi tuletatakse ristisomeetriline kujutis. Koonus on seotud ristisomeetria teljestikuga nii, nagu on näidatud kaksvaatel.

Koonuse põhjaringjoone aksonomeetriliseks kujutiseks tuleb ellips. Ellipsi tuletamiseks jaotatakse põhjaringjoon näiteks 12 võrdseks osaks (vt punkt 11.7). Kuna koonus on sümmeetriline keha, siis võib tähistada ühe sümmeetriapoole punktid ( $1' \dots 7'$ ). Saadud punktidest joonestatakse  $y$ -teljega paralleelsed kõõlud (joonis 3.166.b).

Edasi leitakse  $x$ - ja  $y$ -koordinaadi järgi koonuse põhja tsentri aukoht. Läbi tsentri punkti joonestatakse  $x$ - ja  $y$ -telje suunalised abijooned (joonis 3.166.c). Seejärel tuletatakse nende kõõlude ristisomeetrilised kujutised koordinaatlõikude abil. Selleks kantakse kaksvaatele  $x$ -teljele kõõludevahelised kaugused ja tõmmatakse siis kõõlude kujutised paralleelselt  $y$ -teljega. Joonisel 3.166.c on näidatud punkti 3 kujutise tuletamine koordinaatlõikude  $x$  ja  $y$  abil. Et sümmeetrilistel punktidel on vastavad koordinaatlõigud pikkuselt võrdsed, siis taandub kogu konstruktsioon  $y$ -teljega paralleelsete ringjoone kõõlude ülekandmisele kaksvaatele aksonomeetrilisele kujutisele. Kui kõõlude otspunktid on tuletatud, siis ühendades need punktid sujuva kõverjoonega, saadakse kujutisellips, mis on koonuse põhja kujutiseks.



Joonis 3.166. Koonuse ristisomeetrilise kujutise tuletamine.



Joonis 3.166. (järg).

Koonuse tipu  $T$  tuletamiseks joonestatakse koonuse põhja tsentrist  $z$ -teljega paralleelne sirge ja sellele kantakse koonuse kõrgus, mis mõõdetakse eestvaatelt  $x$ -teljest tipuni  $T''$  (joonis 3.166.d). Koonuse külgpinna äärmised moodustajad joonestatakse tipust  $T$  põhja ellipsile puutujatena (joonis 3.166.e).

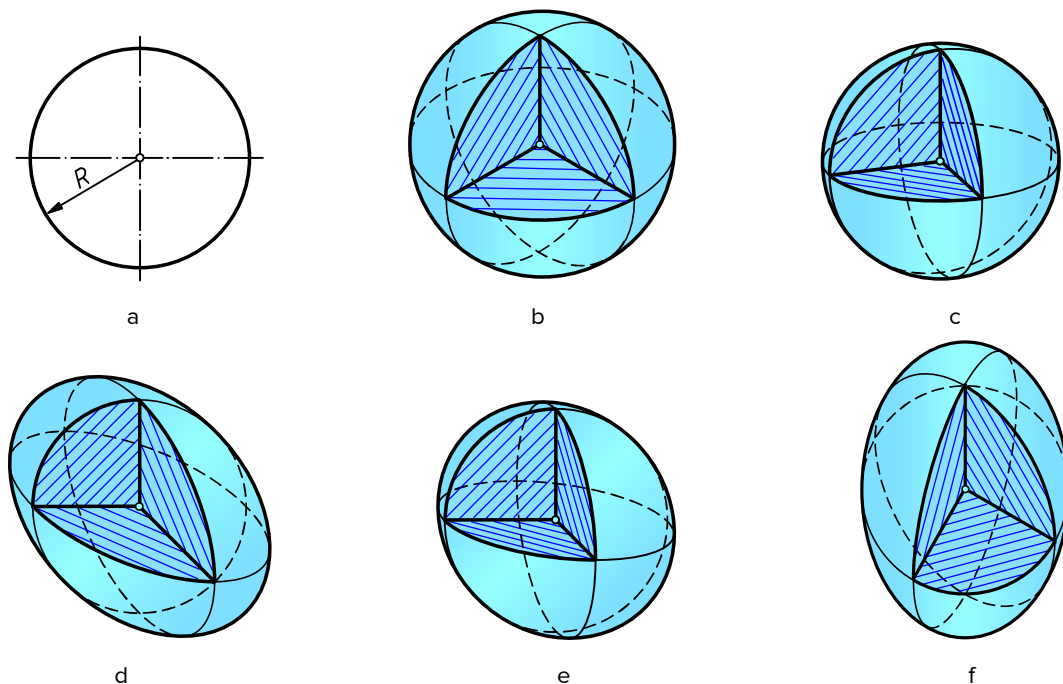
Seejärel joonestatakse koonuse lõplik kujutis ristsomeetrias arvestades nähtavust, ja lisatakse sümmeetriateljed (joonis 3.166.f).

**3. Sfääri aksonomeetrilised kujutised.** On antud sfäär raadiusega  $R$  (joonis 3.167.a). See sfäär on kujutatud võrdluseks tähtsamate aksonomeetriliste kujutistena, mille muudavad ilmekamaks joonisele lisatud koordinaatpindadega paralleelsete ringjoonte kujutised (ringjooned ja ellipsid). (Vt. punkt 15).

Ristsomeetriliseks kujutiseks, kui kasutada taandatud moondetegureid, tuleb ring raadiusega  $1,22 \times R$  (joonis 3.167.b). Seega sfääri kujutis tuleb 1,22 korda suurem antud vaatest.

Sfääri standardse ristdimeetria kujutiseks tuleb ringjoon raadiusega  $1,06 \times R$  (joonis 3.167.c). Seega sfääri kujutis tuleb 1,06 korda suurem antud vaatest.

Kaldaksonomeetrias on sfääri kujutiste kontuurideks ellipsid. Joonisel 3.167.d on kujutatud sfääri kujutis frontaalses kaldisomeetrias, joonisel 3.167.e frontaalses kalddimeetrias ja joonisel 3.167.f horisontaalses kaldisomeetrias.



Joonis 3.167. Sfääri aksonomeetrilised kujutised: a – vaade; b – ristsomeetria; c – standardne ristdimeetria; d – frontaalne kaldisomeetria; e – frontaalne kalddimeetria; f – horisontaalne kaldisomeetria.

## 20.3 KÕVERPINNA JA TASANDI LÕIKUMINE

### 20.3.1 KÕVERPINDADE TASANDILISED LÕIKED

Kõverpinna ja mistahes asendis tasandi lõikejoone tuletamisel kasutatakse abitasandite võtet. Abitasandid valitakse kõverpinnast lähtudes nii, et tekiks lihtsad abilõikejooned (sirg- ja ringjooned). Tasandi ja abitasandi lõikejoon on alati sirgjoon. Lõike ülesannete lahendamine on lihtsam ja täpsem, kui on teada, milline lõikejoon tekib.

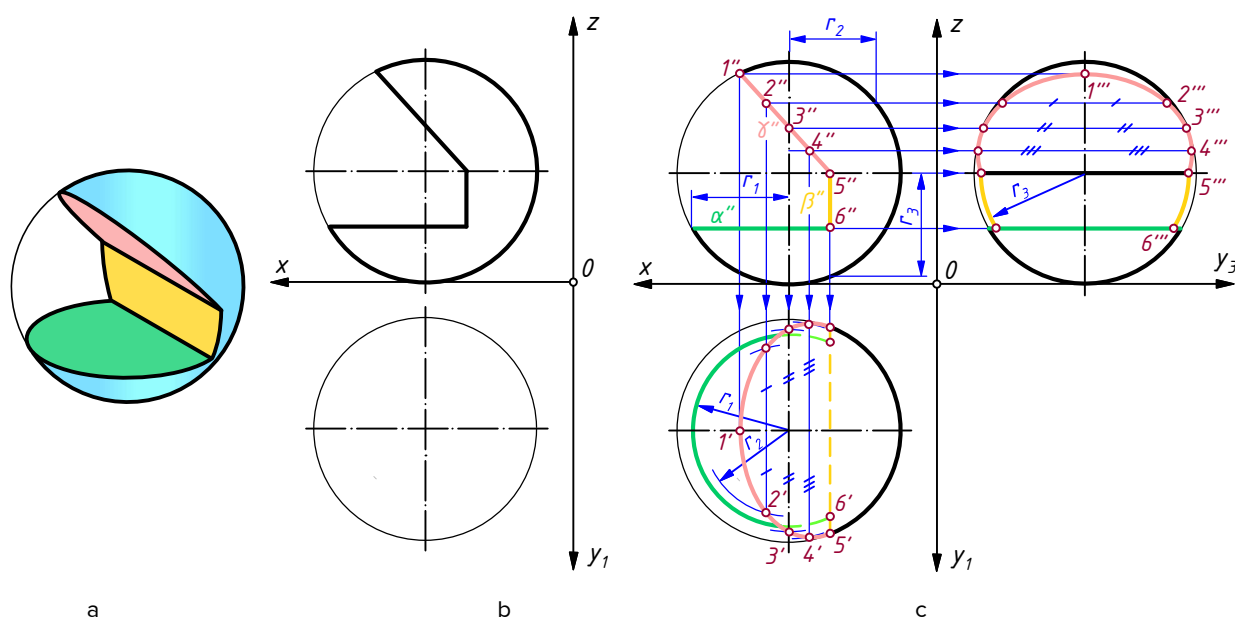
**1. Sfääri tasandiline lõige.** Kerapinna iga tasandiline lõige on ringjoon. Olenevalt lõiketasandi asendist ekraanide suhtes võib ringjoon projekteeruda ringjooneks, sirgeks või ellipsiks.

**Näide 3.48.** Joonisel 3.168 on kera lõigatud kolme tasandiga  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$ . Tuletada lõigatud sfääri kolmvaade. Kõik tasandid on esiekraani suhtes risti ja lõikekujundid projekteeruvad eestvaatel sirglõikudeks.

Tasand  $\alpha$  on paralleelne põhiekraaniga ( $\alpha \parallel \varepsilon_1$ ) ja lõikab sfääri mööda ringjoont raadiusega  $r_1$  (lõikeringjoone raadius mõõdetakse teljest moodustajani). Saadud lõikeringi osa projekteerub põhiekraanile moondevabalt. Et tasand  $\beta$  on põhiekraaniga risti ( $\beta \perp \varepsilon_1$ ), siis lõikekujund projekteerub pealtvaates sirgjoonena, mis tuletatakse sidejoone abil. Tasand  $\gamma$  on põhiekraani suhtes kaldu. Tekkinud lõikekujund ringjoon projekteerub pealtvaatel ellipsi kujul. Ellipsi tuletamiseks valitakse rida lõikepunkte. Lõikepunkti 1 ja punktipaari 5 pealtvaated tuletatakse sidejoone abil. Pealtvaatel asuvad punkt 1' sümmeetriateljel (meridiaanil) ja punktipaari 5' sfääri ekvaatoril. Punktipaari 2' tuletamiseks võetakse abitasand läbi punkti 2'' paralleelselt põhiekraaniga  $\varepsilon_1$ , mis lõikab kera mööda ringjoont raadiusega  $r_2$ . Pealtvaatel joonestatakse sfääri tsentrist kaar raadiusega  $r_2$ . Kaare ja sidejoone lõikepunktid on punktipaari 2 pealtvaated 2'. Ülejäänud punktipaariid tuletatakse analoogiliselt punktigaari 2.

Külgsaate tuletamiseks joonestatakse esmalt sfääri külgsaate ilma lõikejooneta. Tasand  $\alpha$  on külgekraani suhtes risti ( $\alpha \perp \varepsilon_3$ ) ja lõikekujund projekteerub külgsaatel sirgjoonena, mis tuletatakse sidejoone abil. Tasand  $\beta$  on külgekraani suhtes paralleelne ( $\beta \parallel \varepsilon_3$ ) ja lõikab kera mööda ringjoont raadiusega  $r_3$ . Tekkinud lõikekujund projekteerub külgekraanile moondevabalt. Raadiusega  $r_3$  joonestatakse sfääri tsentrist ringi kaared, mis jäävad tasandite  $\alpha$  ja  $\beta$  vahele. Sidejoontel saadakse punktipaaride 5 ja 6 külgsaated 5''' ja 6'''.

Tasapinnast  $\gamma$  tekkinud ringjoon projekteerub külgekraanile ellipsi kujul, sest  $\gamma$  on külgekraani suhtes kaldu. Antud lõikekujundi punktidest saab sidejoonega kohe tuletada punkti 1''', mis asub külgsaatel sümmeetriateljel, ja punktipaari 4''', mis asub sfääri meridiaanil. Tekkinud lõikekujundi ülejäänud punktide tuletamiseks kantakse sidejoontele nende punktide kaugused sümmeetriateljst, mis mõõdetakse pealtvaatelt.



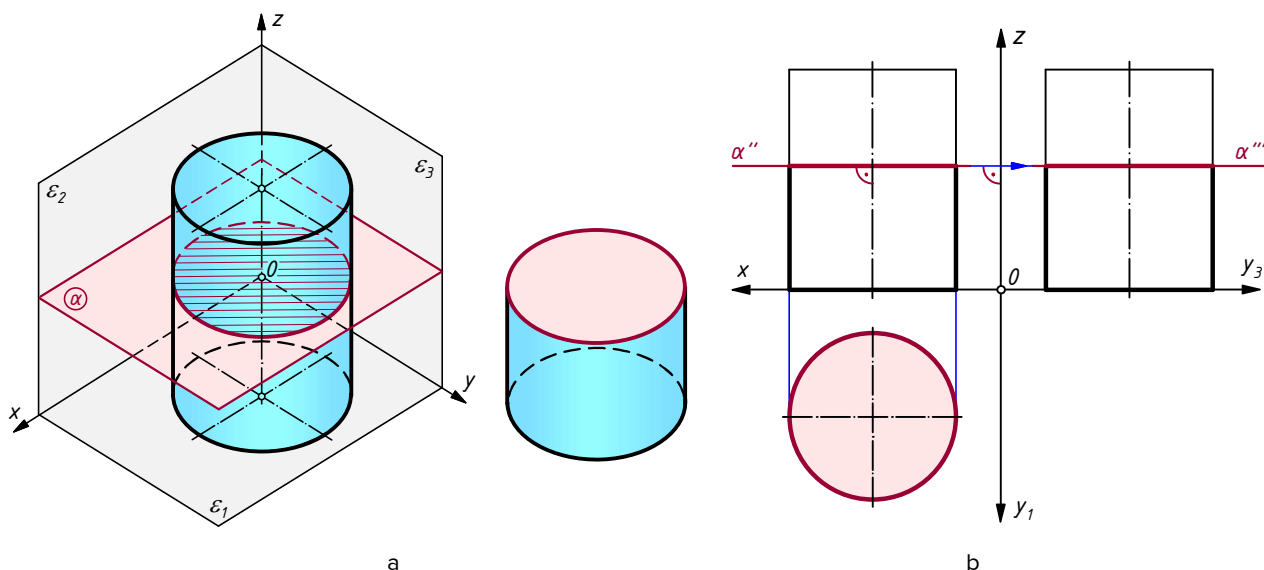
**Joonis 3.168.** Sfääri tasandilised lõiked: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

Pärast otsitavate punktide tuletamist joonestatakse lõikejooned välja ja lahendatakse nähtavuse probleem. Selle ülesande pealtvaatel on tasandist  $\alpha$  tekkinud lõikejoon paremalt kuni ellipsini nähtav, vasakul varjatud. Tasandist  $\beta$  tekkinud lõikejoon on varjatud ja tasandist  $\gamma$  tekkinud ellips on nähtav. Vasakultvaatel on kõik lõikejooned nähtavad. Lõpuks joonestatakse nähtava kontuuriga välja sfääril alles jäänud väliskontuur.

**2. Pöördsilindri pinna tasandiline lõige.** Pöördsilindrilise pinna lõikamisel tasandiga saadakse kas ringjoon, ellips või kaks paralleelset sirget.

- Ringjoon, kui lõikav tasand  $\alpha$  on silindri teljega  $t$  risti ( $\alpha \perp t$ ).

**Näide 3.49.** Olgu antud silinder, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on risti silindri teljega (joonis 3.169). Lõikejooneks tekib ringjoon. Tuletada lõigatud silindri kolmvaade.



**Joonis 3.169.** Pöördsilindri lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \perp t$ ): a – piltkujutis; b – kolmvaade.

Lõiketasand  $\alpha$  on esi- ja külgekraaniga risti ning põhiekraaniga paralleelne. Et lõiketasand  $\alpha$  on esiekraaniga risti, siis lõikena tekkiv ringjoon projekteerub eestvaatel sirgeks, mis ühtib lõiketasandi eestvaatega. Pealtvaateks on ringjoon, mis ühtib silindri pealtvaatega. Kuna lõiketasand on risti ka külgekraaniga, siis lõike külgsuuneks tuleb sirge, mis ühtib lõiketasandi külgsuunega ja saadakse sidejoont kasutades.

Lõike tõeliseks kujuks on ringjoon (ühtib silindri pealtvaatega).

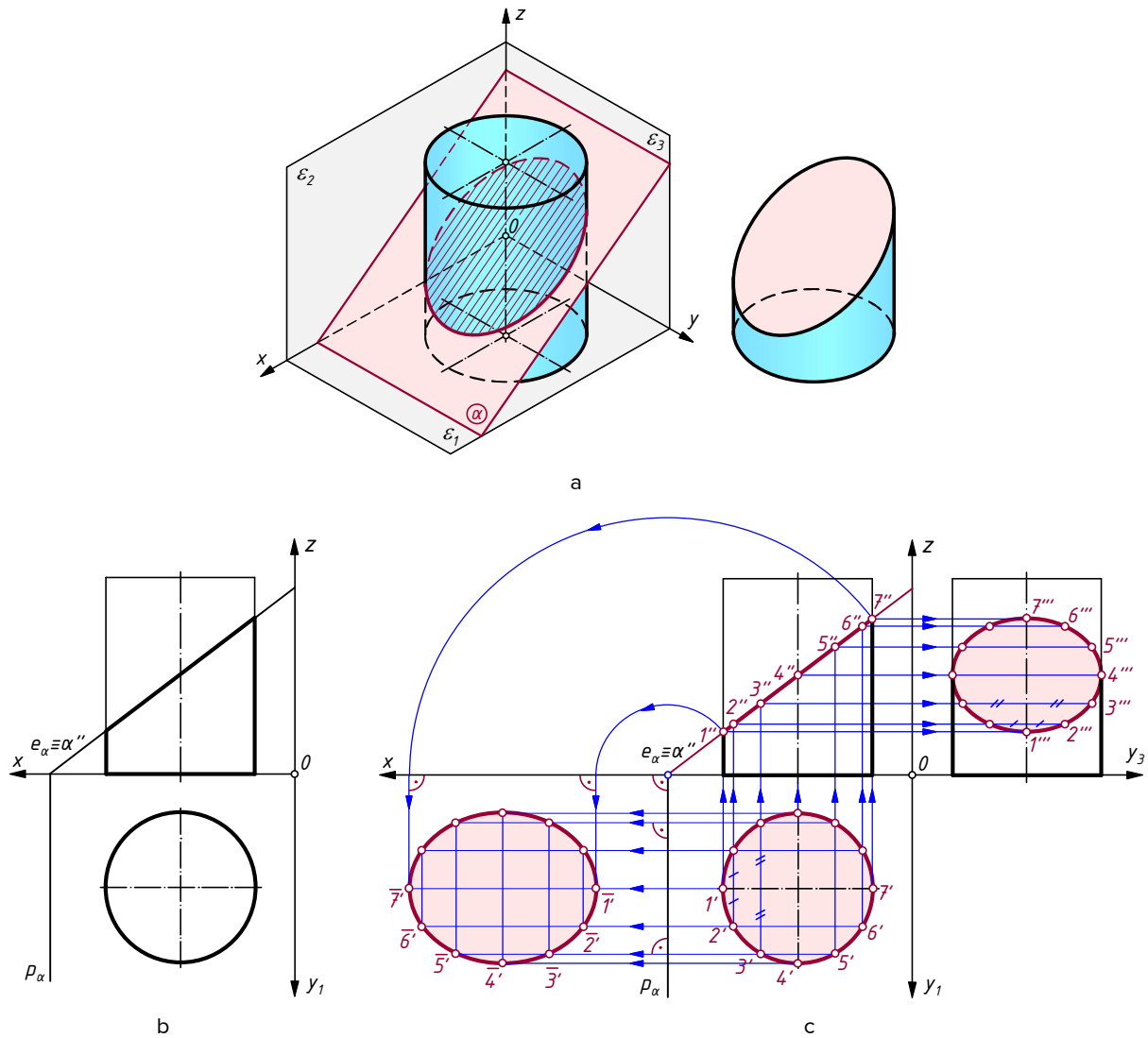
- Ellips, kui lõikav tasand  $\alpha$  on silindri telje  $t$  suhtes kaldu ( $\alpha/t$ ).

**Näide 3.50.** Olgu antud silinder, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on silindri telje suhtes kaldu (joonis 3.170). Lõikejooneks tekib ellips. Tuletada lõigatud silindri kolmvaade ja lõike tõeline kuju.

Lõiketasand on esiekraani risttasand ning põhi- ja külgekraani suhtes kaldu. Lõikena tekkiv ellips projekteerub eestvaatel sirgeks (ühtib lõiketasandi eestvaatega) ja pealtvaatel ringjooneks (ühtib silindri pealtvaatega).

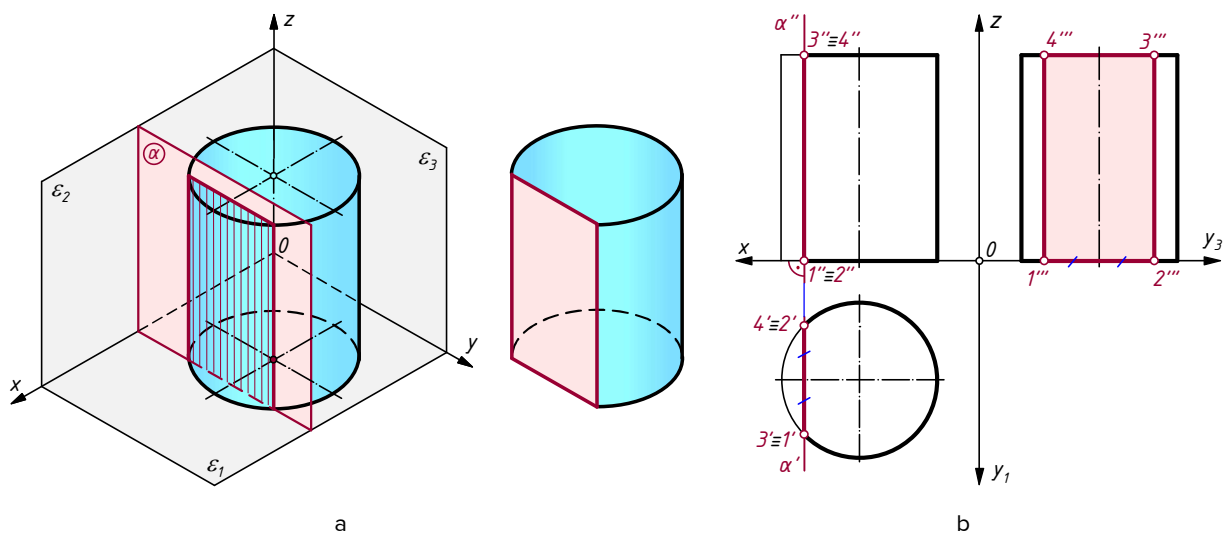
Külgsuuna (vasakultvaate) tuletamiseks joonestatakse kõigepealt silindri väliskontuur ilma lõikepunktideta. Lõikejoone (ellipsi) vasakultvaate tuletamiseks võetakse pealtvaatel rida moodustajaid. Selles ülesandes on põhja ringjoon jaotatud 12 võrdseks osaks. Saadud jaotuspunktidest tõmmatakse eestvaatele moodustajad, mis lõpevad lõikejoonel (tähistatud on ühe sümmeetria poole punktid). Eestvaatel leitud punktidest tõmmatakse vasakultvaatele sidejooned. Sidejoonega on kohe määratud need punktid, mis asetsevad silindri külgsuunal äärmistel moodustajatel (punktipaar 4'' ja sümmeetriateljel (1''' ja 7'''). Ülejäänud punktide tuletamiseks kantakse sidejoonte nendele punktidele kaugused sümmeetriateljest, mis mõõdetakse pealtvaatelt. Tuletatud lõikekujundi punktid ühendatakse ja määratakse lõikejoone nähtavus. Selle näite korral on lõikejoon täies ulatuses nähtav.

Siin näites on lõike tõeline kuju tuletatud lõikava tasandi  $\alpha$  ja tekkinud lõikekujundi (ellips) pööramisega ümber põhijälgsirge  $p_\alpha$  põhiekraanile (vt. punkt 18.5.1 näide 3.35).



**Joonis 3.170.** Pöörsilindri lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha/t$ ): a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

- Kaks paralleelset sirget, kui lõikav tasand  $\alpha$  on silindri teljega  $t$  paralleelne ( $\alpha \parallel t$ ).



**Joonis 3.171.** Pöörsilindri lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \parallel t$ ): a – piltkujutis; b – kolmvaade.

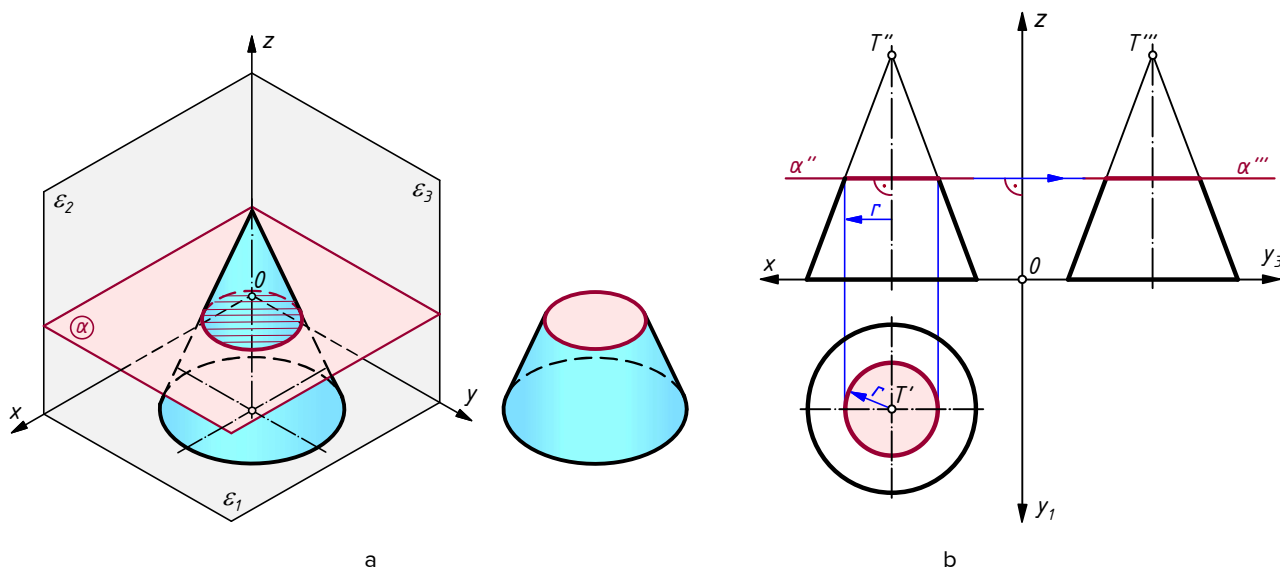
**Näide 3.51.** Olgu antud silinder, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on silindri telje suhtes paralleelne (joonis 3.171). Lõikejooneks tekib kaks paralleelset sirget. Tuletada lõigatud silindri kolmvaade.

Silindrit lõikav tasand on esi- ja põhiekraaniga risti ( $\alpha \perp \varepsilon_2, \varepsilon_1$ ) ning külgekraani suhtes paralleelne. Lõige (1234) projekteerub nii eest- kui ka pealtvaatel sirgjooneks, mis ühtib vastavalt lõiketasandi eest- ja pealtvaatega. Vasakultvaate tuletamiseks tõmmatakse punktidest 1'', 2'', 3'' ja 4'' sidejooned. Sidejoontele kantakse antud punktide kaugused sümmeetriateljelt, mis mõõdetakse pealtvaatelt. Seejärel ühendatakse saadud punktid lõikejooneks ja määratakse selle nähtavus.

Lõige projekteerub tõelises suurusel külgvaatel.

**3. Pöördkoonuse tasandiline lõige.** Pöördkoonuse lõikamisel tasandiga saadakse kas ringjoon, ellips, parabool, hüperbool või kaks lõikuvat sirget.

- **Ringjoon, kui tasand lõikab pöördkoonuse kõiki moodustajaid ja on tema teljega risti, kuid ei läbi koonuse tippu ( $\alpha \perp t$ ).**



**Joonis 3.172.** Pöördkoonuse lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \perp t$ ): a – piltkujutis; b – kolmvaade.

**Näide 3.52.** Olgu antud pöördkoonus, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on koonuse teljega risti ja lõikab kõiki tema moodustajaid ega läbi koonuse tippu (joonis 3.172). Et lõiketasand  $\alpha$  on koonuse teljega risti, siis lõikeks tekib ringjoon. Tuletada lõigatud koonuse kolmvaade.

Koonust lõikav tasand  $\alpha$  on nii esi- kui ka külgekraaniga risti ja põhiekraaniga paralleelne. Lõikena tekkinud ringjoon projekteerub eestvaatel sirgeks (ühtib lõiketasapinna eestvaatega) ja pealtvaatel ringjooneks raadiusega  $r$ . Pealtvaatel tekkinud ringjoon on lõike tõeline kuju.

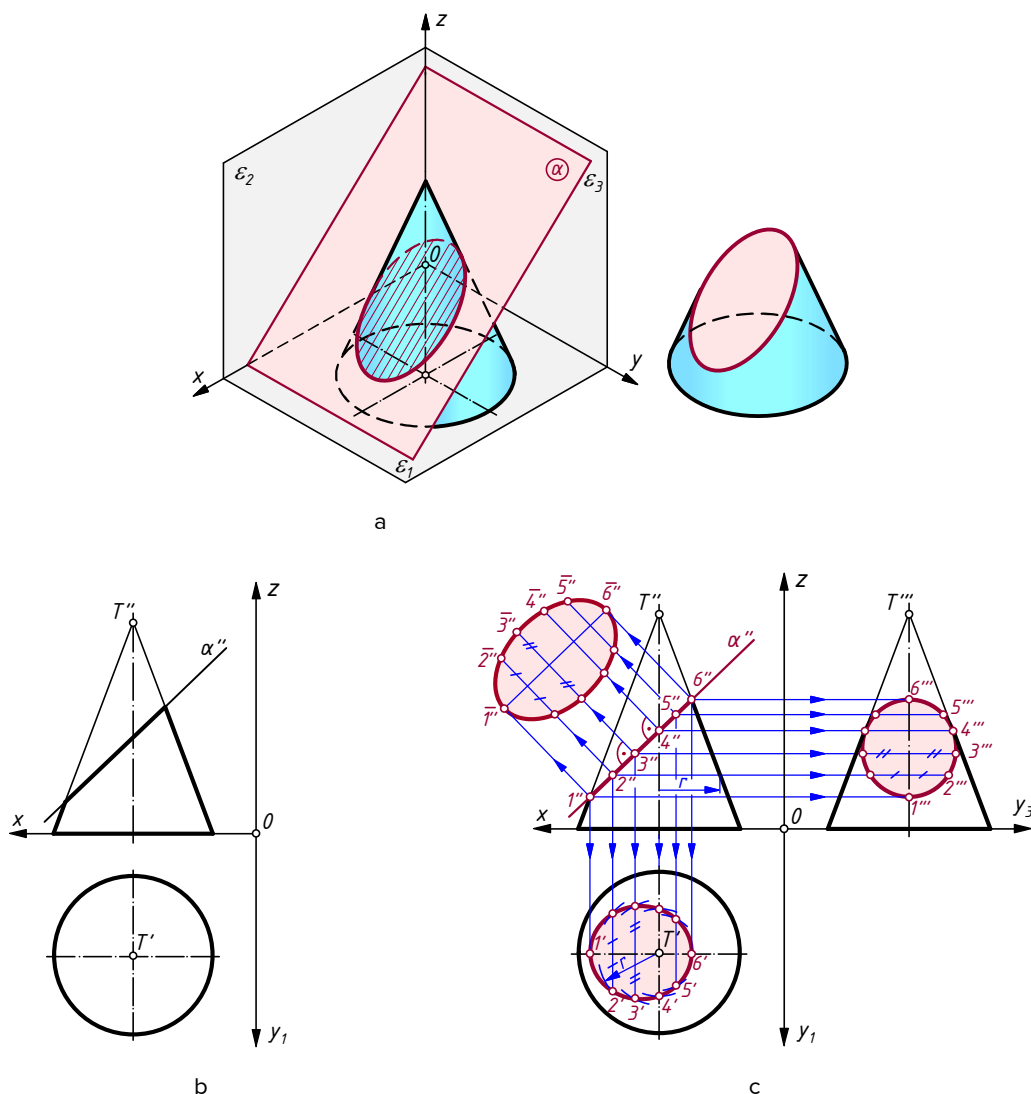
Kuna lõiketasand on risti ka külgekraaniga, siis lõikekujundiks külgvaatel tekib sirge (ühtib lõiketasapinna külgvaatega), mis saadakse, kasutades sidejoont.

- **Ellips, kui lõikav tasand  $\alpha$  on koonuse telje  $t$  suhtes kaldu ja lõikab koonuse kõiki moodustajaid, kuid ei läbi koonuse tippu ( $\alpha \times \Sigma m; \alpha/t$ ).**

**Näide 3.53.** Olgu antud koonus, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on koonuse telje suhtes kaldu ja lõikab kõiki tema moodustajaid ega läbi koonuse tippu (joonis 3.172). Lõikekujundiks tekib ellips. Tuletada lõigatud koonuse kolmvaade. Selles näites on lõikav tasand  $\alpha$  esiekraaniga risti ning põhi- ja külgekraani suhtes kaldu. Tekkinud lõikekujund ellips projekteerub eestvaatele sirgeks (ühtib lõiketasandi eestvaatega).

Lõikekujundi pealtvaate tuletamiseks võetakse kasutusele abitasandid, mis lõikavad koonust mööda ringjooni (võimalus on tuletada ka moodustajate abil – vt punkt 20.1 näide 3.44). Järelikult abitasandid tuleb võtta nii, et nad oleksid koonuse telje suhtes risti. Kõigepealt määratakse lõike eestvaatel otsitavad punktid ja tähistatakse (kuna on tegemist sümmeetrilise kehaga, siis on tähistatud ainult ühe sümmeetriapoole punktid

$1'' \dots 6''$ ). Punktid  $1'$  ja  $6'$  tuletatakse pealtvaatel, kasutades sidejooni. Sidejooned tõmmatakse punktidest  $1''$  ja  $6''$  kuni lõikumiseni sümmeetriateljega pealtvaatel. Ülejäänud punktid tuletatakse pealtvaatel, kasutades abitasandeid. Punktipaari  $2'$  tuletamiseks tõmmatakse eestvaatel läbi nende punktide ja risti koonuse teljega abitasand, mis lõikab koonust mööda ringjoont raadiusega  $r$ . Edasi tõmmatakse punktist  $2''$  sidejoon pealtvaatele ja tipust  $T'$  joonestatakse ringjoon raadiusega  $r$ . Ringjoone ja sidejoone lõikepunktides ongi otsitavad punktid. Nii tuletatakse ka ülejäänud lõikejoone otsitavad punktid.



**Joonis 3.173.** Pöördkoonuse lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \times \Sigma m$ ;  $\alpha / t$ ): a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

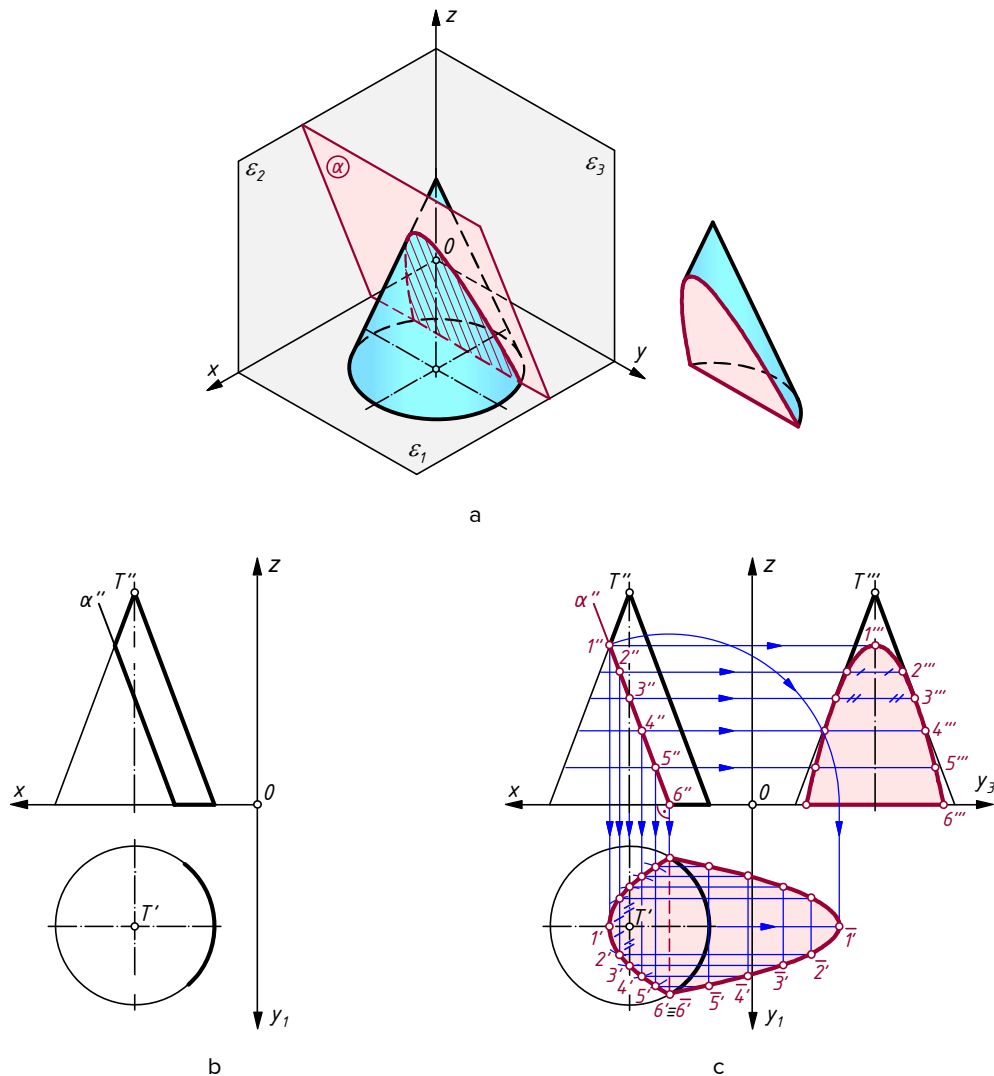
Edasi tuletatakse koonuse külgvaade. Esmalt tuletatakse koonuse väliskontuur ja seejärel lõikepunktid. Selleks tõmmatakse punktide eestvaadetelt sidejooned külgvaatele. Sidejoonega saab kohe tuletatud punktid  $1'''$  ja  $6'''$  (asuvad sümmeetria teljel) ning punktipaari  $3'''$  (asuvad koonuse külgvaatel äärmistel moodustajatel). Ülejäänud punktide tuletamiseks kantakse sidejoontele nende punktide kaugused sümmeetriateljest, mis saadakse pealtvaatel.

Tuletatud punktid ühendatakse ja määratakse lõikekujundi osade nähtavus. Selles näites on lõikejoon kõikidel vaadetel nähtav.

Lõike tõeline kuju on ellips. Lõike tõeline kuju on tuletatud lõikava tasandi  $\alpha$  pööramisega esiekraanile ümber  $\alpha''$  (vt punkt 16.5.1 näide 3.37). Punktidest  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ,  $4''$ ,  $5''$ ,  $6''$  tõmmatakse  $\alpha''$  suhtes ristsirged ja sirgetele kantakse lõikepunktide esikvoodid ehk  $y$ -koordinaadid, mille tulemusena saadakse lõike tõeline kuju.

- Parabool, kui lõikav tasand on paralleelne pöördkoonuse üheainsa moodustajaga, kuid ei läbi koonuse tippu ( $\alpha \parallel m$ ).

**Näide 3.54.** Olgu antud koonus, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on paralleelne koonuse ühe moodustajaga ega läbi koonuse tippu (joonis 3.174). Lõikejooneks tekib parabool. Tuletada lõigatud koonuse kolmvaade. Näites on koonust lõikav tasand esiekraaniga risti ning põhi- ja külgekraani suhtes kaldu. Tekkinud lõikekujund parabool projekteerub eestvaatel sirgeks (ühtib lõiketaseandi eestvaatega).



**Joonis 3.174.** Pöördkoonuse lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \parallel m$ ): a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

Pealtvaate tuletamiseks määratakse kõigepealt otsitavad punktid ja tähistatakse  $1'' \dots 6''$  (kuna on tegemist sümmeetrilise kehaga, siis on tähistatud ainult ühe sümmeetriapoole punktid). Parabooli haripunkt  $1''$  ja punktipaar  $6''$  saadakse pealtvaatel kohe kätte, kasutades sidejooni. Punkt  $1''$  on sümmeetriateljel ja punktipaar  $6''$  koonuse põhjaringjoonel. Ülejäänud punktid tuletatakse, kasutades abitasandeid analoogselt eelneva näitega (vt näide 3.53).

Külgvaatel tuletatakse esmalt koonuse väliskontuur ja seejärel lõikepunktid. Külgvaate tuletamisel saadakse kõigepealt punkt  $1'''$  ja punktipaar  $3'''$ , kasutades sidejooni, mis asuvad vastavalt koonuse külgvaate sümmeetriateljel ja äärmistel moodustajatel. Punktipaaride  $2'''$ ,  $4'''$  ja  $5'''$  tuletamiseks kantakse sidejoontele nende punktide kaugused sümmeetriateljest, mis saadakse pealtvaatelt.

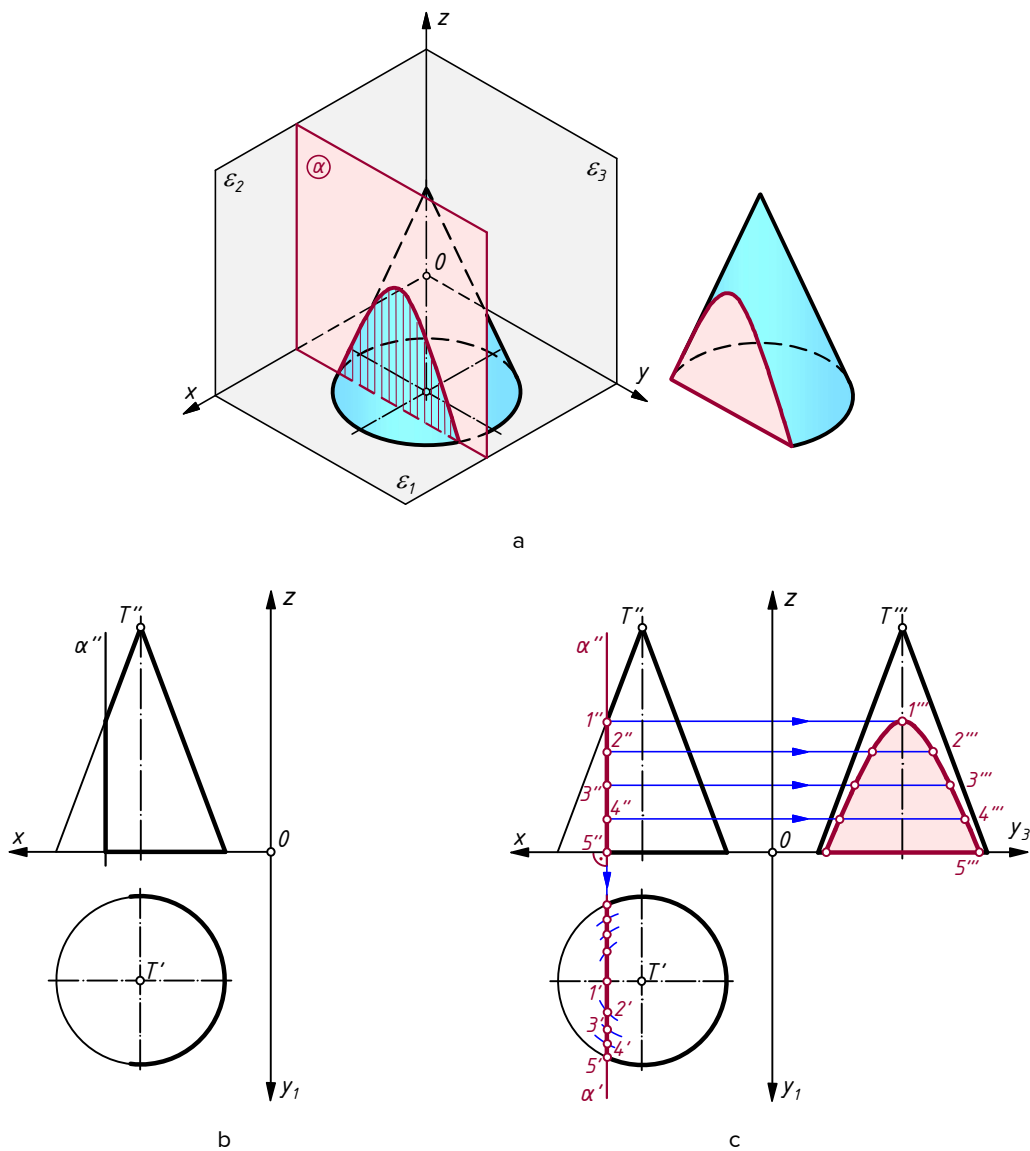
Tuletatud punktid ühendatakse lõikejooneks ja määratakse nähtavus. Selles näites on lõikejoon nähtav kõikidel vaadetel, v.a pealtvaatel see lõikejoone osa, kus tasand  $\alpha$  lõikab koonuse põhja.

Lõike tõeline kuju on parabool. Siin näites on lõike tõeline kuju tuletatud lõikava tasandi  $\alpha$  pööramisega koos tekkinud lõikekujundiga (ellips) põhiekraanile ümber põhijälgsirge  $p_\alpha$  põhiekraanile (vt. punkt 18.5.1 Näide 3.35).

**- Hüperbool, kui lõikav tasand on paralleelne koonuse kahe moodustajaga, kuid ei läbi koonuse tippu ( $\alpha \parallel m_1$  ja  $m_2$ ).**

**Näide 3.55.** Olgu antud koonus, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis on paralleelne koonuse kahe moodustajaga ega läbi koonuse tippu (joonis 3.75). Lõikejooneks tekib hüperbool. Tuletada lõigatud koonuse kolmvaade. Näites on koonust lõikav tasand  $\alpha$  risti esi- ja põhiekraaniga ning paralleelne külgekraaniga. Tekkinud lõikekujund hüperbool projekteerub nii eest- kui ka pealtvaatel sirgeks (ühtib vastavalt lõiketasandi eest- ja pealtvaatega).

Külgsaate tuletamiseks määratakse otsitavad punktid ja tähistatakse  $1''...5''$  (kuna on tegemist sümmeetrilise kehaga, siis on tähistatud ainult ühe sümmeetriapoole punktid). Külgsaate tuletamisel saab antud juhul sidejoonega kohe kätte ainult haripunkti  $5'''$ . Ülejäänud punktide tuletamiseks tuletatakse need kõigepealt pealtvaatel, kasutades abitasandeid. Seejärel kantakse külgsaatel sidejoontele nende punktide kaugused sümmeetriateljst, mis saadakse pealtvaatelt.



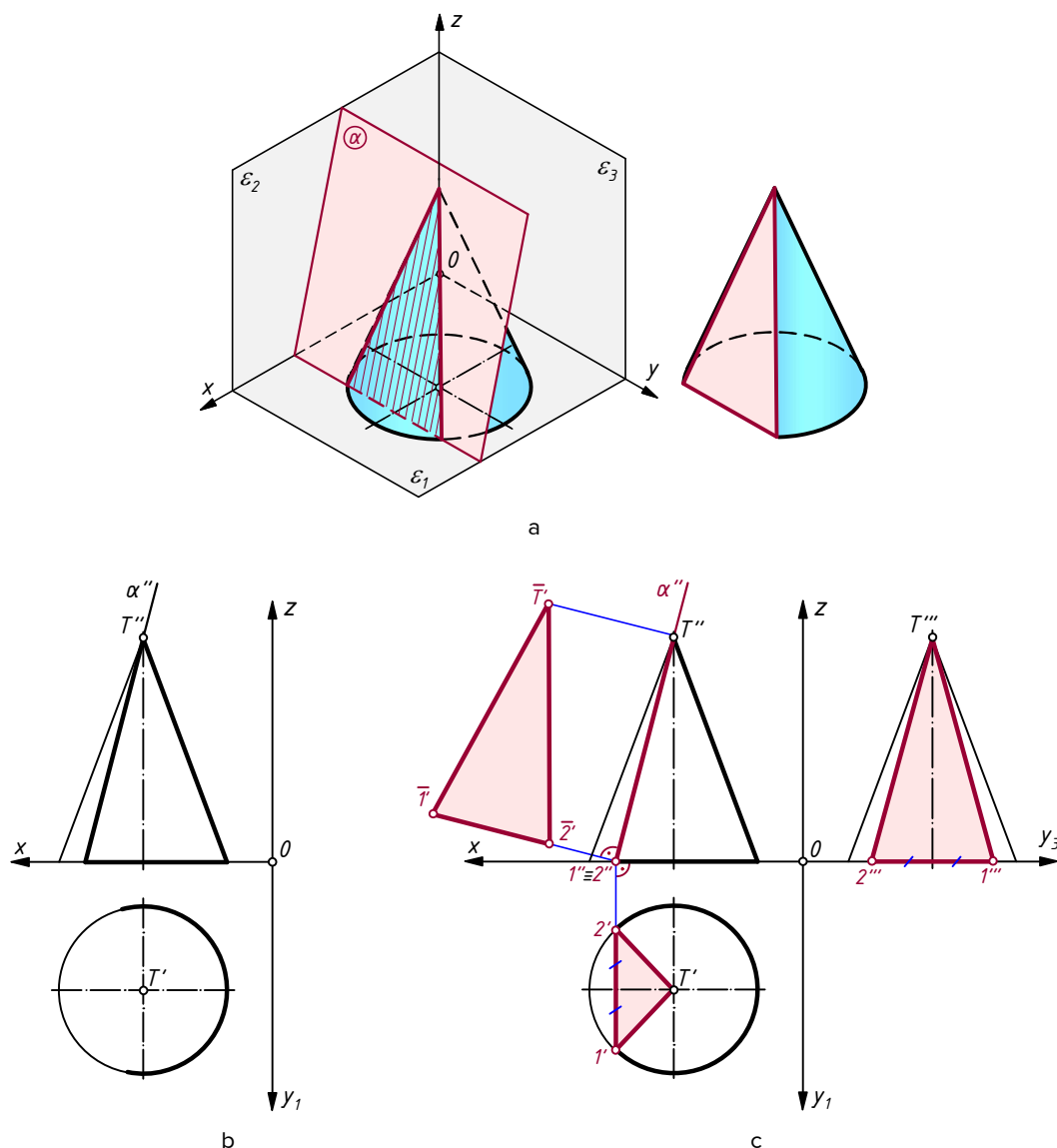
**Joonis 3.175.** Pöördkoonuse lõikamine tasandiga  $\alpha$  ( $\alpha \parallel m_1$  ja  $m_2$ ): a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

Kui kõik otsitavad punktid on tuletatud, ühendatakse nad lõikejooneks ja määratakse nähtavus. Selles näites on lõikejoon nähtav kõikidel vaadetel. Lõike tõeline kuju projekteerub tõelises suurusel külgsuhtel.

- Kaks lõikuvat sirget, kui lõikav tasand lõikab koonust kahte moodustajat mööda ja läbib ka koonuse tippu.

**Näide 3.56.** Olgu antud koonus, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ , mis lõikab koonust kahte moodustajat mööda ja läbib ühtlasi koonuse tippu (joonis 3.176). Lõikejooneks tekib kaks lõikuvat sirget. Tuletada lõigatud koonuse kolmvaade. Näites on koonust lõikav tasand esiekraaniga risti ning põhi- ja külgekraani suhtes kaldu.

Teades, et lõikejooneks tuleb siin kaks lõikuvat sirget, on pealtvaate tuletamine lihtne. Tuletatakse põhja lõikepunktid  $1'$  ja  $2'$ , kasutades sidejoont. Siis ühendatakse need tipuga  $T'$ .



**Joonis 3.176.** Pöördkoonuse lõikamine tasandiga  $\alpha$ , mis lõikab koonust mööda kahte moodustajat ja läbib ühtlasi koonuse tippu: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus kolmvaatel.

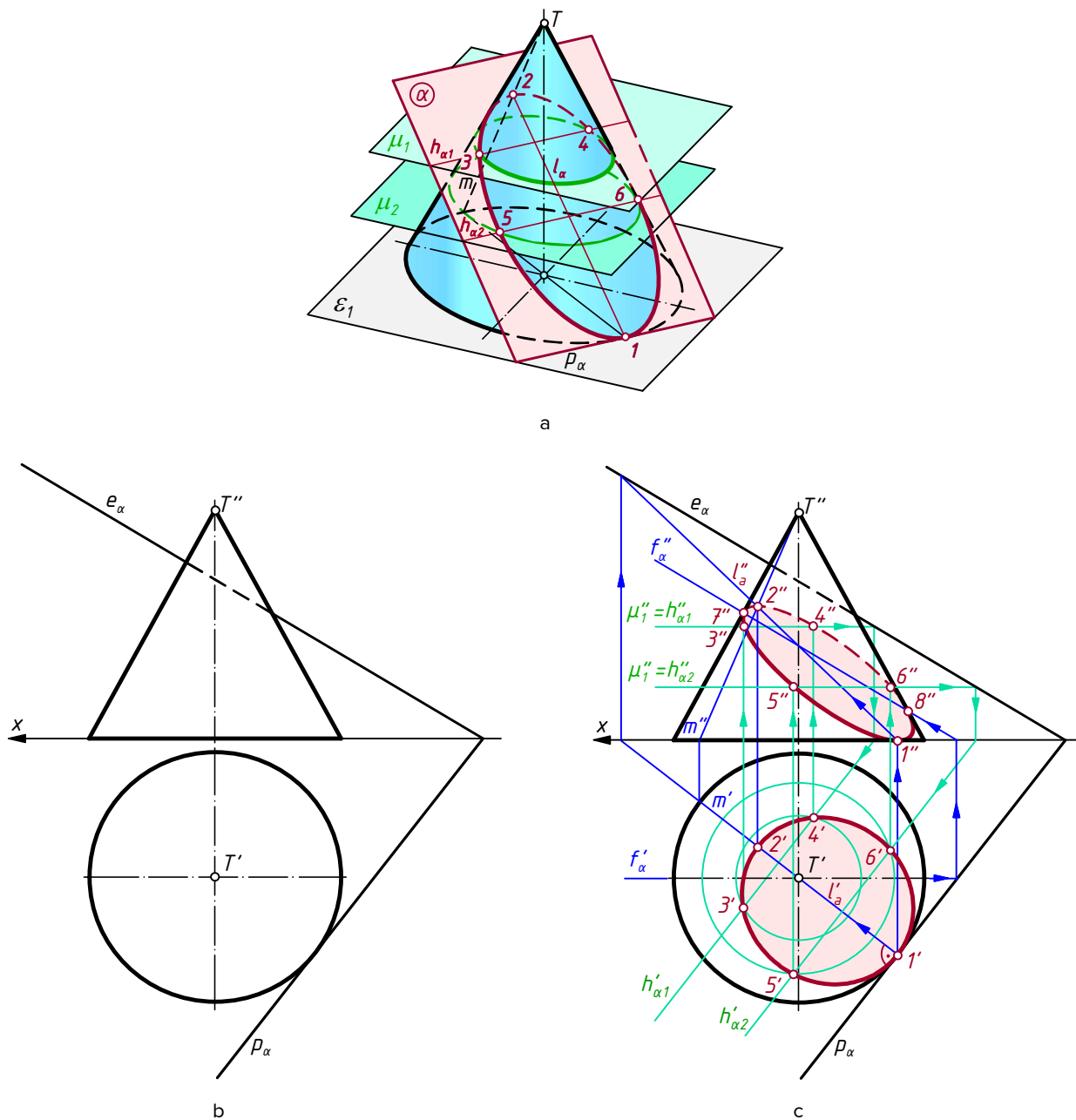
Külgsuhte saamiseks tuletatakse punktid  $1'''$  ja  $2'''$ , kandes sidejoonele nende punktide kaugused sümmeetriateljelt, mis saadakse pealtvaatelt. Tuletatud punktid ühendatakse tipuga  $T'''$ . Lõikejoon on selles ühesandis kõikidel vaadetel nähtav.

Lõike tõeline kuju on kolmnurk. Lõike tõeline kuju on tuletatud lõikava tasandi  $\alpha$  pööramisega esiekraanile ümber  $\alpha''$  (vt punkt 18.5.1 Näide 3.37). Punktide  $1''$ ,  $2''$ ,  $T''$  tõmmatakse  $\alpha''$  suhtes ristsirged ja sirgetele kantakse lõikepunktide esikvoodid ehk y-koordinaadid, mille tulemusena saadakse lõike tõeline kuju.

### 20.3.2 KÕVERPINNA JA ÜLDASENDILISE TASANDI LÕIKUMINE

Seda tüüpi ülesande lahendamiseks kasutatakse abitasandite võtet.

**Näide 3.57.** Olgu antud koonus, mida on lõigatud üldasendilise tasandiga  $\alpha$  (joonis 3.177). Tuletada lõikejoone kaksvaade. Lõikejooneks tuleb ellips. Kõigepealt tuletatakse lõikejoone ekstreempunktid 1 ja 2 (lõike madalaim ja kõrgeim punkt). Lõike madalaimaks punktiks on lõikava tasandi  $\alpha$  põhijälje  $p_\alpha$  ja põhiekraanil paikneva koonuse põhiringjoone puutepunkt 1. Kõrgeim punkt 2 saadakse punktist 1 tõmmatud koonuse telge läbiva põhilangusjoone  $l_\alpha$  abil. Kaksvaatel tõmmatakse läbi tipu  $T'$  põhilangusjoone  $l'_\alpha$  pealtvaade risti tasandi  $\alpha$  põhijäljega  $p_\alpha$ . Punkti 2 leidmiseks tuletatakse eestvaatel põhilangusjoone  $l_\alpha$  ja moodustaja  $m$  (ühtib pealtvaatel põhilangusjoonega) eestvaated  $l''_\alpha$  ja  $m''$ . Nende lõikepunkt annab kõrgema punkti 2 eestvaate  $2''$ . Seejärel tuletatakse punkti 2 pealtvaade  $2'$ .



**Joonis 3.177.** Pöördkoonuse ja üldasendilise tasandi lõikejoone tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

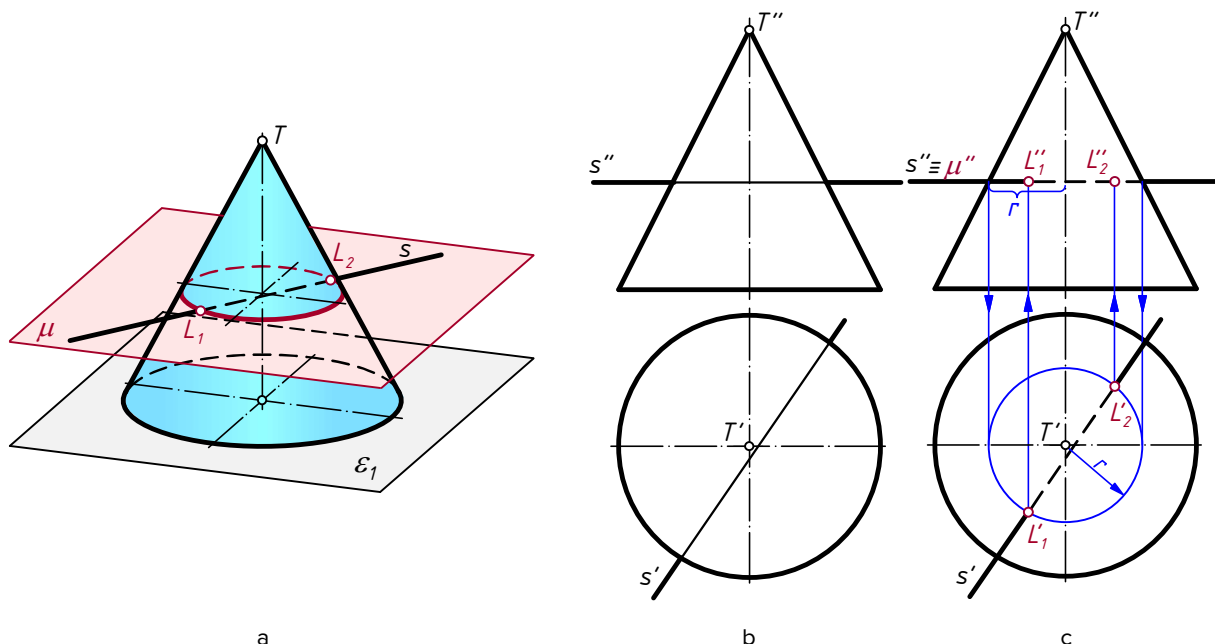
Eestvaatel lõikejoone joonestamisel on vaja teada nähtavuse piirpunkte. Need punktid tuletatakse tasandi  $\alpha$  frontaali  $f$  abil, mis läbib koonuse telge. Pealtvaatel joonestatakse läbi tipu  $T'$  frontaali  $f_\alpha$  pealtvaade  $f'_\alpha$  ( $f' \parallel x$ ) ning seejärel eestvaade  $f''_\alpha$  ( $f'' \parallel e$ ). Frontaali  $f''_\alpha$  lõikepunktid koonuse äärmiste moodustajatega määravad nähtavuse piirpunktid  $7''$  ja  $8''$ .

Järgmised punktid 3 ja 4 tuletatakse horisontaalsete abitasandite abil. Abitasand  $\mu$  on koonuse teljega risti ja lõikab tasandit  $\alpha$  mööda horisontaali  $h_\alpha$  ( $h'' \equiv \mu''$ ,  $h' \parallel p_\alpha$ ), koonust aga mööda ringjoont. Ringjoon projekteerub eestvaatel sirgjooneks ja pealtvaatel ringjooneks raadiusega, mis mõõdetakse eestvaatel sümmeetriateljest äärmise moodustajani. Horisontaali  $h'_\alpha$  ja ringjoone pealtvaadete lõikepunktid ongi otsitava lõikejoone kahe punkti 3 ja 4 pealtvaated  $3'$  ja  $4'$ . Punktide eestvaated  $3''$  ja  $4''$  tuletatakse sidejoonte abil. Korrates sama võtet erinevatel kõrgustel valitud horisontaalsete abitasanditega, saadakse piisav arv punkte lõikejoone joonestamiseks.

## 20.4 KÕVERPINNA JA SIRGE LÕIKUMINE

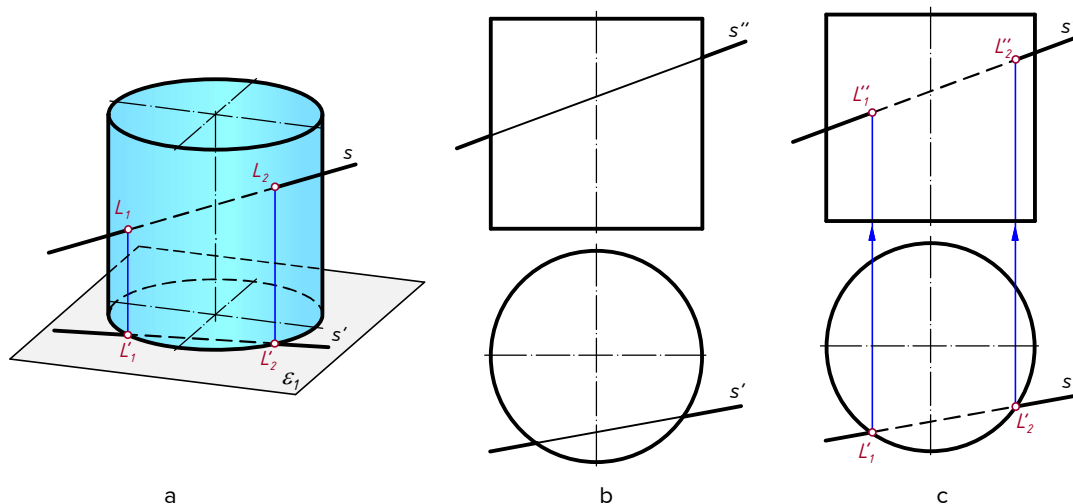
Kõverpinna ja sirge lõikumine lahendatakse analoogiliselt sirge ja tasandi lõikumisega. Läbi sirge võetakse abitasand. Sirget läbiv tasand võetakse nii, et see lõikaks pinda mööda lihtsaid jooni (sirge- või ringjoon). Tuletatakse abitasandi ja kõverpinna lõikejoon ning leitakse tuletatud lõikejoone ja sirge lõikepunktid, mis ongi antud kõverpinna ja sirge lõikepunktideks.

**Näide 3.58.** Olgu antud koonus ja sirge  $s$  (joonis 3.178). Tuletada koonuse ja sirge lõikepunktid. Et sirge  $s$  on eriasendiline (paralleelne põhiekraaniga), siis võetakse läbi sirge tasand  $\mu$  paralleelselt põhiekraaniga  $\varepsilon_1$ . Tasand lõikab koonust mööda ringjoont raadiusega  $r$ . Pealtvaatel joonestatakse selle raadiusega  $r$  ringjoon. Ringjoone ja sirge  $s$  lõikepunktid ongi otsitavad lõikepunktid  $L'_1$  ja  $L'_2$ , kus sirge  $s$  lõikab koonust. Seejärel tuletatakse lõikepunktid  $L''_1$  ja  $L''_2$  sidejoonte abil eestvaatel ning lahendatakse sirge  $s$  nähtavus.



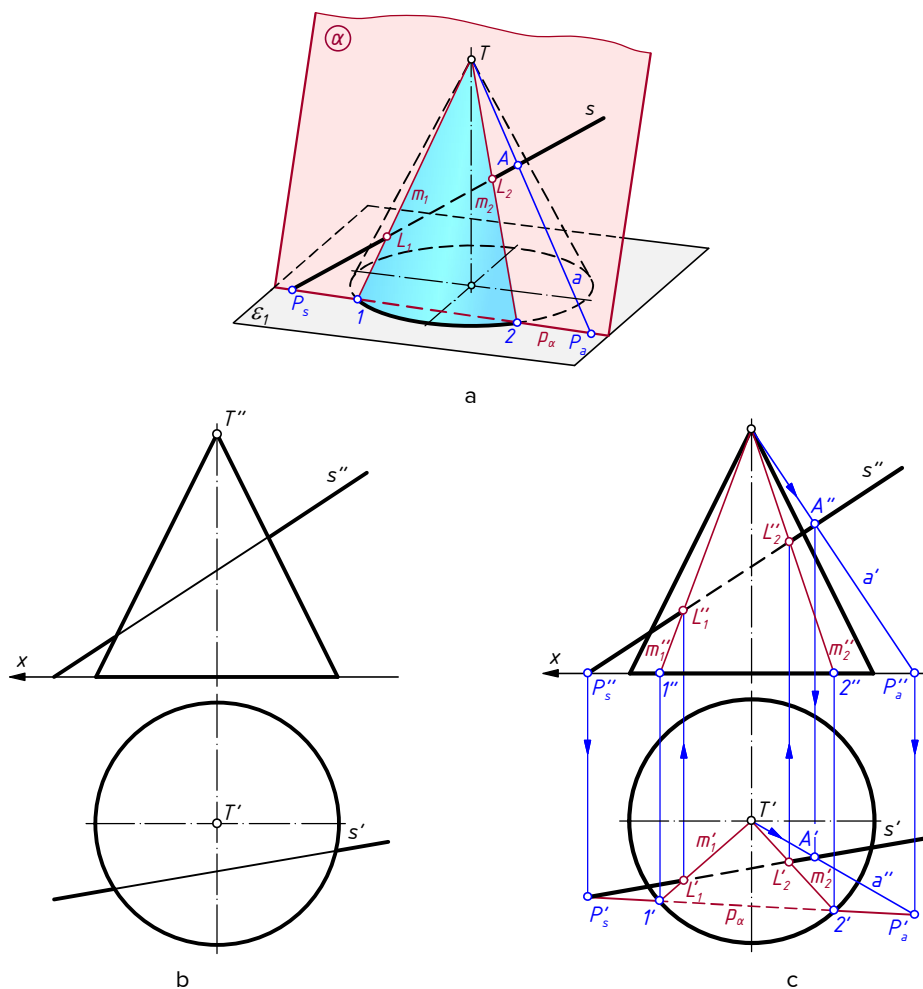
**Joonis 3.178.** Koonuse ja eriasendilise sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

**Näide 3.59.** Olgu antud silinder ja sirge  $s$  (joonis 3.179). Tuletada silindri ja sirge lõikepunktid. Tegemist on püstsilindriga, mille pealtvaade on ringjoon. Kõigi silindrilisel pinnal asuvate punktide, sealhulgas kahe otsitava lõikepunkti pealtvaated  $L'_1$  ja  $L'_2$  asuvad samal ringjoonel (ringjoone ja sirge  $s'$  lõikepunktid). Eestvaated  $L''_1$  ja  $L''_2$  tuletatakse sidejoonte abil. Seejärel lahendatakse sirge  $s$  nähtavus.



**Joonis 3.179.** Silindri ja sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

**Näide 3.60.** Olgu antud koonus ja üldasendiline sirge  $s$  (joonis 3.180). Tuletada koonuse ja sirge lõikepunktid. Siin näites ei ole otstarbekas kasutada projekteerivaid tasandeid, kuna tekkiva lõikejoone tuletamine on töömahukas. Põhiekraani risttasand lõikab koonust mööda hüperbooli ja esiekraani risttasand mööda ellipsit. Läbi sirge  $s$  võetakse abitasand  $\alpha$ , mis läbib koonuse tippu  $T$ . Abitasand lõikab koonust mööda moodustajaid  $m_1$  ja  $m_2$  ning nende lõikepunktid sirgega  $s$  on sirge ja koonuse lõikepunktid  $L_1$  ja  $L_2$ . Moodustajate  $m_1$  ja  $m_2$  leidmiseks kasutatakse lõikepunkte 1 ja 2, mis saadakse abitasandi  $\alpha$  põhijälje  $p_\alpha$  ja koonuse põhjaringjoone lõikumisel.



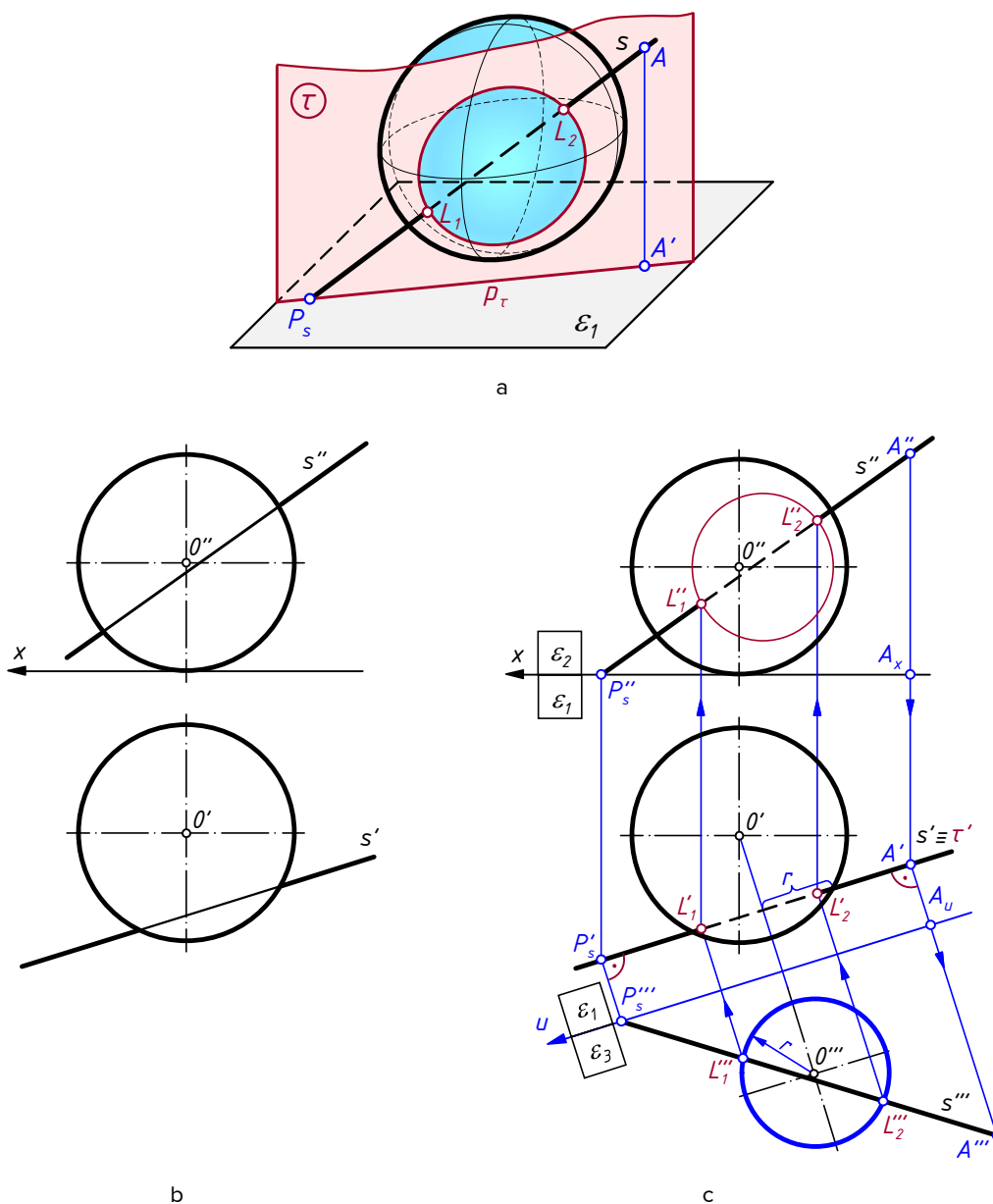
**Joonis 3.180.** Koonuse ja üldasendilise sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

Ülesande lahendamiseks kaksvaatel võetakse sirgel  $s$  vabalt punkt  $A(A'; A'')$ . Koonuse tipust  $T(T'; T'')$  läbi punkti  $A$  tõmmatakse sirge  $a(a'; a'')$ . Sirgete  $s$  ja  $a$  eestvaadete lõikepunktid  $x$ -teljega määravad nende sirgete põhijälgede eestvaated  $P_s''$  ja  $P_a''$ . Punktidest  $P_s''$  ja  $P_a''$  tõmmatud sidejoonte lõikepunktid vastavate sirgete pealtvaadetega annavad nende sirgete põhijälgede pealtvaated  $P_s'$  ja  $P_a'$ . Punktidega  $P_s'$  ja  $P_a'$  on määratud abitasandi  $\alpha$  põhijalg  $p_\alpha$ .

Põhijälje  $p_\alpha$  ja koonuse põhjaringjoone lõikepunktide  $I(I'; I'')$  ja  $2(2'; 2'')$  kaudu saadakse moodustajad  $m_1(m_1'; m_1'')$  ja  $m_2(m_2'; m_2'')$ . Moodustajate lõikepunktid sirgega  $s(s'; s'')$  ongi otsitavad sirge  $s$  ja koonuse lõikepunktid  $L_1(L_1'; L_1'')$  ja  $L_2(L_2'; L_2'')$ . Täpse lahenduse korral langevad lõikepunktide projektsioonid  $L_1'$  ja  $L_1''$  ning  $L_2'$  ja  $L_2''$  ühele ja samale sidejoonele.

**Näide 3.61.** Olgu antud sfäär ja üldasendiline sirge  $s$  (joonis 3.181). Tuletada sfääri ja sirge lõikepunktid. Selle ülesande lahendamiseks on otstarbekas kasutada läbi sirge  $s$  põhiekraani ristsandit  $\tau(\tau \perp \varepsilon_I)$ . Tekkiv lõikeringjoon projekteerub pealtvaatel sirgjooneks, eestvaatel ellipsiks.

Üks võimalus lõikepunkte tuletada on leida eestvaatel ellipsi ja sirge  $s$  lõikepunktid. Teine võimalus on kasutada lisaekraani  $\varepsilon_3$  (uut ekraani), mis on risti põhiekraaniga  $\varepsilon_I$  ja paralleelne sirgega  $s$ , ning projekteerida nii lõikejoon kui ka sirge sellele ekraanile  $\varepsilon_3$ . Tekib üldistatud kolmvaade (vt punkt 14.3).



**Joonis 3.181.** Sfääri ja üldasendilise sirge lõikepunktide tuletamine: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

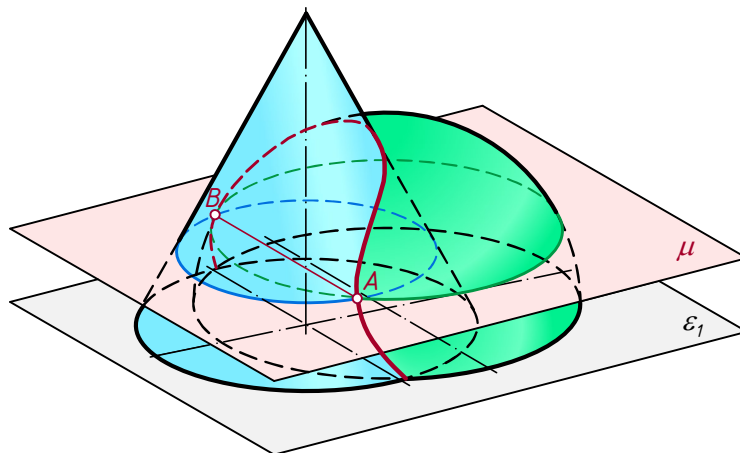
Sirge  $s$  uue projektsiooni  $s'''$  tuletamiseks tuleb uutele sidejoontele teljest  $u$  kanda punktide  $P_s$  ja  $A$  põhikvootide ( $z$ -koordinaat) väärtused. Punkti  $P_s$  põhikvoot võrdub sirglõiguga  $A''A_x$  ja punkti  $P_s$  põhikvoot on null. Punktid  $P_s'''$  ja  $A'''$  määravad sirge  $s'''$ . Lõikeringjoon projekteerub ringjoonena raadiusega  $r$ . Kõigepealt leitakse tsenter  $O'''$ . Sidejoonele kantakse sfääri tsentri põhikvoot ja joonestatakse lõikeringjoon raadiusega  $r$ . Ringjoone ja sirge lõikepunktid määravad otsitavad punktid  $L_2'''$  ja  $L_2'''$ . Edasi tuletatakse sidejoonte abil lõikepunktide pealtvaated  $(L'_1, L'_2)$  sirgel  $s'$  ja eestvaated  $(L''_1, L''_2)$  sirgel  $s''$ . Mõlemal vaatel on tuletatud lõikepunktid nähtavad.

## 20.5 KÕVERPINDADE OMAVAHELINE LÕIKUMINE

Kahe pinna lõikejoone tuletamisel kasutatakse harilikult nn abipindade võtet. Kõverpindade korral seisneb selle võtte olemus järgmises. Antud pinnapaari lõigatakse niisuguste lihtsate abipindadega (tasandid, kontsentrilised või ekstsentrilised sfäärid), mis lõikuvad kumbagi antud pinnaga mööda lihtsaid jooni (sirg- ja ringjooni). Iga abipinnaga saadud lihtsad abilõiked annavad omavahel lõikudes antud pindade lõikejoone punkte. Olenevalt valitud abipindade süsteemist, nimetatakse seda lõikumisülesande lahendamise võtet kas abitasandite või abisfääride võtteks.

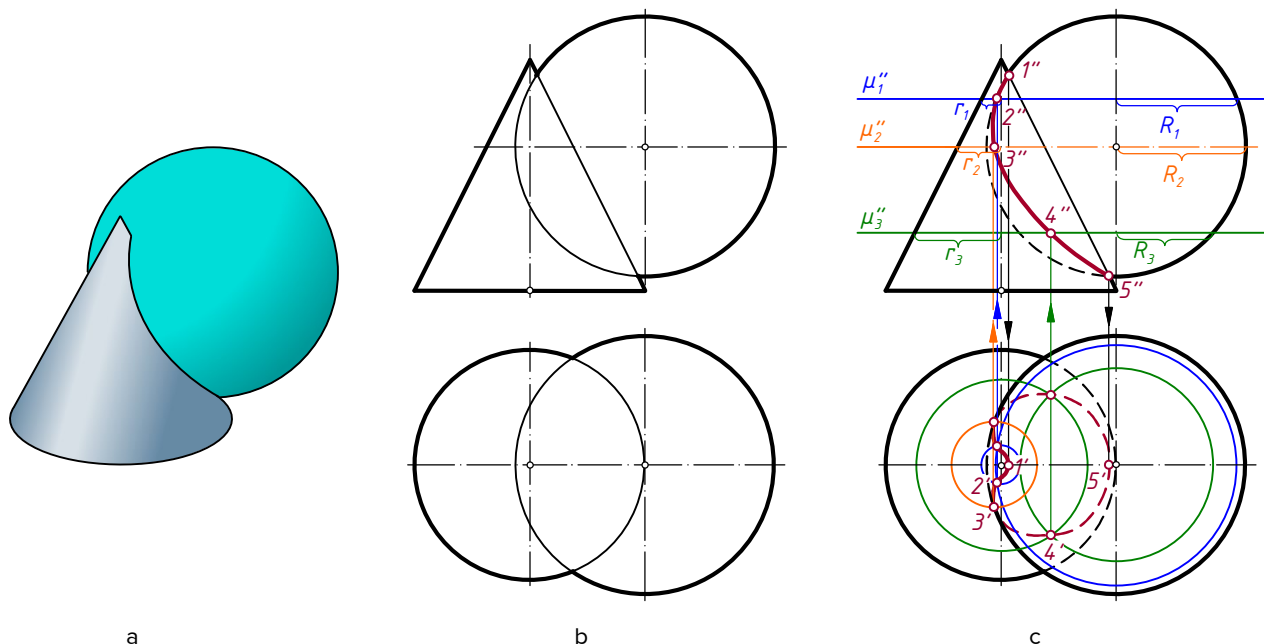
### 20.5.1 ABITASANDITE VÕTE

Selle võtte korral kasutatakse abitasandeid, mis lõikavad kumbagi pinda mööda lihtsaid jooni (sirg- ja ringjooni). Nende abipindade kaudu tekkivate lõikejoonte lõikepunktid on antud pindade lõikejoone punktid. Joonisel 3.182 on näidatud pöördkoonuse ja poolkera lõikejoone kahe punkti tuletamist abitasandi abil. Horisontaalse abitasandiga saadud ringjoonte lõikepunktid  $A$  ja  $B$  on lõikejoone punktid.



Joonis 3.182. Abitasandite võtte kasutamise piltkujutis.

**Näide 3.62.** On vaja tuletada koonuse ja sfääri lõikejoon (joonis 3.183) ning nähtavuse määramisel eeldada, et sfäär on terviklik ja koonus väljalõikega.

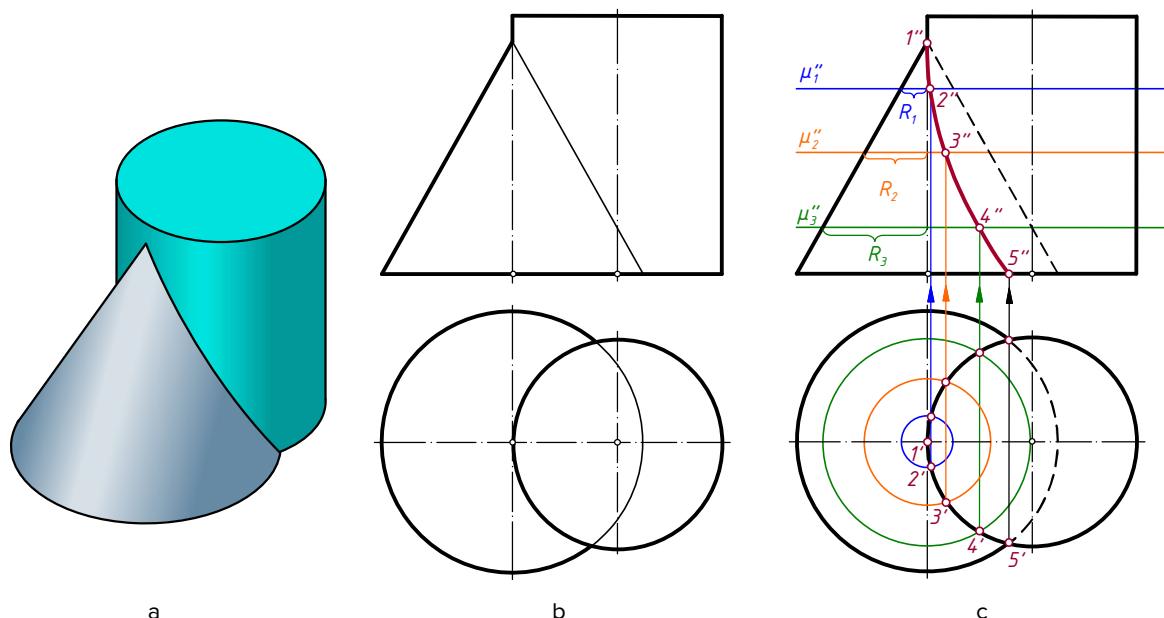


**Joonis 3.183.** Koonuse lõikumine sfääriga: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

Selle ülesandes lähtutakse abitasandite valikul koonuse jaoks sobiliku asendi leidmisel, sest sfääri tasandilised lõiked on alati ringjooned. Et koonuse telg on risti põhiekraaniga, siis sobivad abitasanditeks horisontaalpinnad. Need lõikavad mõlemat pinda mööda ringjooni, mis projekteeruvad esiekraanile sirg-lõikudeks ja põhiekraanile ringjoonteks. Kõigepealt märgitakse lõikejoone erilised punktid. Pöördkehade ühisel sümmeetriatasandil (paralleelne esiekraaniga) asuvate moodustajate lõikepunktidega saadakse lõike kõrgeim punkt 1 ja madalaim punkt 5. Kaksvaatel (joonis 3.183.c) saab need punktid 1 ja 5 märkida eestvaatel 1'' ja 5'' ning seejärel sidejoonte abil tuletada pealtvaatel 1' ja 5'. Abitasandid võetakse punktide 1 ja 5 vahele. Esimene abitasand  $\mu_1$  lõikab koonust eestvaatel mööda ringjoont raadiusega  $r_1$  ja sfääri raadiusega  $R_1$ . Pealtvaatel joonestatakse nende raadiustega  $r_1$  ja  $R_1$  vastavate pöördkehade tsentritest lõikeringjooned. Ringjoonte lõikepunkt 2' (kuna on tegemist sümmeetrilise lõikejoonega, siis on tähistatud ainult ühe sümmeetriapoole punktid) on tuletatava lõikejoone punktid. Lõikepunktide eestvaated 2'' tuletatakse sidejoonte abil tasandil  $\mu_1''$ . Analooiliselt tuletatakse nivoopindade  $\mu_2$  ja  $\mu_3$  abil lõikejoone punktid 3 ja 4.

Nivoopinna  $\mu_2$  abil tuletatud lõikejoone punktid 3 on pealtvaatel lõikejoone nähtavuse piirpunktideks, kus muutub lõikejoone nähtavus. Et sfäär on terviklik, siis sfääri moodustaja, mis jääb koonuse sisse, joonestatakse varjatud kontuuriga.

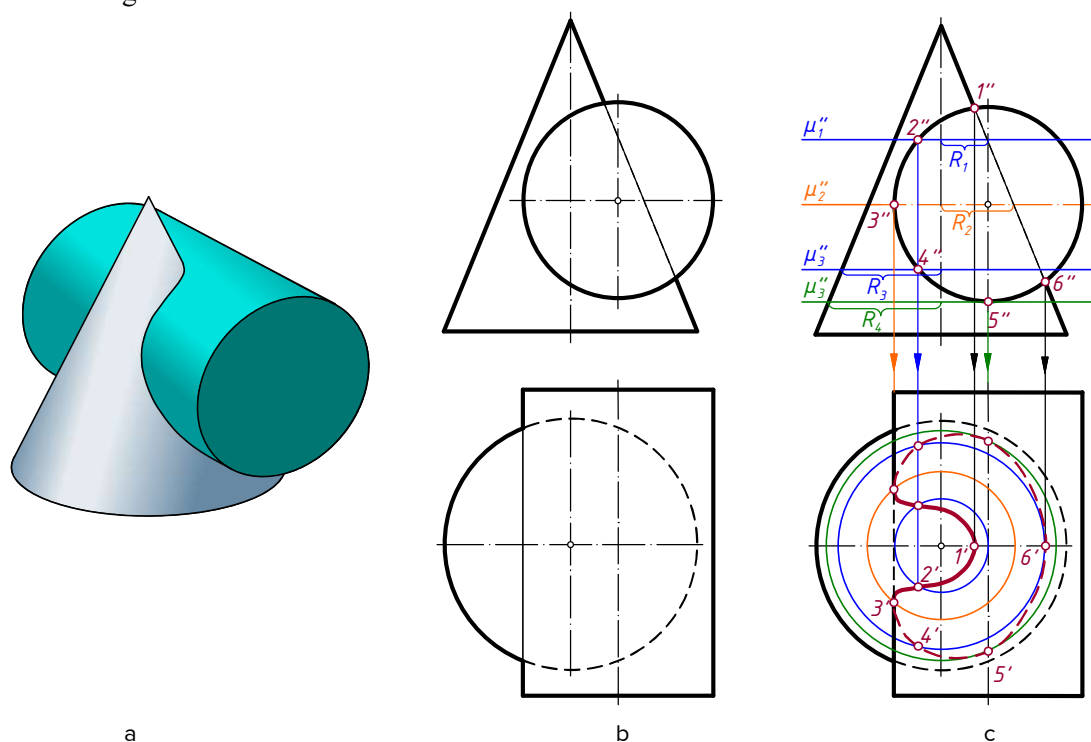
**Näide 3.63.** On vaja tuletada koonuse ja silindri lõikejoon (joonis 3.184). Nähtavuse määramisel eeldada, et koonus on terviklik, aga silinder väljalõikega. Mõlema pöördkeha teljed on risti põhiekraaniga. Siin ülesandes sobivad abitasanditeks põhiekraaniga paralleelsed horisontaalpinnad, sest need lõikavad antud pindu mööda ringjooni. Kõigepealt märgitakse lõikejoone erilised punktid. Pöördkehade ühisel sümmeetriatasandil (paralleelne esiekraaniga) asuvate moodustajate lõikepunkt määrab lõike kõrgema punkti. Kaksvaatel (joonis 3.184.c) saab selle punkti kõigepealt märkida eestvaatel 1'' ja pealtvaade 1' tuletatakse sidejoone abil. Lõike madalamad punktid on määratud põhjaringjoonte lõikepunktides 5'. Näites on tähistatud lõikejoone ühe sümmeetriapoole punktid.



**Joonis 3.184.** Koonuse lõikumine silindriga: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

Edasi võetakse esimene abitasand  $\mu_1$  eestvaatel. See tasand lõikab koonust mööda ringjoont raadiusega  $R_1$  ja silindrit mööda ringjoont, mille raadius võrdub silindri raadiusega. Raadiusega  $R_1$  joonestatakse pealtvaatel koonuse tsentrist ringjoon. Antud lõikeringjoone lõikepunktid silindri ringjoonega on tuletatava lõikejoone punktid  $2'$ . Sidejoone abil tuletatakse need punktide eestvaated  $2''$  tasandil  $\mu_1''$ . Analoogilooliselt tuletatakse järgmiste nivoopindade abil lõikejoone punktid 3 ja 4. Seejärel joonestatakse välja lõikejoon. Eestvaatel on lõikejoon nähtav ja pealtvaatel ühtib lõikejoon pöördsilindri pealtvaatega. Et koonus on terviklik, siis koonuse elemendid, mis jäävad silindri sisse, joonestatakse varjatud kontuuriga.

**Näide 3.64.** On vaja tuletada koonuse ja silindri lõikejoon (joonis 3.185). Nähtavuse määramisel eeldada, et silinder on terviklik, aga koonus väljalõikega. Koonuse telg on risti põhiekraaniga ja silindri telg on risti esiekraaniga.



**Joonis 3.185.** Koonuse lõikumine silindriga: a – piltkujutis; b – lähteandmed; c – lahendus.

Siin sobivad abitasanditeks põhiekraaniga paralleelsed horisontaalpinnad, mis lõikavad koonust mööda ringjooni ja silindrit mööda moodustajaid. Kõigepealt märgitakse eestvaatel moodustajate lõikepunktid  $1''$  ja  $6''$ . Punkt  $1$  on lõikejoone kõige kõrgem punkt. Seejärel tuletatakse sidejoone abil nende punktide pealtvaated  $1'$  ja  $6'$ . Edasi võetakse esimene abitasand  $\mu_1$  eestvaatel. See tasand lõikab koonust mööda ringjoont raadiusega  $R_1$  ja silindrit mööda sirgjoont punktis  $2''$  (eestvaatel lõikesirge projekteerub punktiks). Tuletatakse abitasandi  $\mu_1$  lõikejooned (lõikeringjoon ja -sirge) pealtvaatel. Ringjoone ja sirge lõikepunktid on otsitava lõikejoone punktideks  $2'$  (tähistatud on lõikejoone ühe sümmeetriapoole punktid). Analoogiliselt tuletatakse järgmiste nivoo-pindade abil lõikejoone punktid  $3, 4$  ja  $5$ . Nivoo-pinna  $\mu_2$  abil tuletatud lõikejoone punktid  $3$  on pealtvaatel lõikejoone nähtavuse piirpunktideks, kus muutub lõikejoone nähtavus. Lõikepunktid  $5$  on lõikejoone madalamad punktid. Joonestatakse pindade lõikejoon, ühendades tuletatud punktid ja arvestades lõikejoone nähtavust.

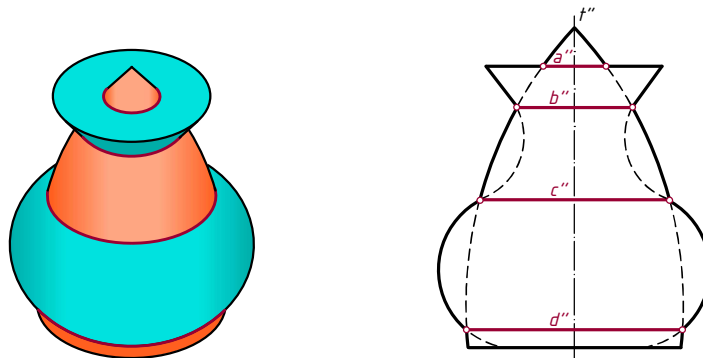
## 20.5.2 ABISFÄÄRIDE VÕTE

Ühise teljega pöördpinnad saavad lõikuda ainult mööda ringjooni, mille tasand on risti pöördpindade teljega. Joonisel 3.186 kujutatud pöördpindadel on neli lõikeringjoont. Et pindade ühine telg on paralleelne esiekraaniga, siis need ringjooned projekteeruvad sellel sirgjoonteks  $a'', b'', c''$  ja  $d''$ . Järelikult ka sfäär, mille keskpunkt asetseb pöördpinna teljel, annab pöördpinnaga lõikumisel ringjoone (joonis 3.187.a).

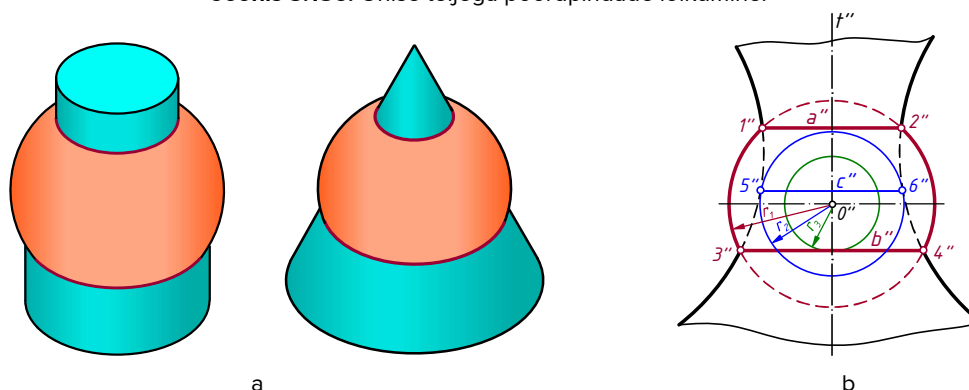
Sfäär (joonis 3.187.b), mille raadius on  $r_1$ , asetseb pöördpinna teljel  $t$ . See sfäär lõikab pöördpinna mööda ringjooni  $a$  ja  $b$ , mis projekteeruvad eestvaatel (pöördpinna telg  $t$  on paralleelne esiekraaniga) sirgetena  $1''2''$  ja  $3''4''$ . Vähendades sfääri raadiust suuruseni  $r_2$ , saadakse lõikeringjoonte asemel üks puute ringjoon  $c$ , mis projekteerub sirgena  $5''6''$ . Kui sfääri raadiust veelgi vähendada, näiteks raadiuseni  $r_3$ , siis jääb sfäär üleni pöördpinna sisse ja pöördpinnaga ühiseid punkte ei teki.

Asjaolu, et sfääriga saab pöördpinna lõigata mööda ringjooni, ongi abisfääride võtte aluseks. Ühise tsentriga (kontsentrilisi) abisfääre saab lõikumisülesande lahendamisel kasutada, kui on täidetud järgmised tingimused:

- 1) mõlemad pinnad on pöördpinnad;
- 2) nende pöördpindade teljed lõikuvad;
- 3) telgede tasand on ekraaniga paralleelne.



Joonis 3.186. Ühise teljega pöördpindade lõikumine.

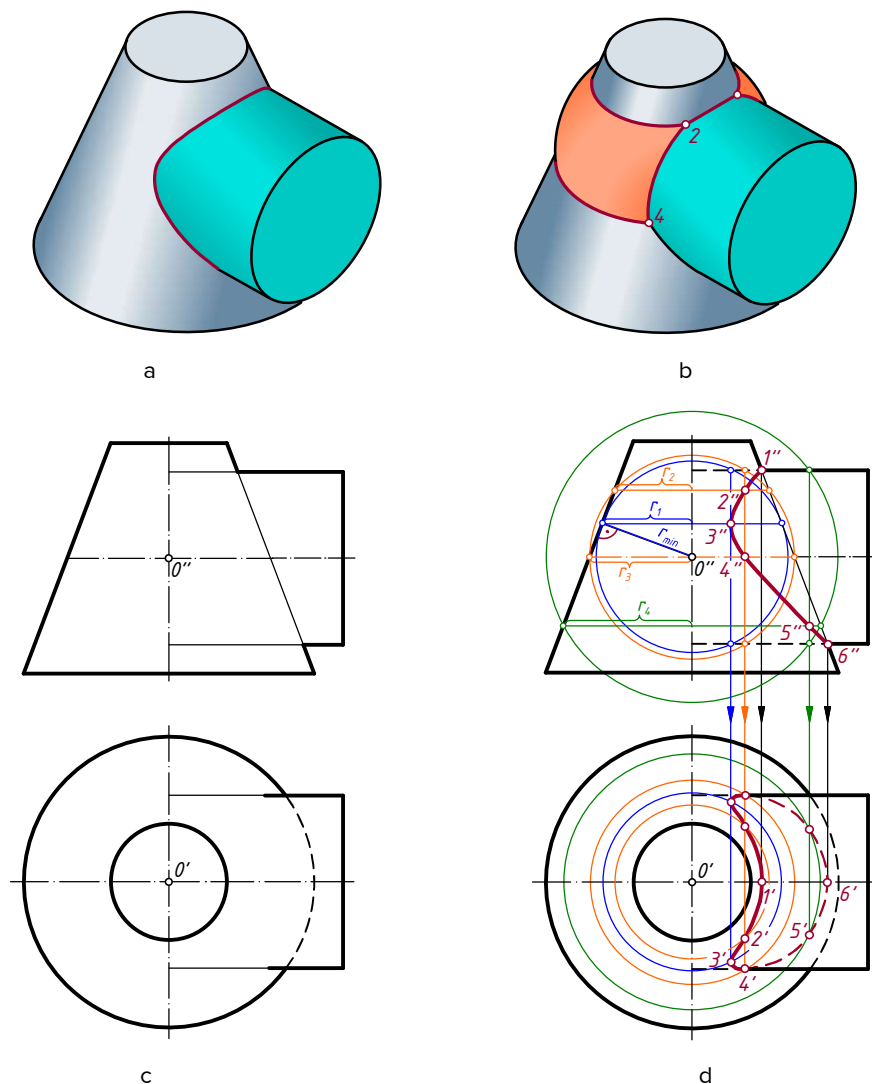


Joonis 3.187. Pöördkehade lõikumine sfääriga.

Ülesande lahendamist alustatakse sellelt ekraanilt, millise ekraaniga kehade telgede tasand on paralleelne. Et abisfäär lõikaks mõlemat pöördpinda mööda ringjooni, peab tsester asetsema mõlemal teljel, s.t telgede lõikepunktis. Lahendamist alustatakse minimaalse raadiusega abisfääriga, mis suuremat pinda puutub ja väiksemat lõikab.

**Näide 3.65.** On vaja tuletada tüvikoonuse ja silindri lõikejoon (joonis 3.188), kasutades abisfääride võtet. Nähtavuse määramisel eeldada, et silinder on terviklik, aga tüvikoonus väljalõikega. Esmalt märgitakse pöördkehade ühisel sümmeetriasapinnal (paralleelne esiekraaniga) asuvate moodustajate lõikepunktid  $1''$  ja  $6''$ , seejärel tuletatakse sidejoonte abil pealtvaatel punktid  $1'$  ja  $6'$ . Telgede lõikepunkt  $0$  võetakse abisfääride tsentriks. Esimeseks abisfääriks võetakse minimaalse raadiusega  $r_{min}$  sfäär, mis suuremat pinda (selles näites tüvikoonust) puutub ja väiksemat (silindrit) lõikab (joonis 3.188.d). Sfääri ja tüvikoonuse puuteringjoone ning sfääri ja silindri lõikeringjoone projektsioonide lõikepunkt annab pindade lõikejoone punktid  $3''$  (tähistatud on lõikejoone ühe sümmeetriapoole punktid). Punktide 3 pealtvaadete tuletamiseks kasutatakse punkti puuduva projektsiooni tuletamise meetodit koonuse pinnal. Punktipaari 3 pealtvaade tuletatakse tüvikoonuse raadiusega  $r_2$  paralleeli pealtvaatel

Järgmine sfäär on valitud nii, et sfääri ja tüvikoonuse lõikeringjoon asuks silindri põhiekraaniga paralleelsete äärmiste moodustajate tasapinnas. Nii saab tuletada lisaks lõikejoone punktidele ka lõikejoone nähtavuse piirpunktid pealtvaatel. See abisfäär lõikab tüvikoonust mööda kahte ringjoont (joonis 3.188.b ja d), ning seetõttu saab selle sfääriga lõikejoone neli punkti (punktipaariid 2 ja 4). Pealtvaade tuletatakse vastavate paralleelide pealtvaadetel. Punktipaar 4 on pealtvaatel lõikejoone nähtavuse piirpunktideks.



**Joonis 3.188.** Kõverpindade lõikejoone tuletamine abisfääride võtte abil: a, b – piltkujutis; c – lähteandmed; d – lahendus.

Muutes abisfääri raadiust ja korrates analoogilist konstruktsiooni, on võimalik saada veel lõikejoone punkte. Kui lõikepunktid on tuletatud, siis joonestatakse välja lõikejoon, arvestades selle nähtavust.

Mõned juhised ülesannete lahendamiseks:

1. Lõikejoone väljajoonestamisel tuleb lõikejoone punktid ühendada vastavate pindade paiknemise järjekorras. Ühe vaate järgi määratud punktide ühendamise järjekord kehtib kõigi ülejäänud vaadete joonestamisel.
2. Lõikejoone osad on mingis vaates nähtavad, kui tema punktid on selles vaates nähtavad mõlema pinna suhtes eraldi vaadatuna, vastasel korral on need mittenähtavad.
3. Abisfääride võte võimaldab lõikejoont tuletada ühesainsas ristprojektsioonis ekraanil, mis on paralleelne pöörlemistelgede tasandiga.

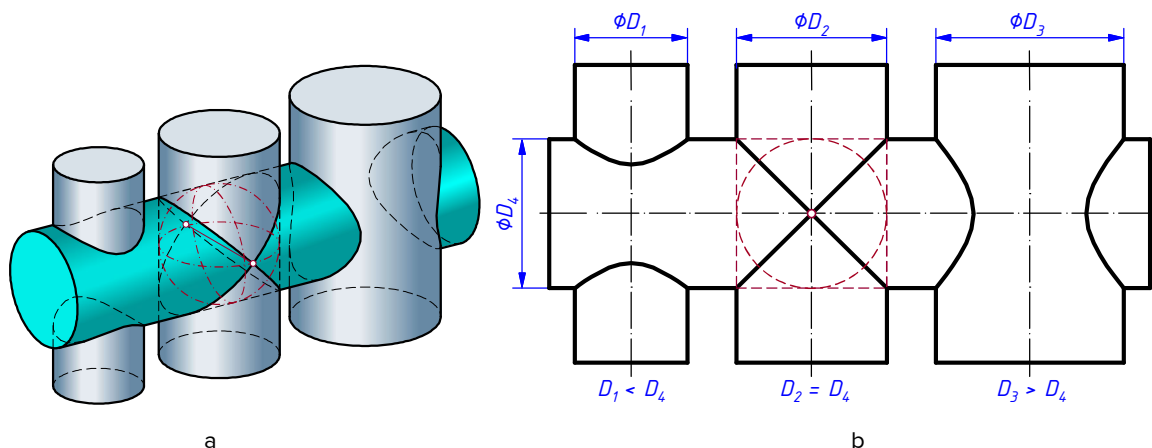
Joonisel 3.189 on toodud näide lõikejoonte kujust sõltuvalt lõikuvate silindrite läbimõõtudest.

Praktikas levinumatest erijuhtudest võib välja tuua järgmised laused.

**30. Kui kahel teist järku pinnal on ühine sümmeetriatasand, siis nende pindade lõikejoone sümmeetriliste poolte ristprojektsioonid sümmeetriatasandil langevad kokku üheks ja samaks teist järku jooneks.**

**31. Kui kaks teist järku pinda puudutavad kolmandat teist järku pinda jooni mööda, siis nende kahe pinna lõikejoon lagub kaheks teist järku jooneks, mille tasandid läbivad puutejoonte tasandite lõikesirget (Monge'i teoreem).**

Seda teoreemi kirjeldab joonisel 3.189 toodud keskmine näide ( $D_2 = D_4$ ). Lõikejoon lagub kaheks ellipsiks. Joonisepinnal projekteeruvad need ellipsid sirglõikudeks.



**Joonis 3.189.** Erinevate läbimõõtudega silindrite lõikumine: a – piltkujutis; b – eestvaade.

## 20.6 PINDADE LAOTUSED

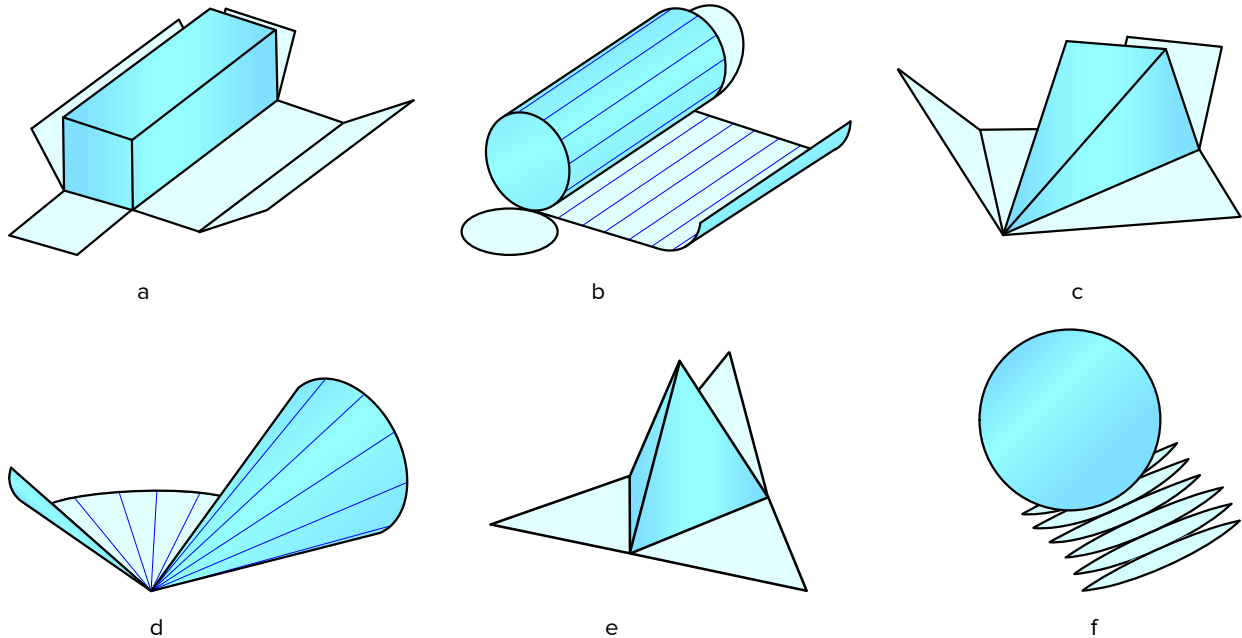
Pindade laotustel on suur praktiline tähtsus, kuna need võimaldavad lehtmaterjalist painutamise teel valmistada erinevaid tooteid.

Pindu, mida saab defektideta (s.t pind ei veni ega tõmbu kokku, ei rebene ega lähe volti) deformeerida, nimetatakse laotuvateks pindadeks. Kujundit, mis saadakse laotuva pinna lahti keeramisel tasapinnale, nimetatakse selle pinna laotuseks. Neid pindu, mida ei saa tasandiks deformeerida, nimetatakse mittelaotuvateks pindadeks.

Pinnalaotuse tuletamise meetodid on:

1. Paralleelsirgete laotamine tasandiks. Nende pindade hulka kuuluvad prisma ja silinder (joonis 3.190.a ja b);
2. Radiaalsirgete laotamine tasandiks. Nende pindade hulka kuuluvad püramiid ja koonus. Tsentriks võetakse pinna tipp ja raadiuseks kaldserva või moodustaja pikkus (joonis 3.190.c ja d);

3. Triangulatsiooni meetod. Kolmnurkade laotamine tasandiks. Kõik pinnad, mis ei ole kolmnurgad, jagatakse kolmnurkadeks. Siis koosneb pind kolmnurkadest. Tuletatakse kõigi kolmnurkade külgede tegelikud pikkused ja konstrueeritakse kolmnurkade tõelised kujud üksteise külge selles järjestuses, milles kolmnurgad ise asetsevad pinnal (joonis 3.190.e);
4. Tinglaotus. Tuletatakse mittelaotuvatest pindadest. Näiteks sfäär (joonis 3.190.f), konoid jne.



**Joonis 3.190.** Pindade pinnalaotuste tuletamise meetodid.

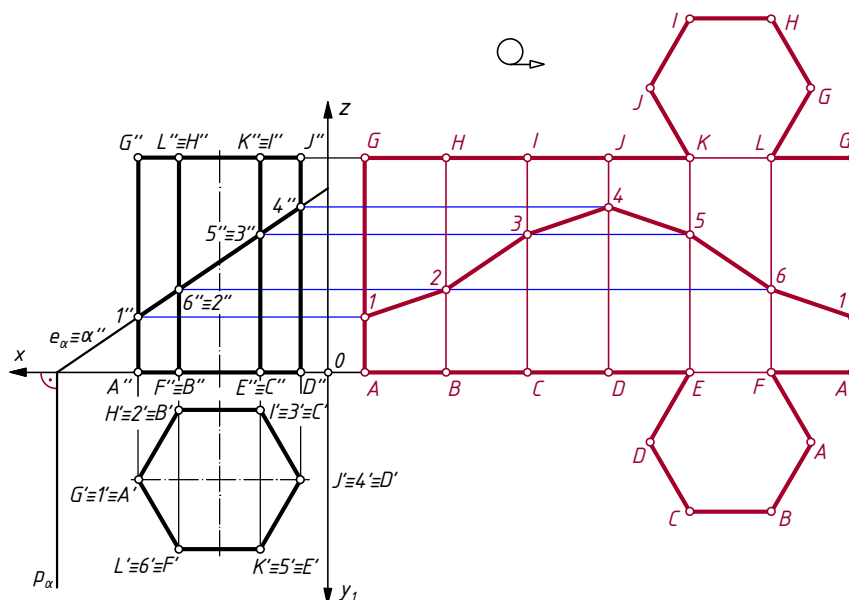
### 20.6.1 TAHUKATE PINNALAOTUSTE TULETAMINE

**Tahuka pinnalaotus** on tasapinnaline kujund, mis on koostatud selle tahuka tahkude tõelistest kujudest, kusjuures on arvestatud ka tahkude omavahelist paigutust. Pinnalaotus tuleb välja joonestada võimalikult kompaktsena.

#### Püstprisma pinnalaotuse tuletamine.

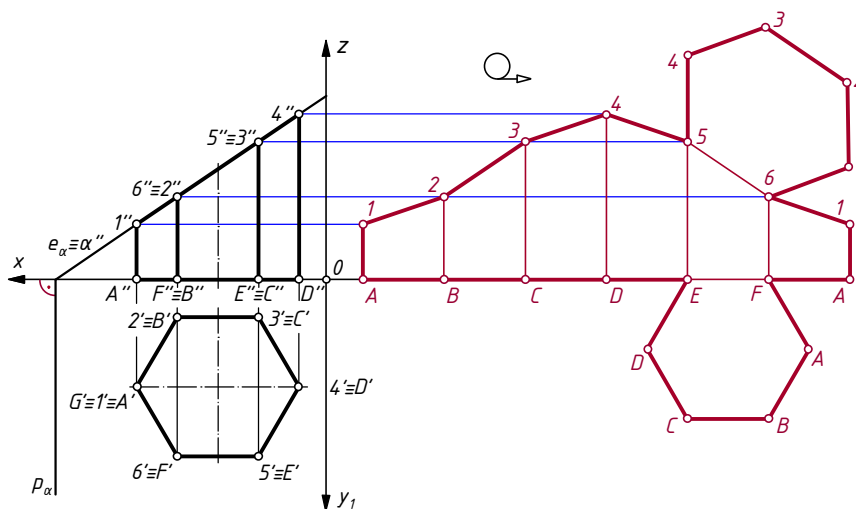
**Näide 3.66.** On antud püstprisma, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$ . Tuletada korrapärase kuusnurkse püstprisma pinnalaotus. Pinnalaotuse kuju sõltub lähteandmetest.

1. Konstrueerida pinnalaotus prismast, millele on tuletatud lõiketasandis lõikejoon (joonis 3.191). Sellisel juhul koosneb prisma külpinna pinnalaotus kuuest riskülikust, mille lühem külg on võrdne prisma põhjaserva pikkusega  $AB, BC, \dots$  (mõõdetakse pealtvaatelt) ja pikem külg prisma külgserva pikkusega  $AG, BH, \dots$  (mõõdetakse eestvaatelt) ning kahest prisma põhjast  $ABCDEF$  ja  $GHIJKL$  (pealtvaatel tõeline kuju). Nende tahkude vahele, mis pinnalaotusel omavahel kokku puutuvad, joonestatakse murdejoon (kitsas pidevjoon). Pinnalaotusele lõikejoone tuletamiseks leitakse kõigepealt servadel lõikepunktid  $1, 2, 3, 4, 5, 6$ , kandes pikematele külgedele lõikude  $A1, B2, C3, D4, E5$  ja  $F6$  pikkused, ning seejärel nad ühendatakse. Pinnalaotuse juurde lisatakse pinnalaotuse märk.



Joonis 3.191. Püstprisma pinnalaotuse tuletamine.

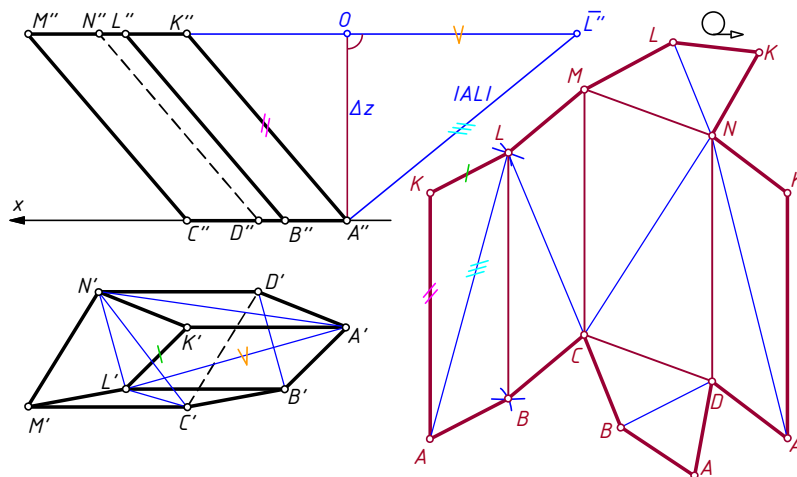
2. Konstrueerida pinnalaotus prismast, millest on ülemine osa ära lõigatud (joonis 3.192). Sellisel juhul tuletatakse pinnalaotus prismast alles jäävast osast pärast lõikamist. Võrreldes eelmise näitega jääb külgsinna laotusest alles alumine osa, millele lisatakse prisma põhi  $ABCDEF$  ja lõike tõeline kuju  $123456$  (vt. näide 3.35).



Joonis 3.192. Püstprisma pinnalaotuse tuletamine.

### Kaldprisma pinnalaotuse tuletamine.

**Näide 3.67.** On antud nelinurkne kaldprisma (joonis 3.193). Tuletada selle prisma pinnalaotus. Kuna kõik tahud on nelinurgad, siis esmalt jaotatakse need diagonaalidega kolmnurkadeks (triangulatsiooni meetod). Edasi on vaja teada kõikide kolmnurkade külgede tegelikku pikkust. Selle prisma külgservad on paralleelsed esiekraaniga ja põhiservad põhiekraaniga. Seetõttu projekteeruvad kõik külgservad tegelikus pikkuses eestvaatel ja põhiservad pealtvaatel.



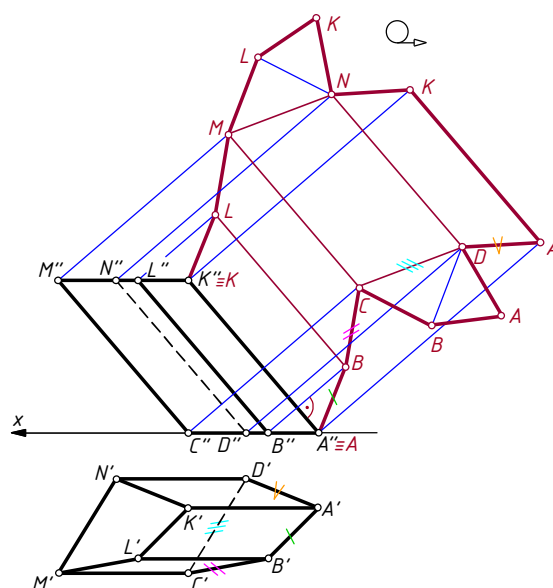
**Joonis 3.193.** Kaldprisma pinnalaotuse tuletamine kolmnurkade meetodil.

On vaja tuletada diagonaalide  $AL$ ,  $CL$ ,  $CN$ ,  $AN$  pikkused. Need tuletatakse täisnurkse kolmnurga meetodil (punkt 15.5), kus üheks kaatetiks on otspunktide põhikvootide vahe (kõigi diagonaalide jaoks  $\Delta z = A''O$ ) ja teiseks kaatetiks diagonaali pealtvaate pikkus. Joonisel on näidatud täisnurkne kolmnurk diagonaali  $AL$  pikkuse tuletamiseks. Üks kaatet  $\Delta z = A''O$ , teine kaatet  $OL'' = A'L'$  ja hüpotenuus  $A''L''$  on lõigu  $AL$  tegelik pikkus. Analoogselt tuletatakse teiste diagonaalide pikkused. Edasi konstrueeritakse kolmnurkade kaudu prisma külgsinna laotus ja lisatakse prisma põhjad. Põhjad projekteeruvad tõelises suurus põhiekraanile, sest nad on paralleelsed põhiekraaniga. Lõpuks joonestatakse pinnalaotuse väliskontuur laia pideva ja murdekohad kitsa pideva joonega (tahkude diagonaale pinnalaotusel välja ei joonestata, näites on need alles jätud lahendusest paremaks arusaamiseks). Pinnalaotuse juurde lisatakse pinnalaotuse märk (ringjoone läbimõõt on  $\sim 10$  mm).

Kui prisma külgservad on paralleelsed ühe ekraaniga, siis võib peale kolmnurkade meetodi kasutada erivõtteid:

- külgsinna lahti rullimist nivoopinnale;
- pinnalaotuse tuletamist prisma ristlõike abil.

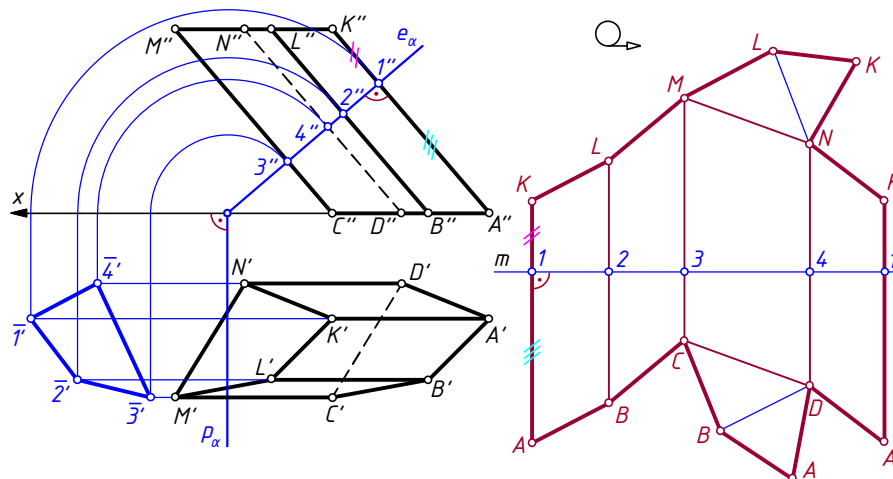
**Näide 3.68.** On antud nelinurkne kaldprisma (joonis 3.194). Tuletada selle prisma pinnalaotus.



**Joonis 3.194.** Kaldprisma pinnalaotuse tuletamine lahti rullimise võttega.

See pinnalaotus tuletatakse lahti rullimisega nivoopinnale. Antud prisma külgservad on paralleelsed esiekraaniga ja põhiservad põhiekraaniga. Seetõttu projekteeruvad kõik külgservad tegelikus pikkuses eestvaatel ja põhiservad pealtvaatel. Külgservade laotuse saamiseks rullitakse külgservade pind lahti frontaalpinnale (paralleelne esiekraaniga), mis läbib eestvaatel külgserva  $A''K''$ . Lahtirullimisel jääb see serv paigale ja ülejäänud külgservad liiguvad paralleelselt iseendaga. Külgservade otspunktid liiguvad risti servaga  $A''K''$ . Külgservade otspunktid pinnalaotusel saadakse sirge  $A''K''$  ristsirgetele põhjaservade tegelike pikkuste abil ( $AB = A'B'$ ;  $BC = B'C'$  jne). Lõpuks lisatakse prisma põhjade tõelised kujud.

**Näide 3.69.** On antud nelinurkne kaldprisma (joonis 3.195). Tuletada antud prisma pinnalaotus. Kuna selle prisma külgservad projekteeruvad esiekraanile tegelikus pikkuses, siis pinnalaotus tuletatakse prisma ristlõike abil. Ristlõike saadakse prisma lõikamisega tasandiga, mis on risti külgservadega. Näites on kasutatud esiekraani risttasandit  $\alpha$ , mis on risti külgservadega.



**Joonis 3.195.** Kaldprisma pinnalaotuse tuletamine prisma ristlõike abil.

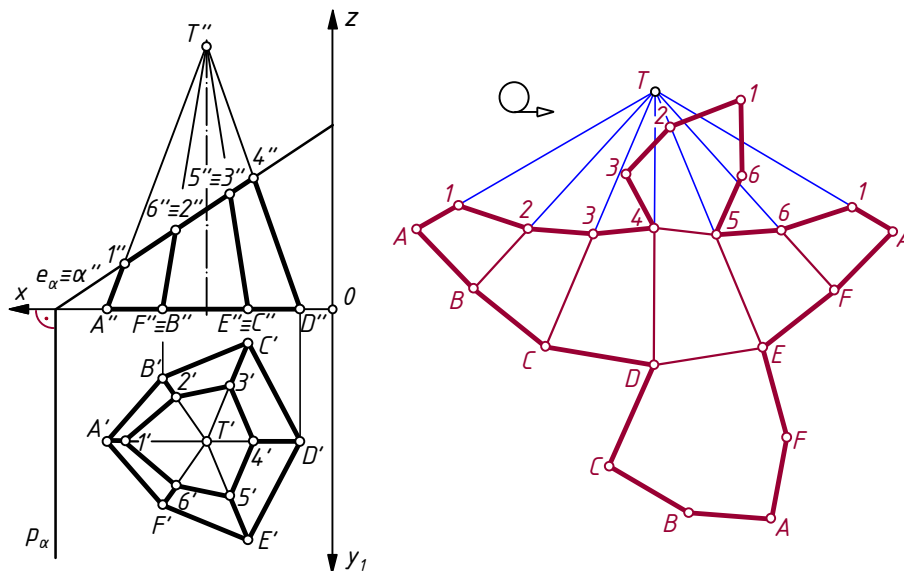
Lõikepunktid määravad ristlõike eestvaate  $1''2''3''4''$ . Ristlõike tõeline kuju  $1'2'3'4'$  on tuletatud tasandi  $\alpha$  pööramisega põhiekraanile. Edasi tõmmatakse vabalt sirge  $m$  ning sellele kantakse ristlõike külgede pikkused ( $12 = 1'2'$ ;  $23 = 2'3'$  jne.). Nii saadakse prisma külgtahkude laiused. Läbi punktide  $1$ ;  $2$ ;  $3$ ;  $4$  joonestatakse sirgele  $m$  ristsirged. Külgservade osade tõelised pikkused mõõdetakse eestvaatelt tasapinnast  $\alpha$  mõlemale poole ( $1K = 1''K''$  ja  $1A = 1''A''$  jne). Prisma põhjad on kantud pinnalaotusele, kasutades diagonaale.

Kui prisma külgservad ei ole ühegi ekraaniga paralleelsed, siis on otstarbekas kasutada uue vaate tuletamist lisaekraanile  $\varepsilon_3$ , mis on paralleelne prisma külgservadega.

**Püramiidi pinnalaotus.** On antud püramiid, mida on lõigatud tasandiga  $\alpha$  (joonis 3.196). Tuletada püramiidi pinnalaotus. Püramiidi pinnalaotuse tuletamiseks on vaja teada kõikide tahkude tõeline kuju.

Lõigatud püramiidi külgservade laotus tuletatakse lähtuvalt terve püramiidi pinnalaotusest. Selleks tuletatakse külgtahkude tõelised kujud. Külgtahkude tõelise kuju tuletamiseks leitakse servade  $TB$ ,  $TC$ ,  $TE$  ja  $TF$  tegelik pikkus täisnurkse kolmnurga meetodil (punkt 15.5). Servade  $TA$  ja  $TD$  pikkused on olemas eestvaatel (on paralleelsed esiekraaniga). Saadakse püramiidi külgservade laotus, millele kantakse lõikepunktide. Selleks kantakse vastavatele külgservadele lõikude  $AI$ ,  $B2$ ,  $C3$ ,  $D4$ ,  $E5$ ,  $F6$  tegelikud pikkused, et tuletada punktid  $1$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$ ,  $5$  ja  $6$ .

Lisatakse püramiidi põhi ja lõike tõeline kuju. Püramiidi põhjaks on kuusnurk, mis asetseb põhiekraanil. Seega on põhja tõeline kuju ( $A'B'C'D'E'F'$ ) teada. Lõikehulknurga  $123456$  tõelise kuju tuletamine on näidatud näites 3.36.



Joonis 3.196. Püramiidi pinnalaotuse tuletamine.

## 20.6.2 KÕVERPINDADE PINNALAOTUSTE TULETAMINE

Kujundit, mis saadakse laotuva pinna koolutamisel tasandiks, nimetatakse pinnalaotuseks. Pinnale kuuluvast joonest saadakse laotusel selle joone laotusjoon.

**Laotuvate pindade** korral tuletatakse pindade laotusi lähismudelite järgi. Antud kõverpind asendatakse niisuguse tahukaga, mille tahkude arv on küllalt suur ja tahud küllalt kitsad. Nii saadud tahuka laotus osutub antud kõverpinna **lähislaotuseks**.

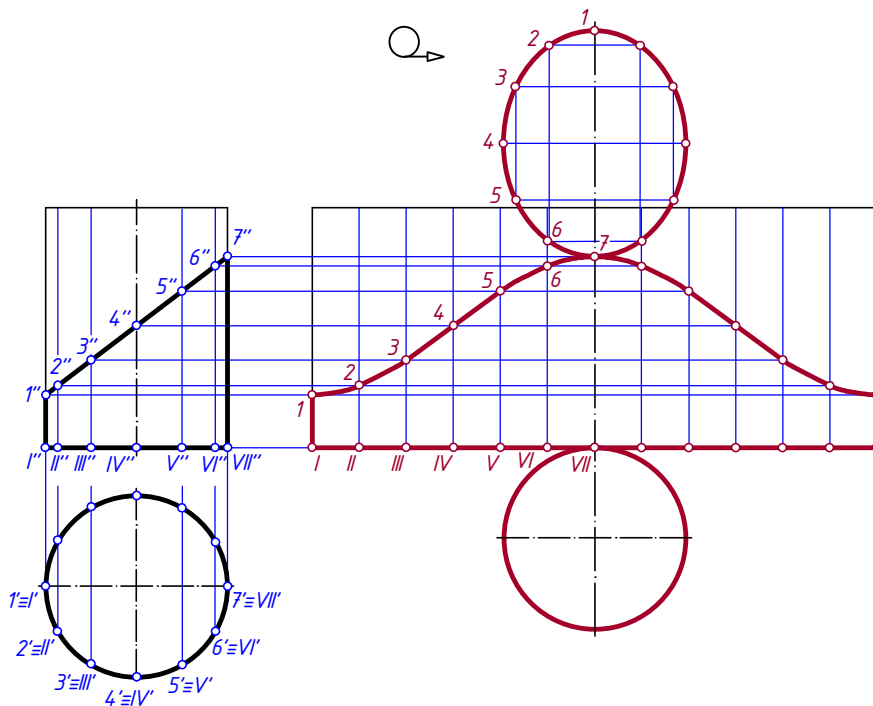
Silindri külpinna laotuseks on ristkülik, mille üks külg võrdub silindri moodustaja pikkusega, teine aga silindri põhja ümbermõõduga, mis arvutatakse valemiga  $\pi d$  ( $d$  – silindri põhja läbimõõt). Kui ei nõuta pinnalaotuse suurt täpsust, siis tuletatakse silindri lähislaotus. Põhjaringjoon jaotatakse  $n$  võrdseteks osaks ja silindri sisse ehitatakse  $n$ -tahuline prisma. Täieliku pinnalaotuse saamiseks lisatakse külpinna laotusele kaks silindri põhja ringi.

Koonuse külpinna laotuseks on ringi sektor, mille raadiuseks on koonuse moodustaja  $m$ , kaare pikkus aga võrdub koonuse põhja ümbermõõduga  $\pi d$  ( $d$  – koonuse põhja läbimõõt). Analoogiliselt silindriga võib ka koonusest tuletada lähislaotuse. Jagades põhjaringjoone võrdseteks osadeks, ehitatakse koonuse sisse  $n$ -tahuline püramiid. Täieliku pinnalaotuse saamiseks lisatakse koonuse põhja ring.

**Näide 3.70.** On antud kaldu lõigatud silindri kaksvaade (joonis 3.197). On vaja tuletada silindri täielik pinnalaotus. Kaldu lõigatud silindri pinnalaotus koosneb tema külpinna laotusest, silindri põhjast ja lõikepinna tõelisest kujust. Ülesande lahendamist alustatakse silindri külpinna laotuse tuletamisest. Selleks tuletatakse kõigepealt terve silindri külpinna laotus (ilma lõiketa). Külpinna laotuse saamiseks jaotatakse silindri põhja ringjoon 12 võrdseks osaks, s.t et silindri sisse ehitatakse 12-tahuline prisma. Kuna on tegemist sümmeetrilise pinnaga, siis on tähistatud ühe sümmeetriapooli moodustajad ja lõikepunktid.

Joonestatakse horisontaalne sirgjoon ja sellele kantakse pealtvaatelt jaotuskaarte pikkused (12 lõiku). Saadud jaotuspunktidest joonestatakse moodustajad risti põhja ümbermõõdu laotusega. Moodustajate pikkused mõõdetakse eestvaatelt, kuna eestvaatel nad projekteeruvad tõelises pikkuses (paralleelsed esiekraaniga). Lõike tuletamiseks külpinna laotusel kantakse lõikepunktid vastavatele moodustajatele (punktide kaugused silindri põhjast), mis ühendatakse sujuva kõveraga (antud juhul on tegemist siinuskõveraga). Külpinna laotusele lisatakse silindri põhja ringjoon ja samuti lõike tõeline kuju. Lõike tõeline kuju (ellipsi) tuletamine on näidatud punkti 20.3.1 näites 3.50.

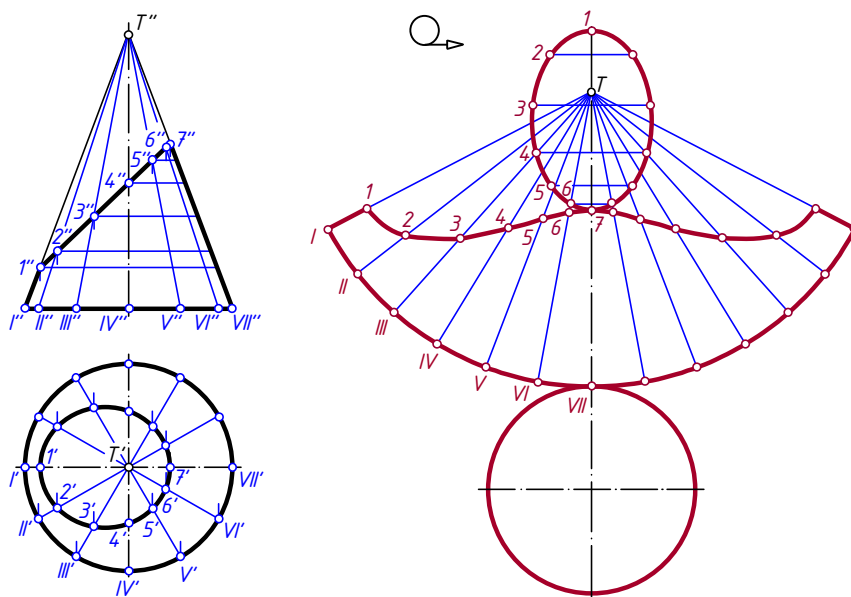
Pinnalaotusele lisatakse pinnalaotuse märk. Sümmeetriliste pindade korral võib tuletada ainult ühe sümmeetriapooli laotuse, kasutades vastavat tähistust (sümmeetria märgid).



**Joonis 3.197.** Silindri pinnalaotuse tuletamine.

**Näide 3.71.** On antud kaldu lõigatud pöördkoonuse kaksvaade (joonis 3.198). On vaja tuletada pöördkoonuse täielik pinnalaotus.

Kaldu lõigatud koonuse pinnalaotus koosneb tema külgpinna laotusest, koonuse põhjast ja lõikepinna tõelisest kujust. Ülesande lahendamist alustatakse koonuse külgpinna laotuse tuletamisest. Selleks tuletatakse kõigepealt terve koonuse külgpinna laotus (ilma lõiketa). Siin jaotati koonuse põhja ringjoon 12 võrdseks osaks, s.t et koonuse sisse ehitati 12-tahuline püramiid. Jaotuspunktidest joonestatakse moodustajad. Külgpinna laotuse tuletamiseks joonestatakse tipust  $T$  kaar, mille raadiuseks on moodustaja tegelik pikkus. See võrdub eestvaatel äärmiste moodustajate pikkusega (kas moodustaja  $I$  või  $VII$ ), sest nad on paralleelsed esiekraaniga. Kaarele kantakse pealtvaatelt jaotuskaarte pikkused (12 lõiku) ja saadud punktid ühendatakse tipuga  $T$ . Lõikejoonest tekkiva laotusjoone punktide saamiseks tuleb laotusele kanda nende punktide kaugused tipust  $T$ . Et moodustajad  $I$  ja  $VII$  on eestvaatel tõelises pikkuses, saab nendel asetsevate punktide  $I$  ja  $7$  kaugused tipust mõõta otse eestvaatelt ning kanda pinnalaotusele.

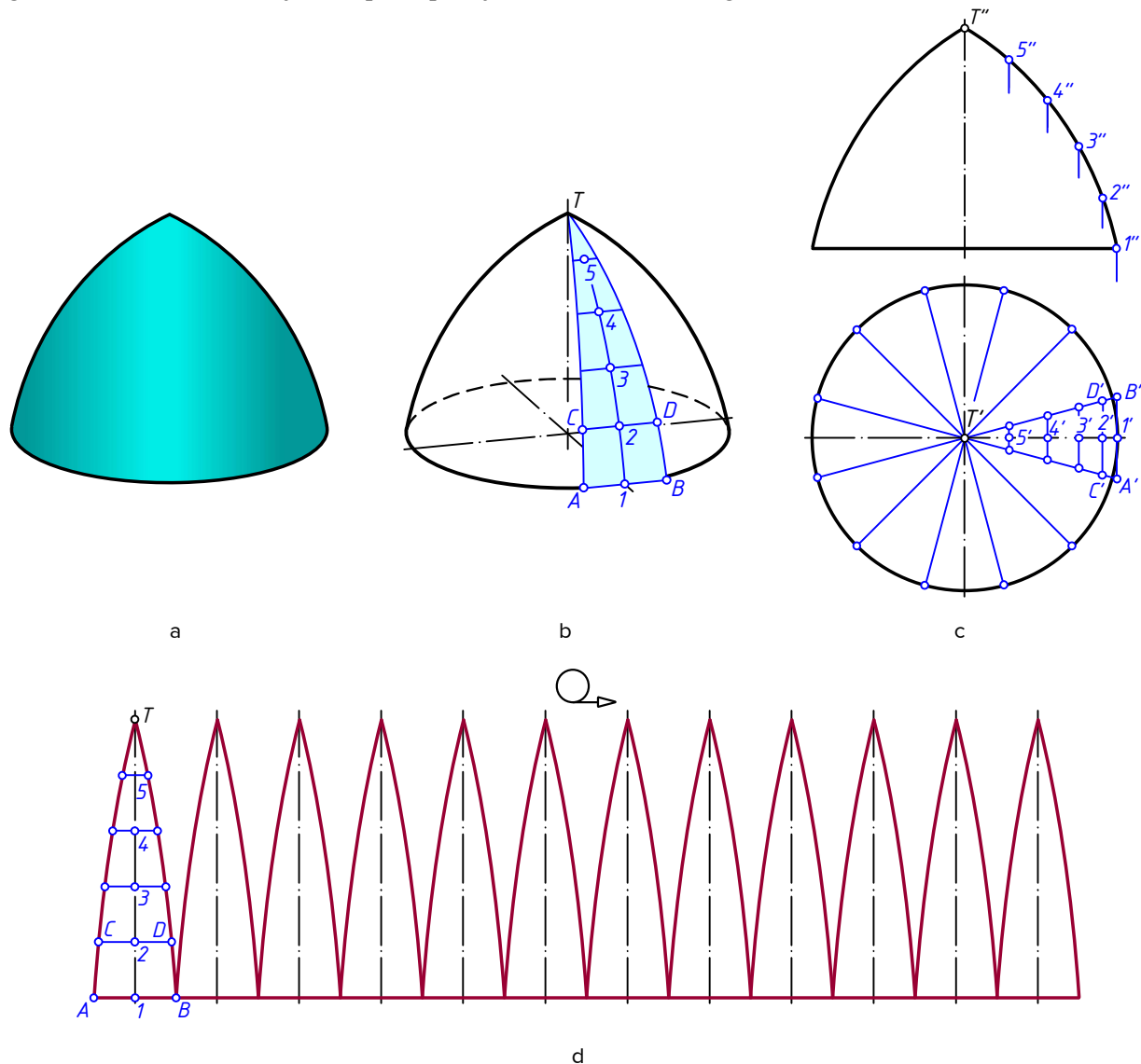


**Joonis 3.198.** Pöördkoonuse pinnalaotuse tuletamine.

Ülejäänud punktide leidmiseks tuleb vastavad moodustajad pöörata paralleelseks esiekraaniga ning mõõta punkti kaugus tipust  $T$  ja kanda vastavale moodustajatele. Saadud punktid ühendatakse sujuva kõveraga. Külgsinna laotusele lisatakse koonuse põhja ringjoon ja lõikekujundi tõeline kuju. Lõike tõelise kuju (ellipsi) tuletamine on näidatud punkti 20.3.1 näites 3.53.

**Mittelaotuvaid pindu** pole võimalik tasandiks koolutada. Iga konkreetse mittelaotuva pinna võib asendada sellise lähismudeliga, mis koosneb laotuvate pindade osadest. Sellist lähismudeli osade laotustest koosnevat kujundit nimetatakse antud mittelaotuva pinna **tinglaotuseks**. Tinglaotusest mittelaotuva pinna saamisel tuleb arvestada sellega, et kokku painutamisel tuleb mõningaid kohti ka kokku suruda või venitada.

**Näide 3.72.** On antud kuhjakujuline pöördpind (joonis 3.199.a). On vaja tuletada esitatud pöördpinna tinglaotus. Joonisel 3.199.b ja c on pöördpind jaotatud meridiaanidega 12 ribaks.

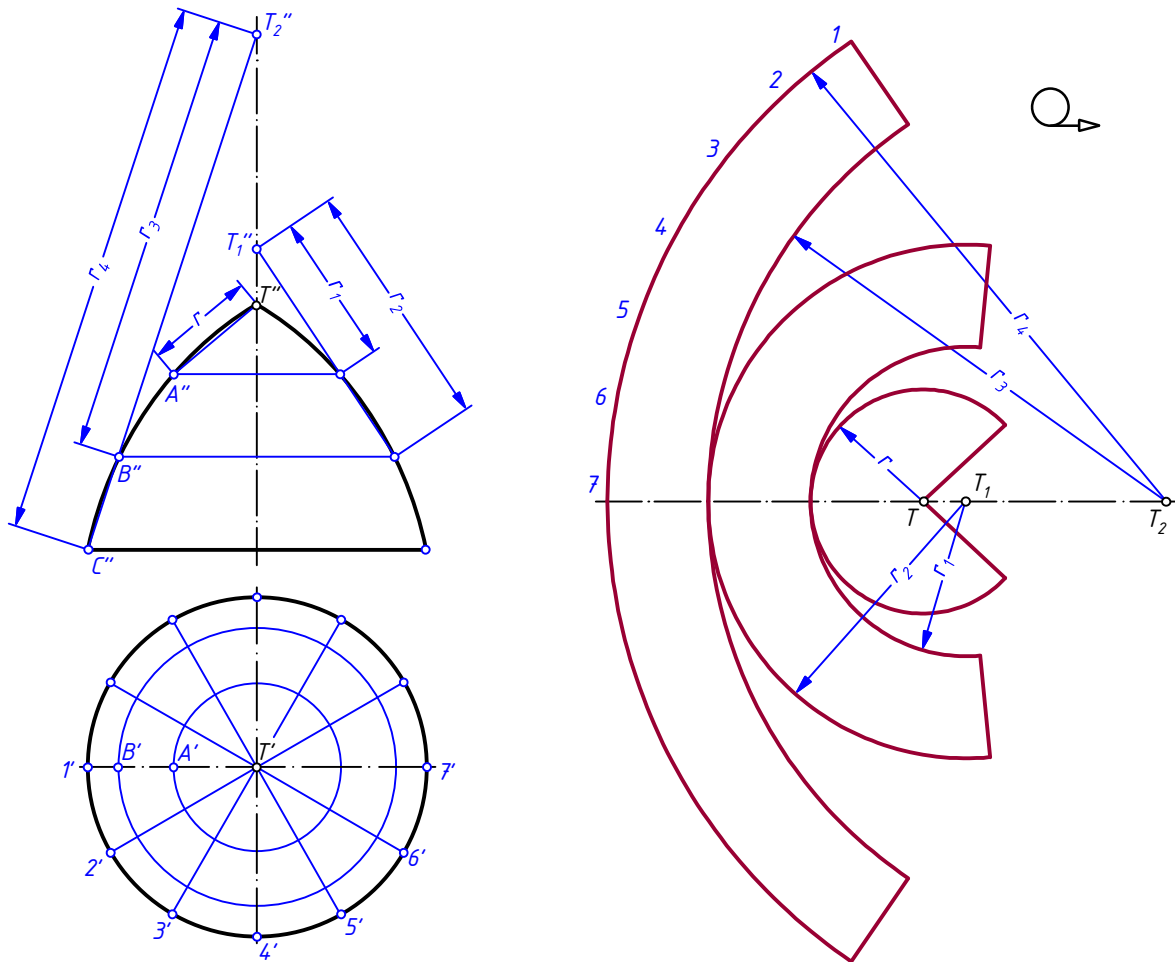


**Joonis 3.199.** Mittelaotuva pinna tinglaotuse tuletamine (I meetod): a, b – piltkujutis; c, d – lahendus.

Iga riba asendatakse silindrilise pinna tükiga, mis puutub riba mööda keskmist meridiaani ja mille moodustajad on selle meridiaaniga risti. Nende moodustajate otspunktid asetsevad ribasid üksteisest eraldavatel meridiaantasanditel. Selles näites vaadeldakse riba, mille keskmine meridiaan  $IT$  on frontaalne (paralleelne esiekraaniga). Vastava silindrilise pinna tüki moodustajad on siis risti esiekraaniga ja projekteeruvad põhiekraanile moondevabalt sirge  $I'T'$  ristlõikudeks. Silindrilise pinna tüki laotuse tuletamiseks jaotatakse frontaalne meridiaan osadeks ja kantakse nende osade pikkused sirgele  $IT$  pinnalaotusel ( $12 = 1''2''$ ;  $23 = 2''3''$  ...).

Punktide  $1, 2, \dots$  joonestatakse sirged risti telgsirgega  $IT$  ning nendele kantakse silindri moodustajate pikkused pealtvaatelt ( $AB = A'B', CD = C'D' \dots$ ). Ühendades saadud lõikude otspunktid sujuvate kõveratega, saadakse pöördpinna riba tinglaotus. Kogu pöördpinna tinglaotus koosneb 12 sellisest ribast (joonis 3.199.d).

**Näide 3.73.** Sama pöördpinna (joonis 3.199.a) tinglaotus on võimalik tuletada ka teisel meetodil. Joonisel 3.200 on tuletatud tinglaotus, kasutades kuhja paralleelringjoonte vaheliste vööde asendamist pöördkoonuse vöödega. Siin näites on pöördpind jaotatud kolmeks vööks. Kui soovitakse tuletada täpsemat laotust, siis tuleb võtta suurem arv vöösid.



**Joonis 3.200.** Mittelaotuva pinna tinglaotuse tuletamine (II meetod).

Valitud koonuste tipud  $T, T_1$  ja  $T_2$  saadakse kõõlude  $A''T'', B''A''$  ja  $C''B''$  pikendamisega kuni lõikumiseni sümmeetriateljega. Koonuste tippude tuletamisega saadakse vajalikud raadiused ( $r, r_1, r_2, r_3$  ja  $r_4$ ) koonuste vööde laotuste joonestamiseks. Kaarte pikkused võib laotusel saada vastavate lähiskonstruktsioonide abil. Tinglaotuse kaared, mille raadiusteks on  $r$  ja  $r_1$ , on pikkuse poolest võrdsed; samuti on pikkuse poolest võrdsed kaared raadiustega  $r_2$  ja  $r_3$ .

Neid meetodeid saab kasutada ka sfääri tinglaotuste tuletamisel.

## KORDAMISKÜSIMUSED

1. Milliseid tähistusi kasutatakse geomeetriliste elementide ja nende vastastikuste asendite kirjeldamiseks?
2. Mis on projekteerimine ja millised elemendid selles osalevad?
3. Mis tingimustele peavad vastama kujutised?
4. Mis vahe on tsentraal- ja paralleelprojekteerimisel?
5. Mis juhul tuleb sirgjoone projektsiooniks punkt?
6. Mis juhul tuleb tasapinnalise kujundi paralleelprojektsiooniks sirglõik?
7. Mille poolest erineb kaldprojekteerimine ristprojekteerimisest?
8. Mis on sirglõigu moondetegur ning millisesse vahemikku jääb selle väärtus kald- ja ristprojekteerimisel?
9. Mis on sirglõigu kaldenurk?
10. Nimetage objekti määravate jooniste saamise põhilised meetodid.
11. Millised omadused peavad olema kujutistel?
12. Mis on kvoot ning missugustele koordinaatlõikudele vastavad põhi-, esi- ja külgekvooot?
13. Kuidas saadakse mituvaade?
14. Missugust joont punkti kaksvaatel nimetatakse sidejooneks?
15. Sõnastage kolmvaate peaomadus.
16. Joonestage punkti A kolmvaade, kui tema kaugus põhiekraanist on  $a$ , esiekraanist  $b$  ja külgekraanist  $c$ .
17. Mis on sirgjoone põhi-, esi- ja külgjalg?
18. Missugust sirget nimetatakse üldasendiliseks?
19. Missugust sirget nimetatakse eriasendiliseks? Millised on eriasendilise sirge tunnused?
20. Kuidas määratakse sirglõigu tegelik pikkus?
21. Mis on põhikaldenurk ja esikaldenurk ning kuidas nende suurust määratakse?
22. Mis on teljevaba kaksvaade? Millal võib seda kasutada?
23. Sõnastage kahe sirge paralleelsuse tunnus kaksvaate alusel.
24. Sõnastage kahe sirge lõikumise tunnus kaksvaate alusel.
25. Kas kahe kiivsirge paralleelprojektsioonid saavad olla paralleelsed?
26. Skitseerige kahe kiivsirge ( $a$  ja  $b$ ) kaksvaade (lahendage nähtavuse probleem).
27. Nimetage kõik tasapinna määramisvõimalused.
28. Missugust tasandit nimetatakse üldasendiliseks, missugust eriasendiliseks?
29. Mis on tasapinna jälgjoon?
30. Mis tingimustel punkt asub tasapinnal?
31. Mis tingimustel sirge kuulub tasapinnale?
32. Mis on tasapinna horisontaal ja frontaal ning mis on nende tunnused kaksvaatel?
33. Mis on tasapinna põhilangusjoon ja esilangusjoon ning mis on nende tunnused kaksvaatel?
34. Missugust nurka loetakse tasapinna põhikaldenurgaks ja missugust esikaldenurgaks ning kuidas määratakse nende suurust?
35. Kirjeldage sirge ja tasapinna lõikepunkti leidmise käik.
36. Mis sihilised on tasapinna normaali projektsioonid?
37. Millise nurgaga mõõdetakse kahe sirge vahelist nurka?
38. Millise nurgaga mõõdetakse kahe tasapinna vahelist nurka?
39. Nimetage põhilised lisaprojektsioonide saamise võtted.
40. Missuguse koordinaatlõiguga võrdub punkti uue vaate kaugus uuest teljest, kui lisaekraan on risti  
a) põhiekraaniga; b) esiekraaniga?
41. Kuidas tuleb võtta lisaekraan, et üldasendiline sirglõik projekteeruks sellele sirgjooneks?
42. Kuidas tuleb võtta lisaekraan, et üldasendiline tasand projekteeruks sellele sirgjooneks?
43. Valige lisaekraan nii, et antud horisontaal või frontaal projekteeruks seal punktiks.
44. Kuidas liigitatakse aksonomeetrilisi kujutisi a) teljestiku projektsiooni liigi alusel; b) telgede moondetegurite vahetavuse alusel?
45. Mis kujundiks projekteerub kera a) ristaksonomeetrias; b) kaldaksonomeetrias?

46. Skitseerige ristisomeetrilise teljestiku konstruktsioon (märkige juurde telgede moondetegurid).
47. Skitseerige kabinetprojektsiooni teljestik (märkige juurde telgede moondetegurid).
48. Skitseerige standardse ristsomeetrilise teljestiku konstruktsioon (märkige juurde telgede moondetegurid).
49. Kuidas liigitatakse tahukaid?
50. Mis on tahuka pinnalaotus? Kuidas tuletatakse tahuka pinnalaotus?
51. Kuidas liigitatakse kõverjooni?
52. Mis on algebralise kõverjoone järk?
53. Nimetage kõik teist järku jooned.
54. Kuidas tekib silindriline kruvijoone?
55. Mis on kruvijoone samm (keerd)?
56. Milliste parameetritega on määratud silindriline kruvijoone?
57. Kuidas tekib üldkujuline pöördpind?
58. Mis on pöördpinna meridiaan, paralleel, ekvaator, kael, vöö?
59. Kuidas tekib joonpind? Nimetage joonpinnad.
60. Kuidas tekib üldkujuline silindriline (kooniline) pind?
61. Milliseid jooni võib saada pöörsilindri lõikamisel tasapinnaga olenevalt viimase asendist?
62. Mis juhul tasand lõikab pöördkoonust ellipsit mööda?
63. Mis juhul tasand lõikab pöördkoonust parabooli mööda?
64. Mis juhul tasand lõikab pöördkoonust hüperbooli mööda?
65. Mis juhul tasand lõikab pöördkoonust sirgeid mööda?
66. Mis on abitasandite võtte kasutamise eeldus?
67. Millist joont mööda lõikuvad ühise teljega pöördpinnad?
68. Mis juhul sfäär lõikab pöördpinda mööda ringjooni?
69. Mis juhul kasutatakse kahe pinna lõikejoone tuletamiseks abisfääride võtet?
70. Milline on väikseim abisfäär, mille abil saab leida kahe pöördpinna lõikejoone punkte?
71. Milliseid pindu nimetatakse laotuvateks?
72. Nimetage kõik laotuvate pindade liigid.
73. Mille poolest erinevad lähislaotus ja tinglaotus?
74. Missugustest tasapinnalistest kujunditest koostatakse silindrilise (koonilise) pinna lähislaotus?
75. Nimetage kõik teist järku pöördpinnad.
76. Skitseerige rõngaspind kaksvaates.
77. Nimetage üldised teist järku pinnad.
78. Nimetage kõik teist järku joonpinnad.
79. Kuidas tekib a) harilik kruvipind; b) kaldkruvipind?

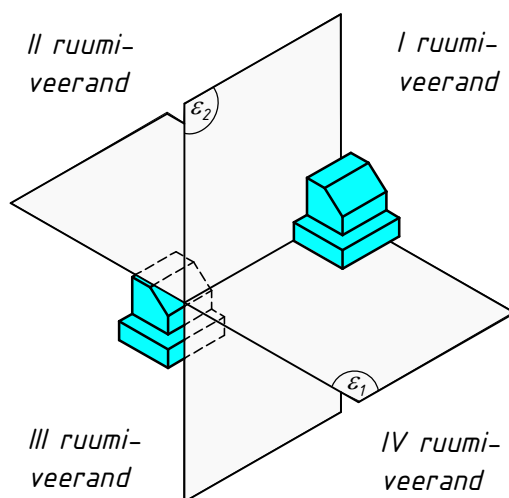
## IV TEHNILINE JOONESTAMINE

### 21 KUJUTISED

**Tehniline joonis** on graafiline dokument, mis sisaldab objekti kujutisi ning muid selle valmistamiseks ja kontrollimiseks vajalikke andmeid. Toodete tehniliste jooniste peamine eesmärk on anda täielik ettekujutus ja teave nende kohta, s.t objektid peavad olema üheselt määratud.

Kujutiste tuletamiseks kasutatakse kahte võrdväärset projekteerimismeetodit (EVS-EN ISO 128-3; EVS-EN ISO 5456-2) (joonis 4.1):

- esimese ruuminurga meetod (varem tuntud kui E-meetod, s.o Euroopa meetod). Selle meetodi kasutamisel asetatakse kujutatav objekt esimesse ruumiveerandisse. Projekteeritav objekt asub vaatleja ja vastava projektsioontasapinna ehk ekraani vahel;
- kolmanda ruuminurga meetod (varem tuntud kui A-meetod, s.o Ameerika meetod). Selle meetodi kasutamisel asetatakse kujutatav objekt kolmandasse ruumiveerandisse. Sel juhul on vastav projektsioontasand ehk ekraan vaatleja ja kujutatava objekti vahel.



**Joonis 4.1.** Objektide asetus ruumiveerandis vastavalt projekteerimise meetodile.

Kujutised tehnilisel joonisel esitatakse ristprojektsioonis omavahel mõtteliselt seotud projektsioonidena. Tehnilisel joonisel ei näidata projektsioontasandite piirjooni ega koordinaattelgi  $x$ ,  $y$  ja  $z$ . Erinevalt kujutavast geomeetriast ei näidata kujutiste vahelisi sidejooni.

Kujutiste valikul tuleb vältida objekti elementide põhjendamatu kordamist. Objekti tehnilistel joonistel peab olema esitatud kujutiste hulk minimaalne, kuid maksimaalse infoga. Õige joonise seisukohalt tuleb pidada vääraks nii kujutiste vähest kui ka liigset arvu.

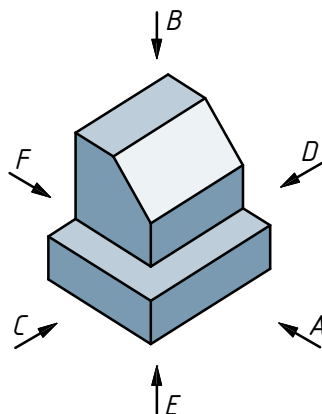
#### 21.1 PÕHILISED VAATED

Standardites EVS-EN ISO 128-3 ja EVS-EN ISO 5456-2 on toodud vaadete kasutamise ja tähistamise reeglid. **Vaade** on vaatleja poolt paistvate objekti pinnaosade kujutis. Joonise parema loetavuse seisukohalt soovib standard hoiduda varjatud kontuuride näitamisest. Selleks kasutatakse lisakujutisi (lõikeid).

Objektist on võimalik saada kuus **põhilist vaadet**:

- vaade **A** on eestvaade ehk **peavaade**;
- vaade **B** on pealtvaade;
- vaade **C** on vasakultvaade;
- vaade **D** on paremaltvaade;
- vaade **E** on altvaade;
- vaade **F** on tagantvaade.

Joonisel 4.2 on näidatud põhiliste vaadete suunad.



**Joonis 4.2.** Põhiliste vaadete suunad.

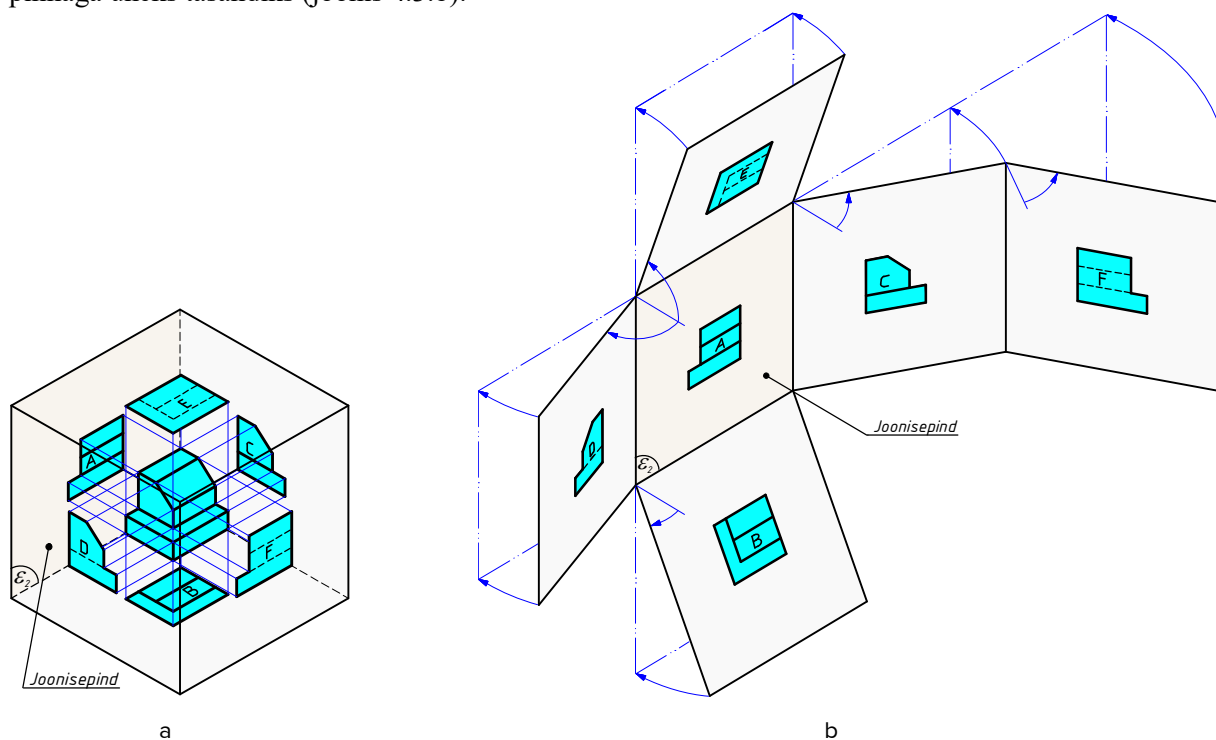
Peavaateks valitakse esemest selline kujutis, mis annab kõige rohkem informatsiooni eseme kuju ja mõõtmete kohta. Peavaate valikul peab arvestama objekti valmistamis-, paigaldamis- ja tööasendit. Peavaateks on eestvaade. Kujutised paigutatakse joonisel peakujutise asukoha keskselt, sõltuvalt projektsiooni meetodist. Peavaateks ei pea olema ainult vaade, vaid võib olla ka lõige.

## 21.2 PROJEKTSIOONIDE SAAMISE MEETODID

Kujutiste saamise meetodid, tähistused ja projektsioonimeetodite sümbolid on kirjeldatud standardites EVS-EN ISO 128-3 ja EVS-EN ISO 5456-2.

### 21.2.1 PROJEKTEERIMINE ESIMISE RUUMINURGA MEETODIL

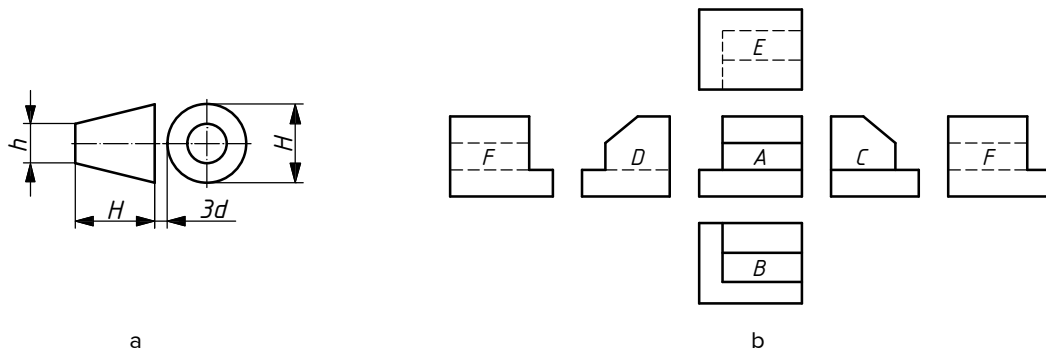
Joonisel 4.3 on toodud näide projektsioonide saamisest esimese ruuminurga meetodil. Objekt asetatakse vaatleja ja ekraani vahele (joonis 4.3.a). Pärast kujutiste saamist ekraanidel pööratakse kõik ekraanid joonise pinnaga üheks tasandiks (joonis 4.3.b).



**Joonis 4.3.** Projekteerimine esimese ruuminurga meetodil.

Selgitamaks, millise projekteerimismeetodiga on joonis tehtud, kasutatakse projekteerimismeetodi tunnuseid ehk erisümboleid. Joonisel 4.4.a on toodud esimese ruuminurga projektsioonimeetodi sümbol. Selline kahes vaates esitatav tüvikoonus paigutatakse iga joonise kirjanurga vastavasse lahtrisse. Põhiliste vaadete paigutus eestvaate (peavaate) suhtes esimese ruuminurga meetodil projekteerimisel on järgmine (joonis 4.4.b):

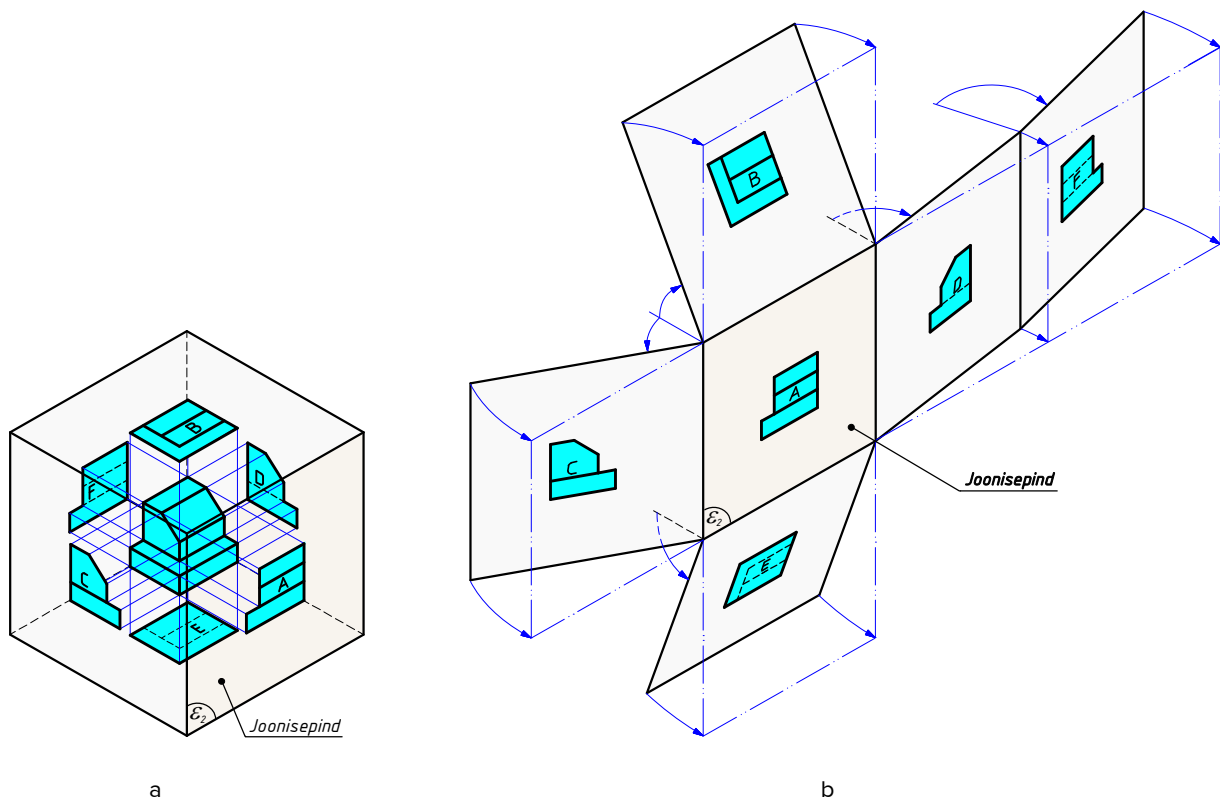
- pealtvaade (B) asub eestvaate (A) all;
- vasakultvaade (C) asub eestvaatest paremal;
- paremaltvaade (D) asub eestvaatest vasakul;
- altvaade (E) asub eestvaate kohal üleval;
- tagantvaade (F) võib paikneda eestvaate suhtes kas paremal või vasakul.



**Joonis 4.4.** Esimese ruuminurga projektsioonimeetodi sümbol ( $h$  kirja kõrgus, mm;  $H = 2 \times h$ ; joone laius  $d = 0.1 \times h$ ) ja põhiliste vaadete paigutus esimese ruuminurga projektsioonimeetodil.

## 21.2.2 PROJEKTEERIMINE KOLMANDA RUUMINURGA MEETODIL

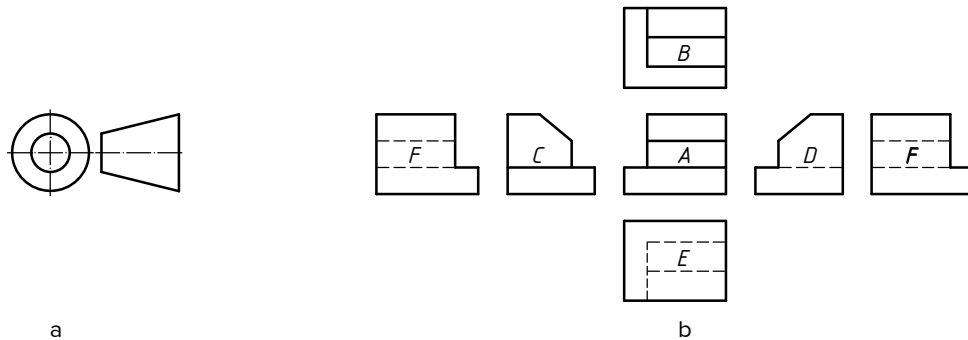
Joonisel 4.5 on toodud näide projektsioonide saamisest kolmanda ruuminurga meetodil. Selle meetodi korral asetatakse ekraan, millele ese projekteeritakse, eseme ja vaatleja vahele (joonis 4.5.a). Pärast kujutiste saamist ekraanidel pööratakse kõik ekraanid joonise pinnaga üheks tasapinnaks (joonis 4.5.b).



**Joonis 4.5.** Projekteerimine kolmanda ruuminurga meetodil.

Kolmanda ruuminurga projektsioonimeetodi sümbol on toodud joonisel 4.6.a. Antud sümboli mõõdud on samad mis esimese ruuminurga sümbolil. Põhiliste vaadete paigutus eestvaate (peavaate) suhtes kolmanda ruuminurga meetodil projekteerimisel on järgmine (joonis 4.6.b):

- pealtvaade (B) asub eestvaate (A) kohal üleval;
- vasakultvaade (C) asub eestvaatest vasakul;
- paremaltvaade (D) asub eestvaatest paremal;
- altvaade (E) asub eestvaate all;
- tagantvaade (F) võib paikneda eestvaate suhtes kas paremal või vasakul.

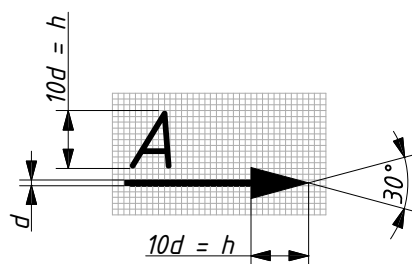


**Joonis 4.6.** Kolmanda ruuminurga projektsioonimeetodi sümbol ja põhiliste vaadete paigutus kolmanda ruuminurga projektsioonimeetodil.

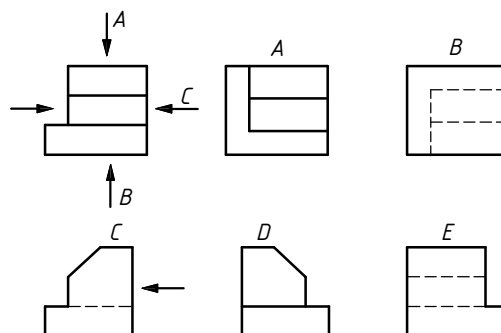
### 21.2.3 PROJEKTEERIMINE VIITENOOLTE MEETODIL

Olukordades, kus ei ole otstarbekas projekteerida esimese või kolmanda ruuminurga meetodil, võib kasutada projekteerimist viitenoolte abil. Sellel meetodil saadud vaated võib olenemata peavaatest paigutada vabalt sobilikku kohta. Kõik vaated, välja arvatud peavaade ja põhilised vaated, tähistatakse.

Vaate suuna näitamiseks kasutatakse viitenooli (noole saba on lai pidevjoon). Joonisel 4.7 on näidatud viitenooli mõõdud. Vaate suunda näitavate viitenoolte juurde lisatakse suur täht, mis kirjutatakse kas noole kohale üles või noolest paremale. Sama suurtäht kirjutatakse tähisena ka vastava vaate kohale üles. Vaate täht-tähise kõrgus ( $h$ ) kirjutatakse teguri  $\sqrt{2}$  kordselt suuremana joonisel kasutatavast kirja suurusest. Täht-tähis kirjutatakse alati joonise kirjanurga suhtes paralleelselt sõltumata viitenooli suunast. Joonisel 4.8 on näidatud vaadete tähistamine viitenoolte abil projekteerimisel.



**Joonis 4.7.** Vaate suunda näitav viitenool.

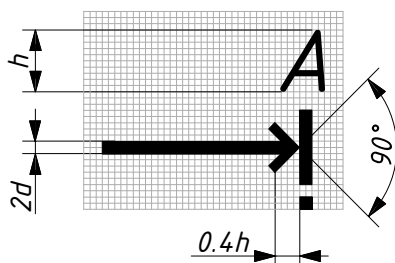


**Joonis 4.8.** Vaatesuuna märkimine noolte ja suurtähtedega ning vaate tähistamine.

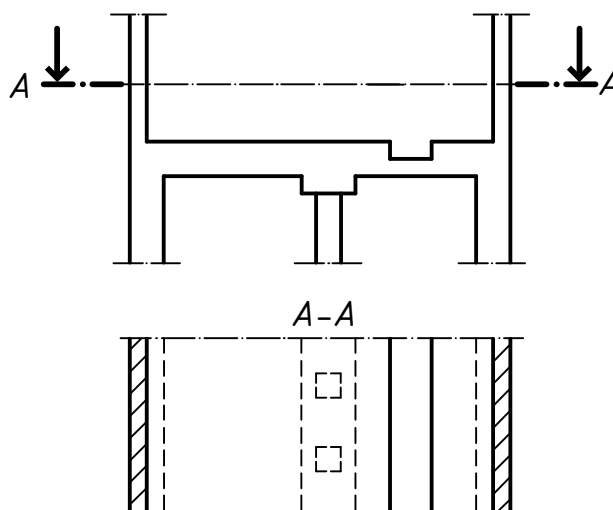
## 21.2.4 EHITUSJOONISTEL KASUTATAVAD PROJEKTEERIMISMEETODID

Peale eespool kirjeldatud projekteerimismeetodite kirjeldatakse standardites EVS-EN ISO 128-3 ja EVS-EN ISO 5456-2 kahte meetodit, mida kasutatakse ehitusjoonistel.

**Suunatud ristprojektsiooni meetod.** Suunatud ristprojektsioon on objekti kujutis, mis saadakse kujutuskiirte lõikumisel lõiketasandiga täisnurga all. Saadud kujutist näidatakse lõike suuna poolt vaadatuna. Joonisel 4.9 on näidatud lõike viitenool joonis koos mõõtmetega. Noole joone on kaks korda laiem kui vaate viitenool joon. Joonisel 4.10 on näide suunatud ristprojektsiooni meetodi kohta (EVS-EN ISO 128-3).

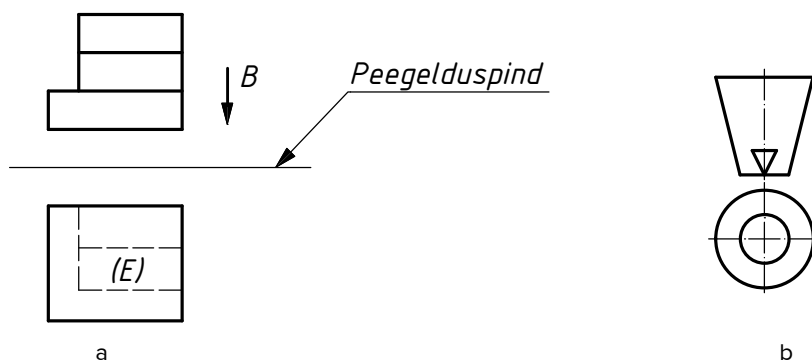


Joonis 4.9. Ehitusjoonistel lõike suunda näitav viitenool.

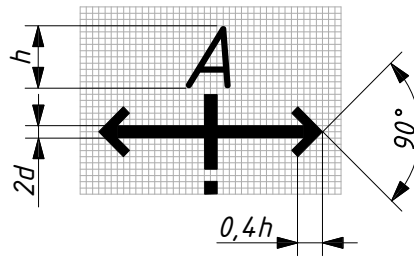


Joonis 4.10. Suunatud ristprojektsiooni näide.

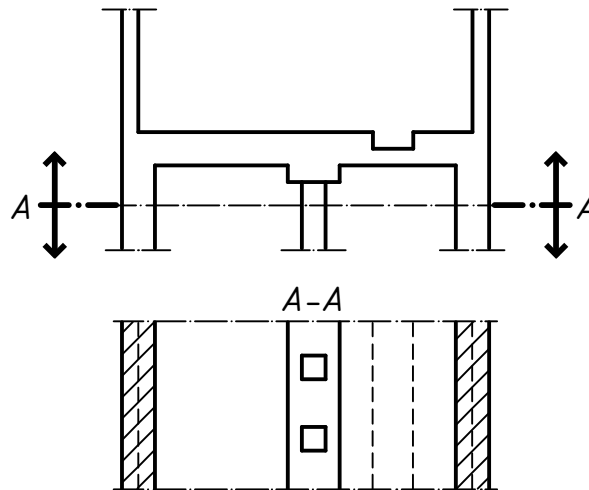
**Peegeldatud ristprojektsiooni meetod.** Peegeldatud ristprojektsioon on kujutis, kus kujutatav objekt on projekteeritud peegelpildis (pind ülespoole), mis on paigutatud paralleelselt selle objekti horisontaaltasanditega. Võib öelda, et saadud kujutis on vaade B vaadatud vaate E suunas (joonis 4.2). Joonisel 4.11 on esitatud peegeldatud ristprojektsiooni meetodi kirjeldus (a) ja sümbol (b). Joonisel 4.12 on toodud viitenool koos mõõtmetega (a) ja näide suunatud ristprojektsiooni meetodi kohta (b) (EVS-EN ISO 128-3 ja EVS-EN ISO 5456-2).



Joonis 4.11. Peegeldatud ristprojektsiooni meetod ja sümbol.



**Joonis 4.12.a.** Peegeldatud ristprojektsiooni lõike suunda näitav viitenool.



**Joonis 4.12.b.** Peegeldatud ristprojektsiooni meetod.

## 21.3 LÕIKED

### 21.3.1 LÕIKE SAAMINE

Lõikeid kasutatakse detaili sisemise ehituse näitamiseks. Sisemist ehitust saab vaatel näidata ka varjatud kontuuride abil, kuid seda võib kasutada lihtsamate detailide puhul. Varjatud kontuuride kasutamine keerulisemate detailide korral muudab joonise lugemise raskemaks. Standardis EVS-EN ISO 128-3 on välja toodud põhimõte, et jooniste valmistamisel tuleks vältida varjatud kontuuride kasutamise vajadust. Standardis EVS-EN ISO 128-3 on määratud lõigete kasutamine, kujutamine ja tähistamine. Lõigete joonestamisel kehtivad vaadete paigutuse üldised reeglid.

**Lõige** on kujutis, mis saadakse eseme mõttelisel lõikamisel ühe või mitme tasandiga. Lõikel näidatakse lisaks lõiketasapinnal olevatele nähtavatele joontele ka selle taga olevaid jooni. Vaatleja ja lõiketasandi vaheline osa eemaldatakse mõtteliselt.

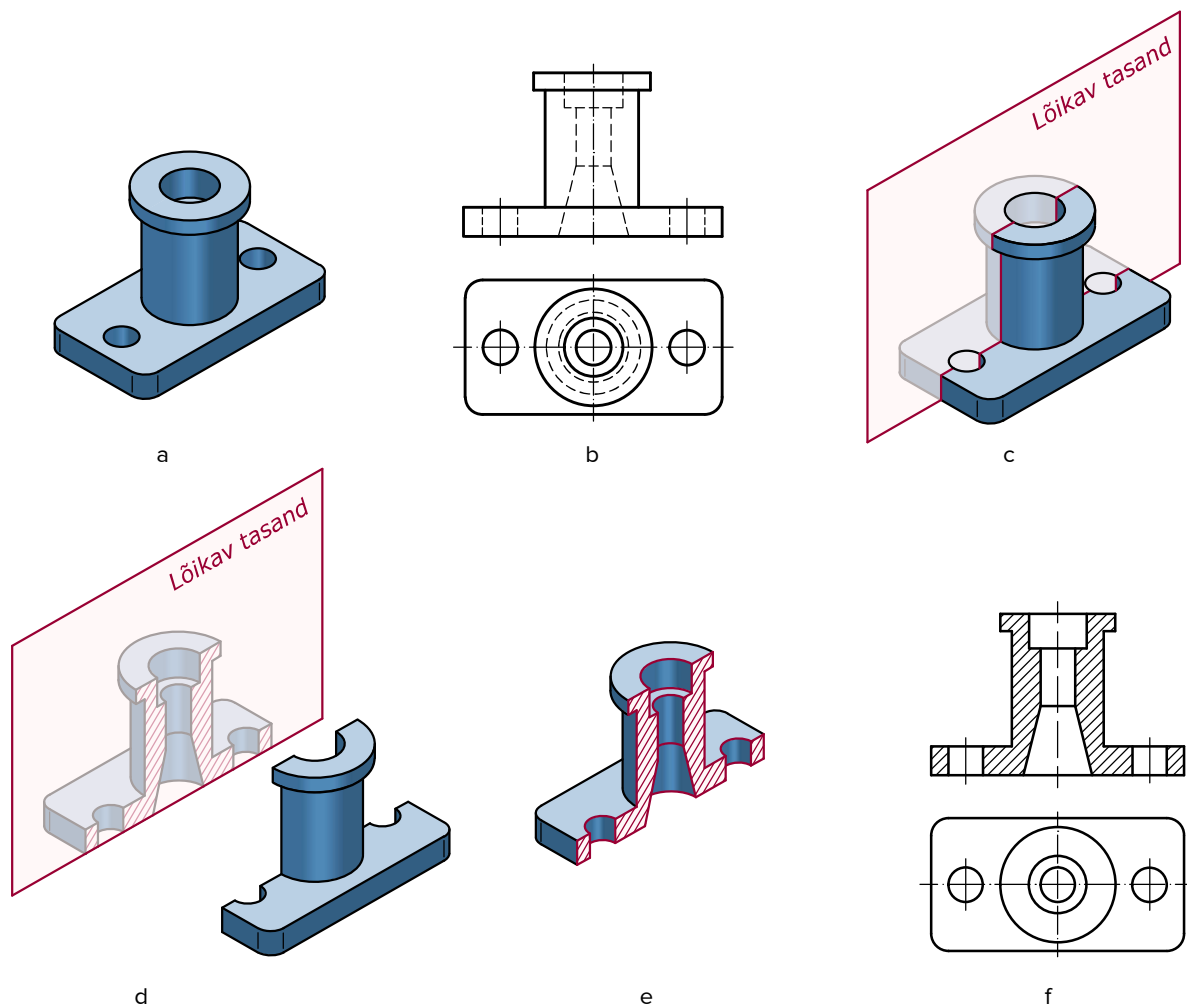
Lõikel võib kujutada ka ainult lõiketasandile jäävaid nähtavaid kontuure. Sel juhul nimetatakse saadud lõiget **ristlõikeks**. Ristlõike ülesandeks on selgitada läbilõigatud koha geomeetrilist kuju moondevabalt.

Lõike saamine ja tekkinud kujutis on näidatud joonisel 4.13.

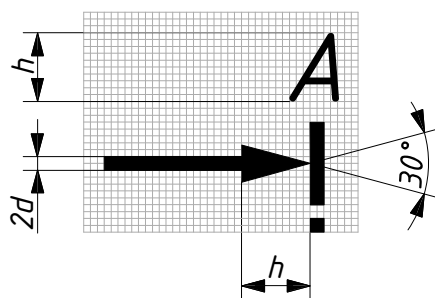
### 21.3.2 LÕIKE TÄHISTAMINE

Üldjuhul kuuluvad lõiked tähistamisele ja pealkirjastamisele. Lõiketasandi või lõiketasandite asukoht näidatakse lõikejoonega, mis kujutatakse ülilaia pikk-kriipspunktjoonega. Lõikejoon joonestatakse sobiliku pikkusega olenevalt joonise loetavusest. Kui lõiketasand muudab suunda, tuleb lõikejoone suuna muudatus näidata sama laiusega kriipsudega. Joonise loetavuse tagamiseks võib lõikejoone ühendada kitsa pikk-kriipspunktjoonega.

Lõike vaatesuund näidatakse viitenooltega. Ehitusjoonistel kasutatav viitenool on näidatud joonisel 4.9 ja masinaehitusjoonistel kasutatav joonisel 4.14. Lõike suunda näitavad viitenooled paigutatakse risti lõikepinnaga ja tõmmatakse vastu lõikejoont. Lõikejoon tähistatakse suurtähtedega, mille kõrgus võetakse joonisel kasutatavast kirja suurusest teguri  $\sqrt{2}$  kordselt suurem. Tähed kirjutatakse noolte lähedale lõikejoone algusesse ja lõppu. Samade tähtedega pealkirjastatakse lõige. Olenemata laiade kriipsude ja vaate suunda näitavate noolte asendist, kirjutatakse täht-tähised alati paralleelselt kirjanurgaga.

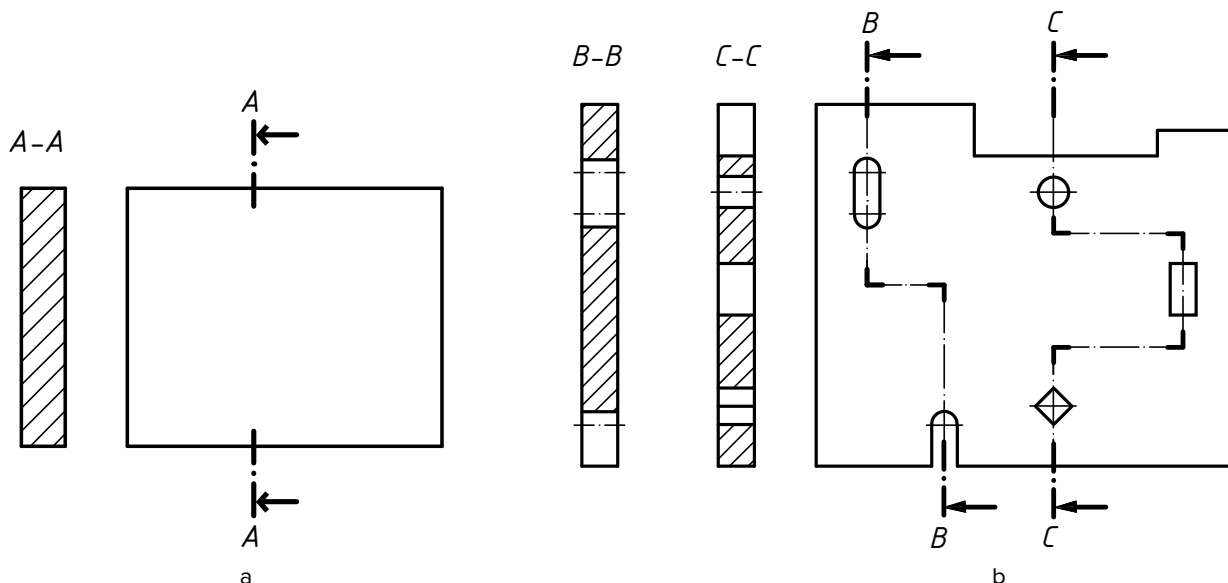


**Joonis 4.13.** Lõike saamine: a – detaili kujutis ristsomeetrias;  
b – detaili kujutis kaksvaatel (varjatud kontuuridega);  
c – näidatud tasand, millega detaili lõigatakse;  
d – detail on lõigatud tasandiga kaheks osaks;  
e – esipool on mõtteliselt eemaldatud;  
f – saadud detaili kujutis kaksvaatel lõikepinna viirutusega.



**Joonis 4.14.** Masinaehitusjoonistel lõikesuuna näitamiseks kasutatav viitenool.

Joonisel 4.15.a on näidatud lõiketasandi kujutamise ja lõike tähistamise näide ehitusjoonistel ja joonisel 4.15.b masinaehitusjoonistel.

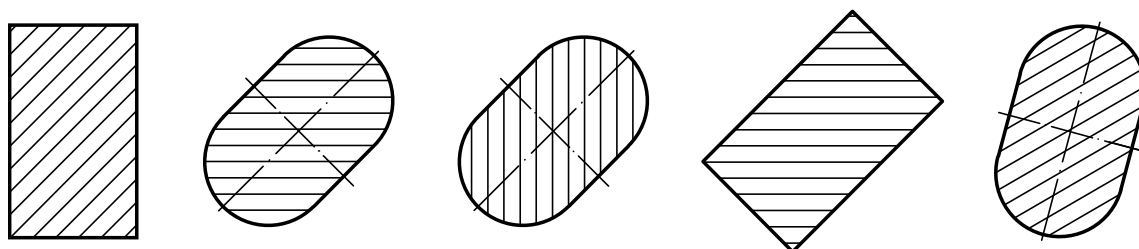


**Joonis 4.15.** Lõiketasandi kujutamise ja lõike tähistamise näited: a – ehitusjoonistel ja b – masinaehitusjoonistel.

### 21.3.3 LÕIKEPINDADE VIIRUTAMINE

Standardis EVS-EN ISO 128-3 on kirjeldatud lõikepindade kujutamine. Eseme lõigatud pindasid saab kujutada viirutamise, varjutamise või toonimisega. Standard määrab lõikepindade viirutamise ja lauskatmise üldised reeglid, jättes nimetamata konkreetsed materjalid.

Lõikepinnad viirutatakse paralleelsete kitsa pidevjoontega, mis tõmmatakse telgjoone või oluliste servjoonte suhtes sobiva, eelistatavalt 45° nurga all kas paremale või vasakule (joonis 4.16). Kui viirutusjoonte kalle ühtiks kontuurjoonte või telgjoonte suunaga, siis valitakse viirutussuund selliselt, et viirutamist oleks võimalik peamistest piirjoontest kõige paremini eristada. Viirutusjoonte vahekaugus valitakse sõltuvalt viirutatava ala suurusest, kuid tuleb arvestada standardis EVS-EN ISO 128-2 määratud paralleeljoonte minimaalset vahekaugust, mis on 0,7 mm. Sama detaili lõikepinnad peavad olema viirutatud kõikidel lõigetel ühes suunas ja ühesuguse intervalliga.

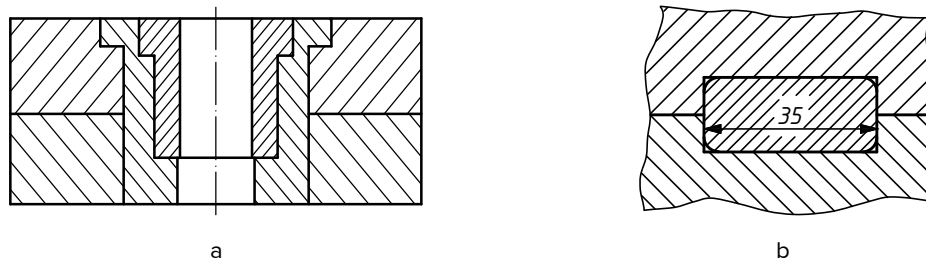


**Joonis 4.16.** Lõikepindade viirutamise näiteid.

Kõrvuti asetsevate detailide viirutused joonestatakse kaldu erinevas suunas. Võib ka viirutada erineva tihedusega (joonis 4.17.a). Kui kiri või mõõtarv satub lõikele, siis viirutus nende kohal katkestatakse (joonis 4.17.b).

Suured lõikepinnad viirutatakse ainult piki detaili kontuuri (joonis 4.18.a). Kitsad lõikepinnad kujutatakse täielikult katva mustaga (joonis 4.18.b). Külgnivate detailide kokkupuutejoonele jäetakse vähemalt 0,7 mm vahe.

Kinnitusdetailide, völe, vardaid, kodaraid ja tugevdusribisid üldiselt pikisuunas ei lõigata (nn keelatud lõiked) ning seetõttu ei kujutata neid kui lõikeid (ei viirutata).



**Joonis 4.17.** Külgnevate detailide viirutamine ja viirutuse katkestus kirja kohal.



**Joonis 4.18.** Suurte lõikepindade ja kitsaste lõikepindade viirutamine.

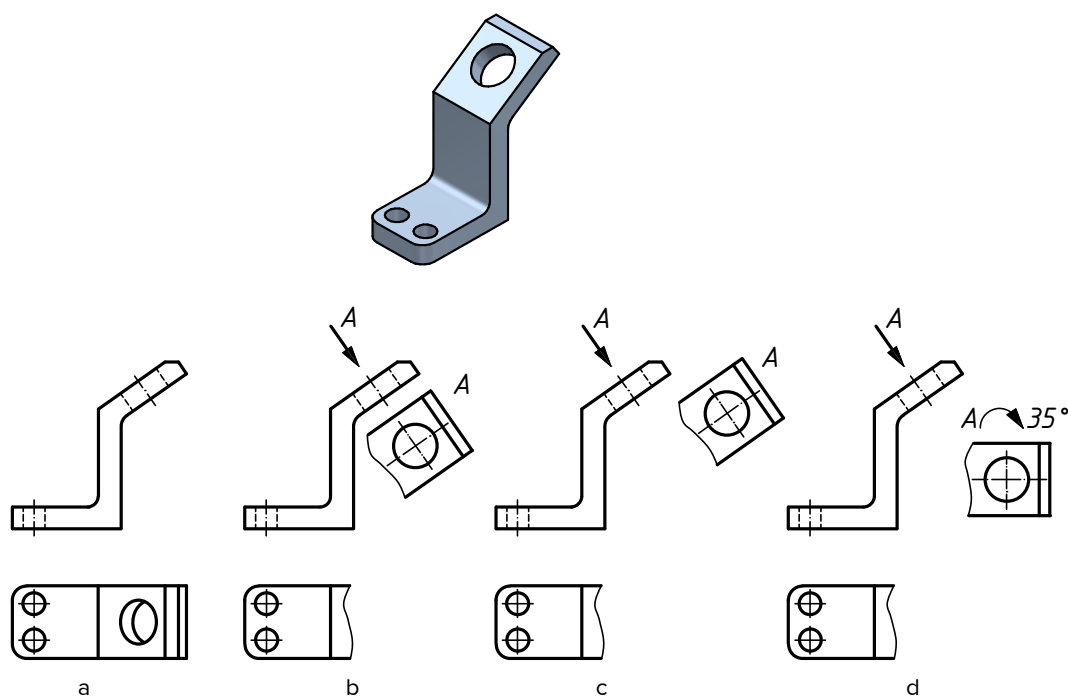
## 21.4 VAADETE KUJUTAMINE JOONISTEL

### 21.4.1 OSALISED VAADED

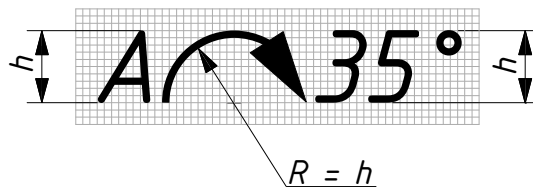
Kui on vaja kujutada objekti mingit kindlat elementi (täisvaade ei ole otstarbekas) või vältida moonutatavat kujutist, võib kasutada osalist vaadet. Osaline vaade piiratakse katkestusjoonega (kitsa vabakäepidevjoonega või kitsa siksak-pidevjoonega).

Joonisel 4.19 on näidatud detail, mille üks osa on kaldu kõikide ekraanide suhtes. Pealtvaates see osa projekteerub moonutatult (joonis 4.19.a). Tõeline kuju saamiseks projekteeritakse kaldosa temaga paralleelsele tasandile (joonis 4.19.b ja c).

Vajaduse korral on lubatud vaadet näidata teises asendis. Kui lisavaade on joonestatud pööratud asendis (joonis 4.19.d), siis lisatakse vaate tähise juurde kaarnool (näidates ära pööramise suuna) koos pööramise nurgaga kraadides (joonis 4.20). Tähistuse järjestus on järgmine: vaate tähis – kaarnool – pööramise nurk.

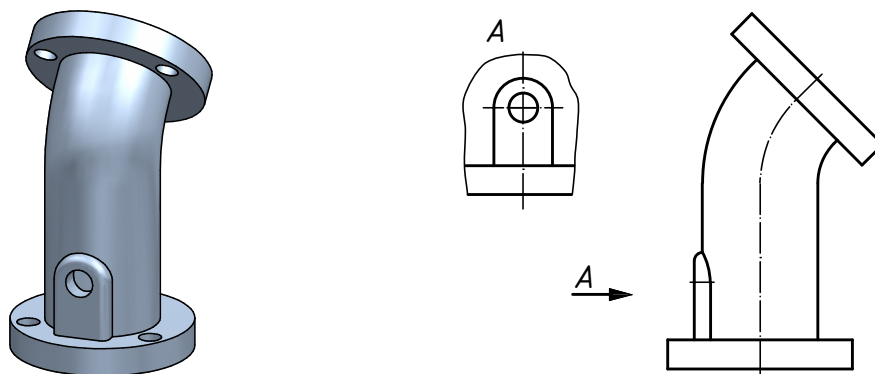


**Joonis 4.19.** Lisavaate näiteid.



**Joonis 4.20.** Kaarnool mõõtmatega.

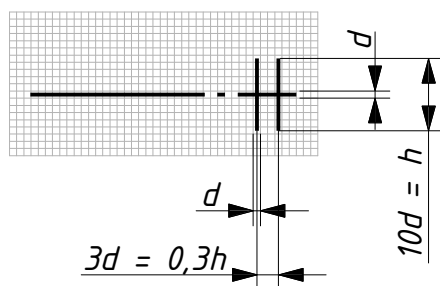
Osalise vaatega saab näidata eseme kitsapiirilisi osi, kui ei ole otstarbekas kujutada objekti täisvaadet. Osaline vaade paigutatakse joonisel vabale kohale (joonis 4.21).



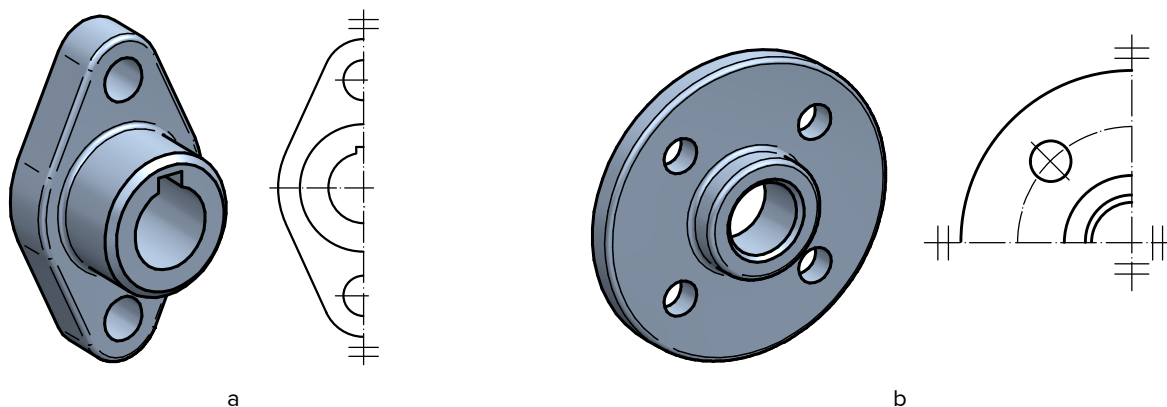
**Joonis 4.21.** Osaline vaade.

## 21.4.2 SÜMMEETRILISTE DETAILIDE OSALISED VAATED

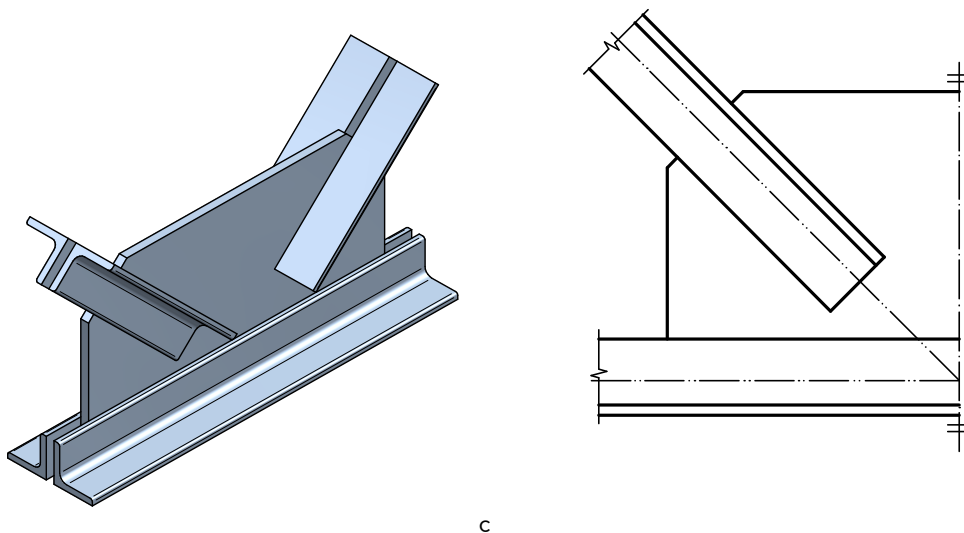
Kui objekti kujutis on sümmeetriline, võib sellest näidata kas pool või veerand (joonis 4.23). Sümmeetriatelje kummassegi otsa märgitakse sümmeetria tähis (joonis 4.22) – kaks paralleelset kriipsukest, mis joonestatakse kitsa pidevjoonega telje suhtes risti.



**Joonis 4.22.** Sümmeetria graafiline sümbol.



**Joonis 4.23.** Sümmeetriliste detailide osalised vaated: a – flants, b – kaas; c – metallisõlm.

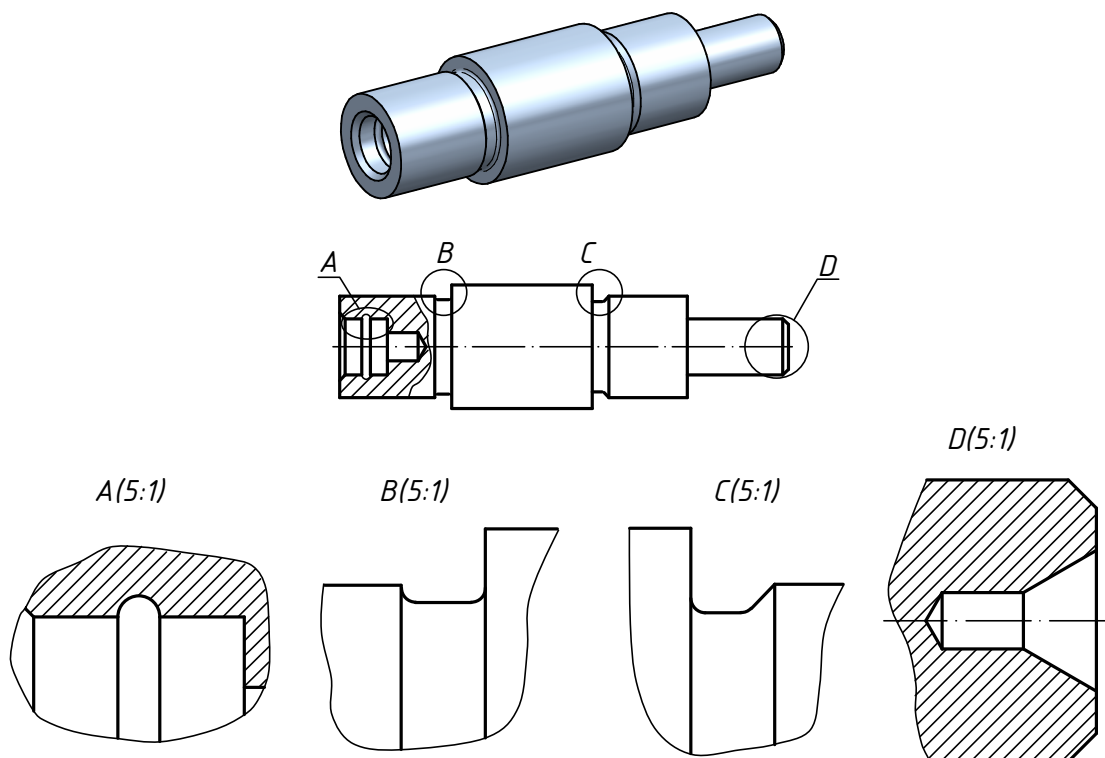


Joonis 4.23. (järg).

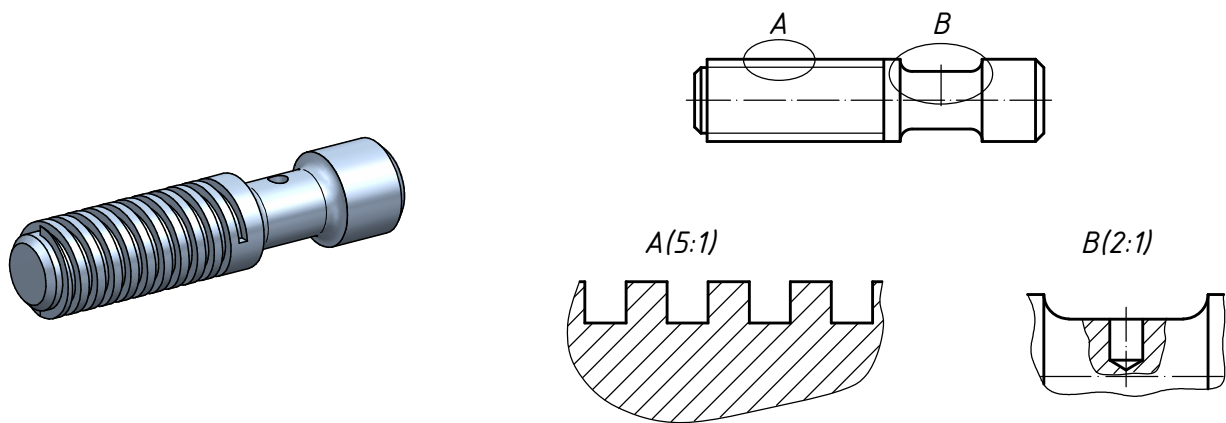
### 21.4.3 VÄLJATOODUD ELEMENT

Objektide joonistel võib mõni element olla nii väike, et selle kuju jääb ebaselgeks või ei ole ruumi mõõtmete pealekandmiseks. Sellisel juhul kasutatakse väljatoodud elementi. Põhikujutisel ümbritsetakse väljatoodud element ringjoone või ovaaliga, mis joonestatakse kitsa pidevjoonega ja millele lisatakse tähisena suurtäht. Et joonised oleksid üheselt mõistetavad, võib ringjoonelt või ellipsilt joonestada viitejoone ja laudile kanda väljatoodud elemendi täht-tähise. Väljatoodud element joonestatakse joonise vabale pinnale soovitatavalt võimalikult põhikujutise lähedale suurendavas mõõtkavas. Väljatoodud elemendi pealkirjaks on sama suurtäht koos sulgudes lisatud mõõtsuhtega.

Väljatoodud element võib sisaldada üksikasju, mis põhikujutisel näiliselt puuduvad. Joonestatud element võib oma põhikujutisest erineda ka sisu poolest, näiteks põhikujutis on kujutatud vaates, aga väljatoodud element lõikes. Joonistel 4.24 ja 4.25 on kujutatud väljatoodud elementide näited.



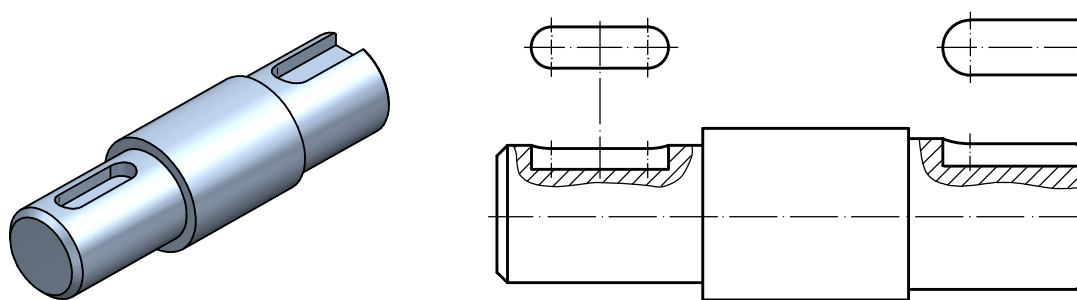
Joonis 4.24. Väljatoodud elemendid.



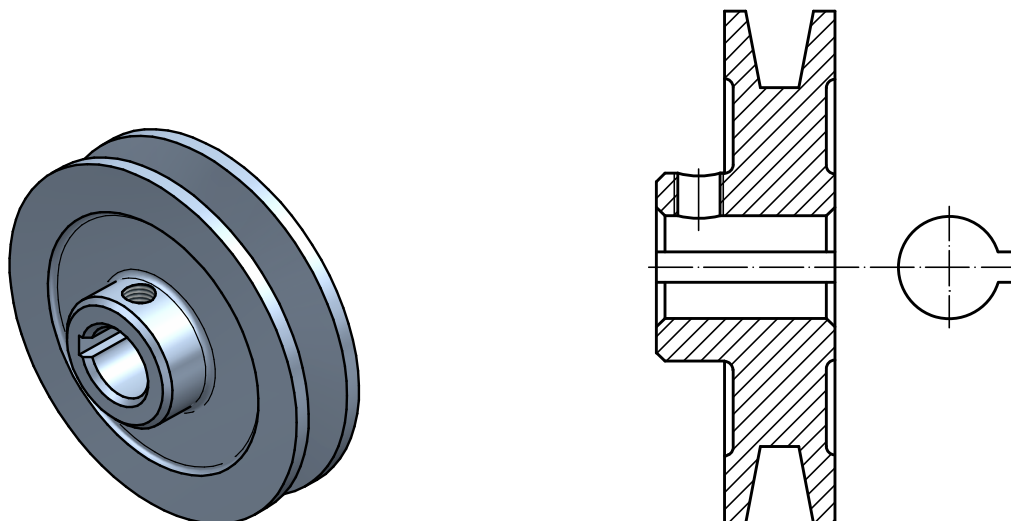
**Joonis 4.25.** Väljatoodud elemendid.

#### 21.4.4 KOHTVAATED

Kui kujutatava objekti vaadeldav element on selgelt eristatav geomeetriline vorm, siis on lubatud täisvaade asendada ainult selle koha kujutisega (kohtvaatega). Kohtvaade projekteeritakse kolmanda ruuminurga meetodil ning seotakse kujutisega kitsa pikk-kriipspunktjoonega ja joonestatakse välja laia pidevjoonega. Joonisel 4.26 on kujutatud võlli liistusoonte kohtvaated ja joonisel 4.27 rihmaratta ava kohtvaade.

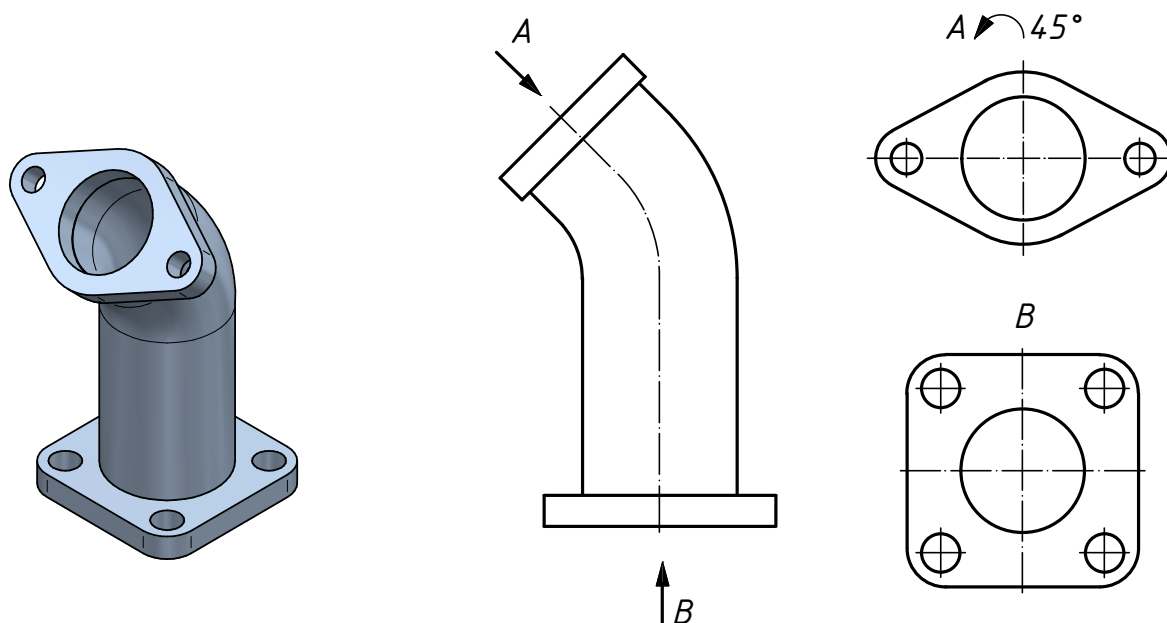


**Joonis 4.26.** Kohtvaade.



**Joonis 4.27.** Kohtvaade.

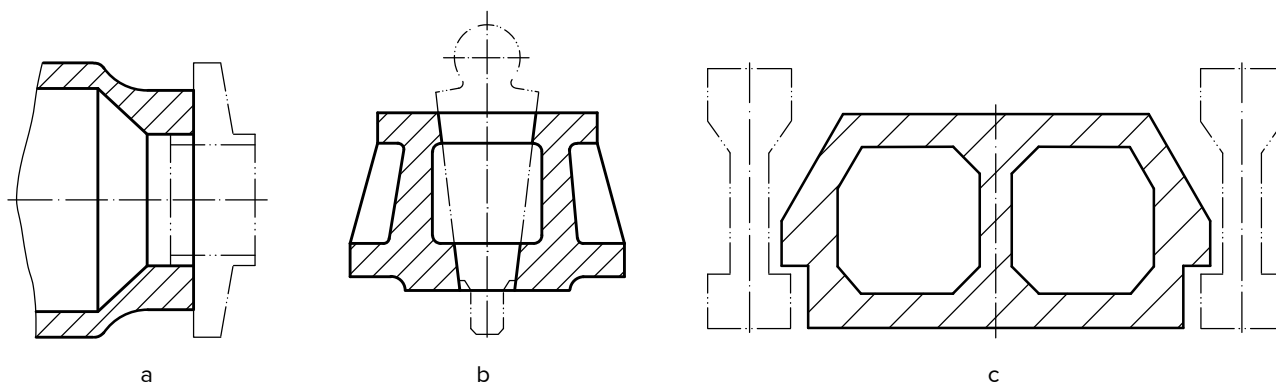
Kohtvaade, mis ei ole lätekujutisega projektsioonilises seoses, tuleb tähistada viitenoolte ja täht-tähisega. Joonisel 4.28 on kohtvaade tuletamine viitenoolte abil.



Joonis 4.28. Kohtvaated.

#### 21.4.5 KÜLGNEVAD OSAD JA KONTOUURID

Joonisel objekti otstarbe ja rakenduse paremaks selgitamiseks kujutatakse vajadusel korral selle juures temaga külgnevaid osi. Piirnevad osad näidatakse lihtsustatud kujul ja joonestatakse välja kitsa pikk-kriipskaks punktjoonega (joonis 4.29). Peab arvestama sellega, et külgneva osa kujutis ei tohi projektsiooniliselt varjata põhidetaili kontuure, kuid ise võib jääda selle varju. Kui külgnev osa satub lõikesse, siis seda ei viirutata. Joonisel on kujutatud külgnevate osade näiteid.

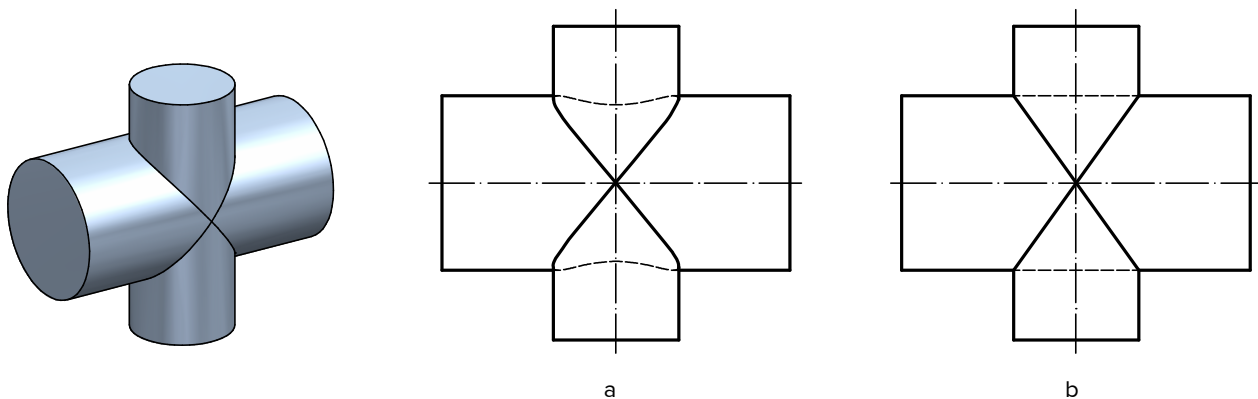


Joonis 4.29. Külgnevate osade kujutamine.

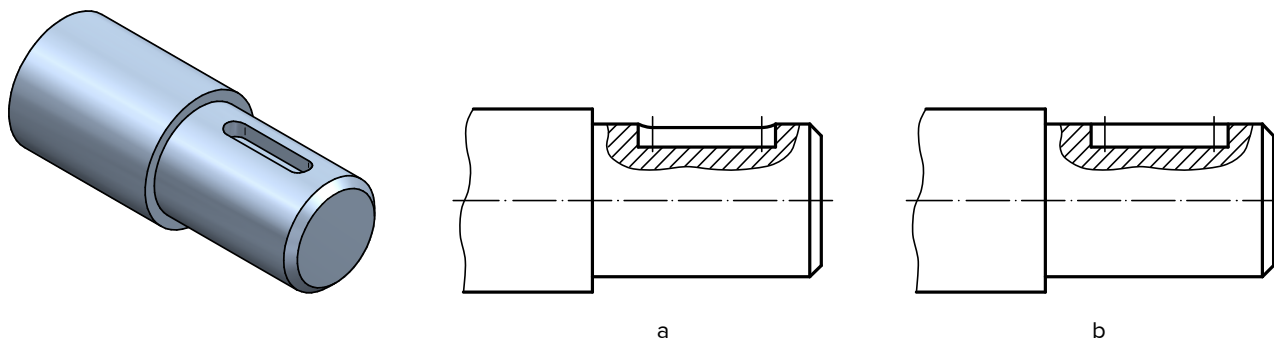
#### 21.4.6 PINDADE LÕIKEJOONE LIHTSUSTATUD JA TINGLIK KUJUTAMINE

Pindade tegelike lõikejoonte nähtavad osad joonestatakse laia pidevjoonega ja varjatud kitsa kriipsjoonega (joonis 4.30.a). Kui pindade tegelikud lõikejooned ei ole objekti konstruktsiooni selgitamise seisukohalt olulised, võib need välja joonestada lihtsustatud kujul, näiteks sirgete või kaartena. Joonisel 4.30.b on tegelik lõikejoon asendatud sirgjoontega.

Samuti võib pöördpinna ja näiteks liistusooni kujuga ava lõikumisel tekkiva valdavalt sirge lõikejoone jätta nihutamata (joonis 4.31). Joonisel 4.31 a on kujutatud tegelik lõikejoon ja b lihtsustatud kujutis.

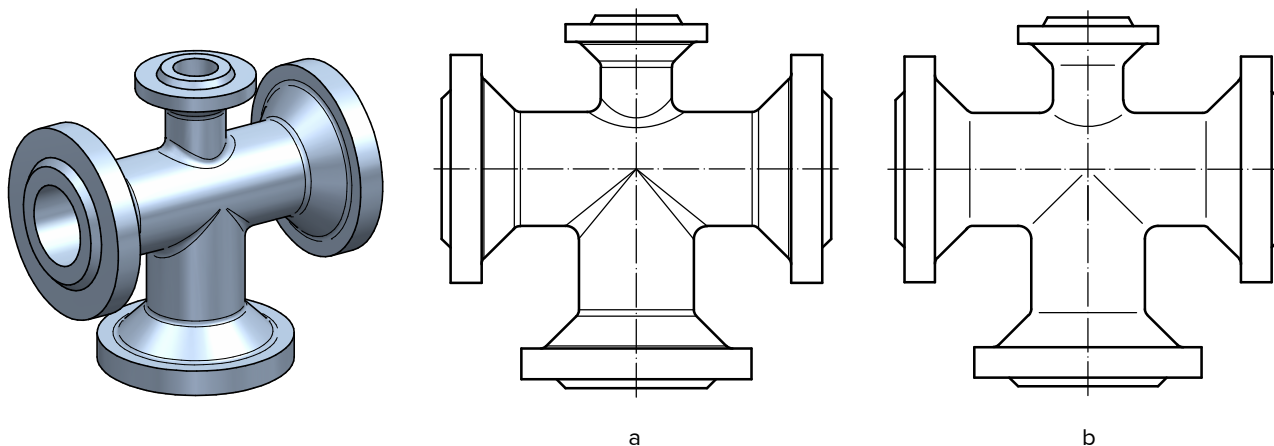


**Joonis 4.30.** Lõikejoone kujutamine.



**Joonis 4.31.** Lõikejoone kujutamine.

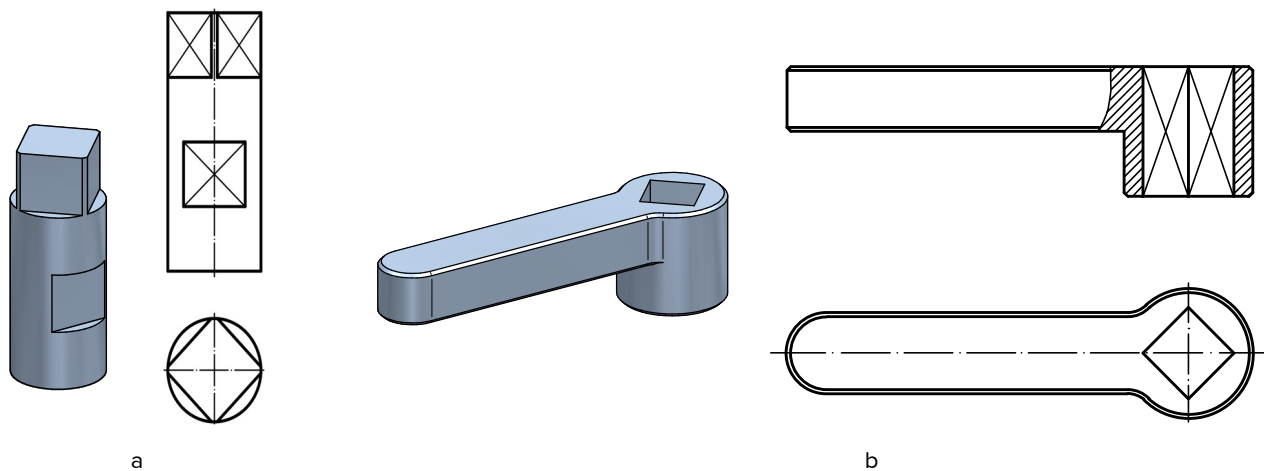
Paljudel detailidel esineb pindade sujuvaid üleminekuid ja seetõttu selgeid lõikejooni ei ole. Sujuva ülemineku puhul ühelt pinnalt teisele võib kujuteldavaid lõikejooni näidata tinglikult kitsa pidevjoonega, mis ei ulatu kontuurjooneni. Joonisel 4.32 a on kujutatud kujuteldav lõikejoon ja joonisel 4.32 b lihtsustatud lõikejoon.



**Joonis 4.32.** Sujuvatel üleminekutel kujuteldavate lõikejoonte näitamine.

#### 21.4.7 TASANDITE ERISTAMINE PÖÖRDPINDADEST

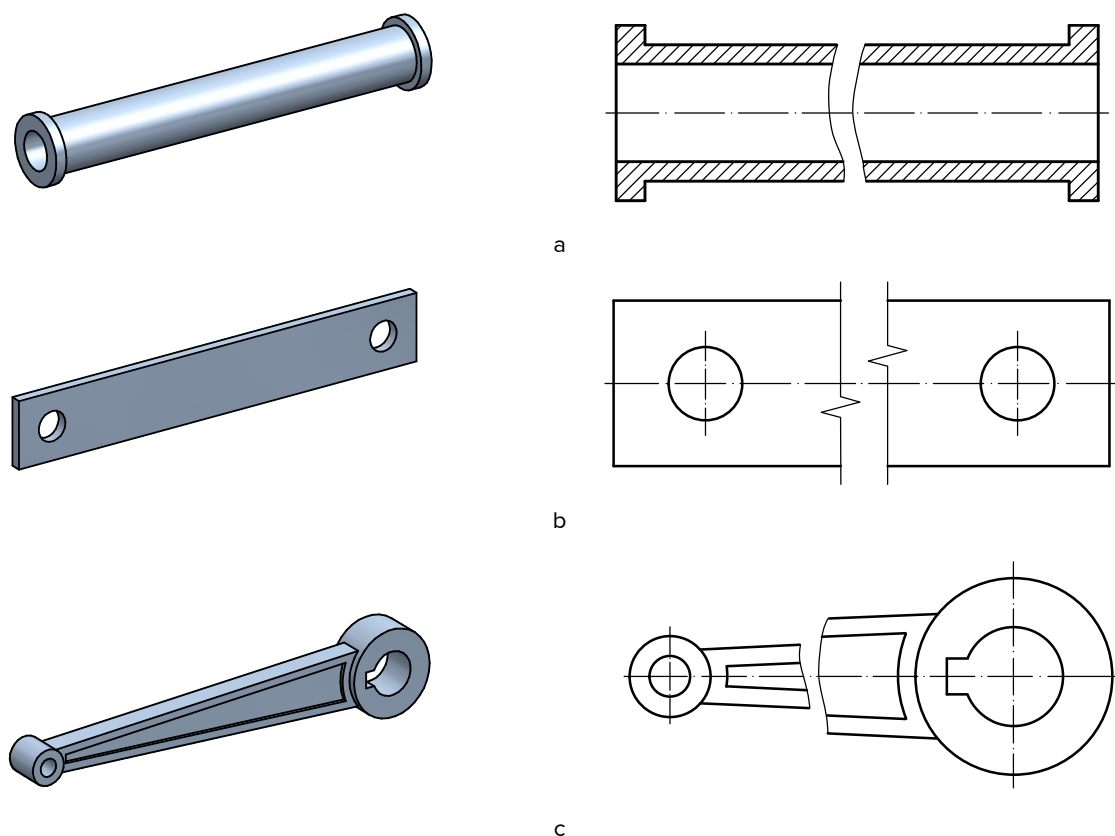
Pöördpindadel olevad tasapinnalised osad tähistatakse diagonaalidega, mis joonestatakse kitsa pidevjoontega (joonis 4.33).



**Joonis 4.33.** Tasandite eristamine pöördpindadest.

#### 21.4.8 KATKESTUSED

Pikkadest esemetest, millel on ühtlane või ühtlaselt muutuv ristlõige, võib osa joonise pinna kokkuhoiu mõttes jooniselt välja jätta. See võtte lubab objekti kujutada suuremana. Sellised esemed on näiteks vardad, võllid, torud, valtsprofiilid, kepsud. Ära võib jätta selle osa, mis ei ole oluline objekti määramisel. Allesjäänud osad piiratakse katkestusjoonega (pideva vabakäejoonega või murretega kitsa joonega) ja tuuakse üksteisele lähemale. Joonisele kantakse eseme tegelikku pikkust näitavad mõõtmed. Mõõtjooned peavad olema katkestuseta. Joonisel 4.34 on kujutatud näiteid erinevate detailide katkestuste kasutamisest joonistel.



**Joonis 4.34.** Katkestused: a – toru, b – latt, c – keps.

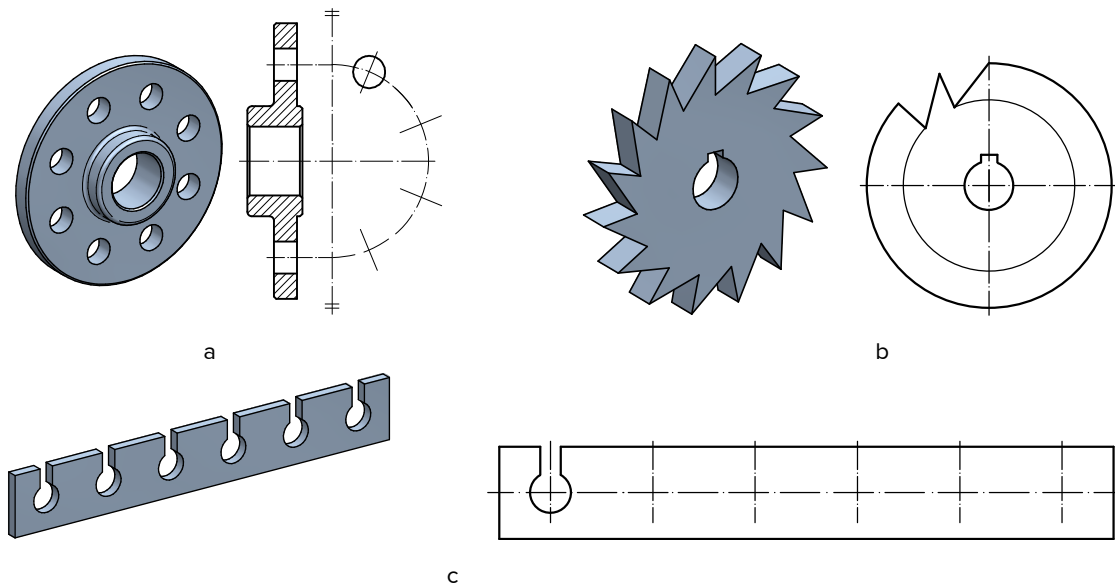
### 21.4.9 KORDUVAD ELEMENDID

Kui esemel on korrapärase paigutusega korduvaid elemente, mille paigutus on üheselt mõistetav, siis nendest võib välja joonestada ainult ühe või mõne. Ülejäänud näidatakse tinglikult või lihtsustatult.

Need elemendid, mida välja ei joonestata, kujutatakse järgmiselt:

- sümmeetrilise asetuse korral kitsaste pikk-kriipspunktjoontega nende paiknemiskohas. Avade paiknemise näitamiseks äärikus kasutatakse avade jaotusringjoont (joonis 4.35.a). Siinjuures eeldatakse, et avad on asetatud jaotusringjoonele ühtlaste vahedega. Sümmeetrilise asetusega avade asetus lati sees on näidatud joonisel 4.35.c;
- mittesümmeetrilise asetuse korral kitsa pidevjoonega oma asukohas. Näiteks võib tuua ketasfreesi hammaste kujutamise (joonis 4.35.b).

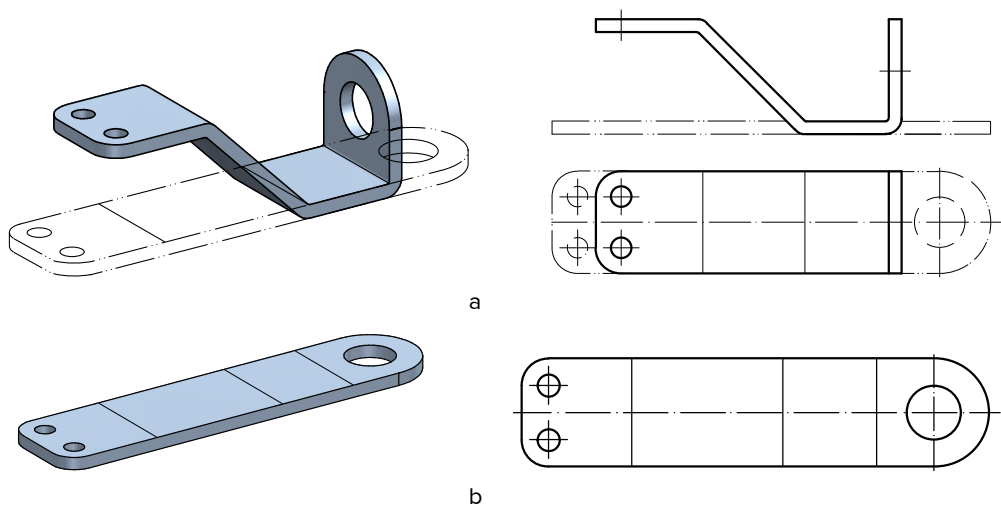
Korduvementide arv tuleb mõõtmete koosseisus ära näidata.



Joonis 4.35. Korduvad elemendid.

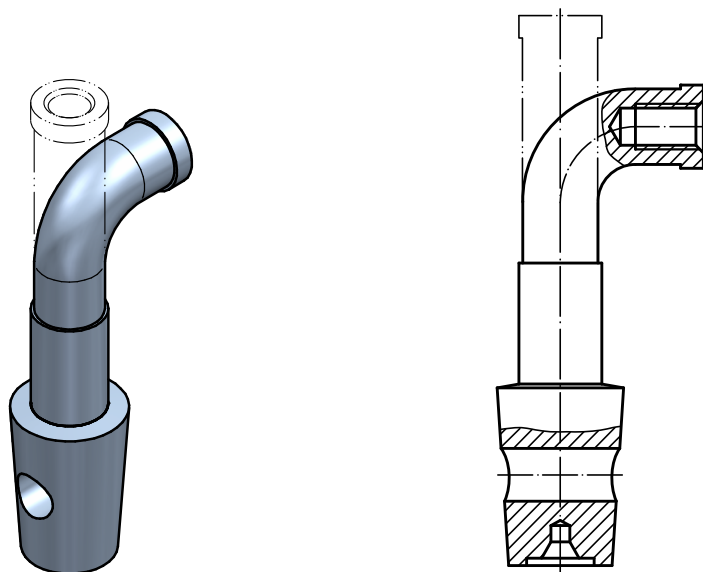
### 21.4.10 LÄHTEKONTUUR JA MURDEJOOINED PINNALAOTUSEL

Kui õhukesest materjalist toote joonisel on vaja näidata eseme esialgne kontuur enne painutamist, siis see joonestatakse kitsa pikk-kriipskakspunktjoonega (joonis 4.36.a). Tööjoonisele lisatakse ka toote pinnalaotus koos murde- ehk painutusjoontega. Need kujutatakse kitsa pidevjoonega (joonis 4.36.b).



Joonis 4.36. Eseme joonis koos esialgse kontuuriga ja pinnalaotus painutusjoontega.

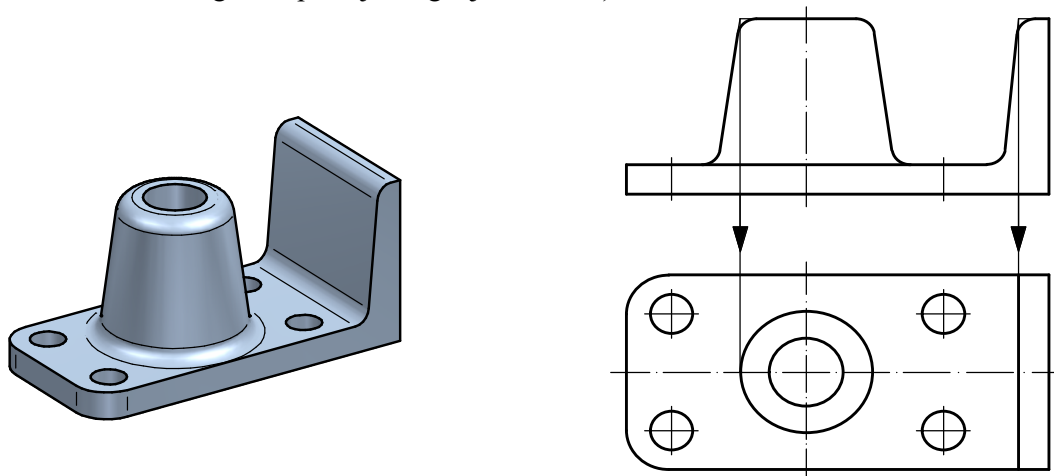
Kraani korgi joonis koos esialgse kujuga enne painutamist on kujutatud joonisel 4.37.



**Joonis 4.37.** Painutatud detail koos esialgse kontuuriga.

#### 21.4.11 VÄIKESTE KALLETE JA KOONILISUSTE KUJUTAMINE

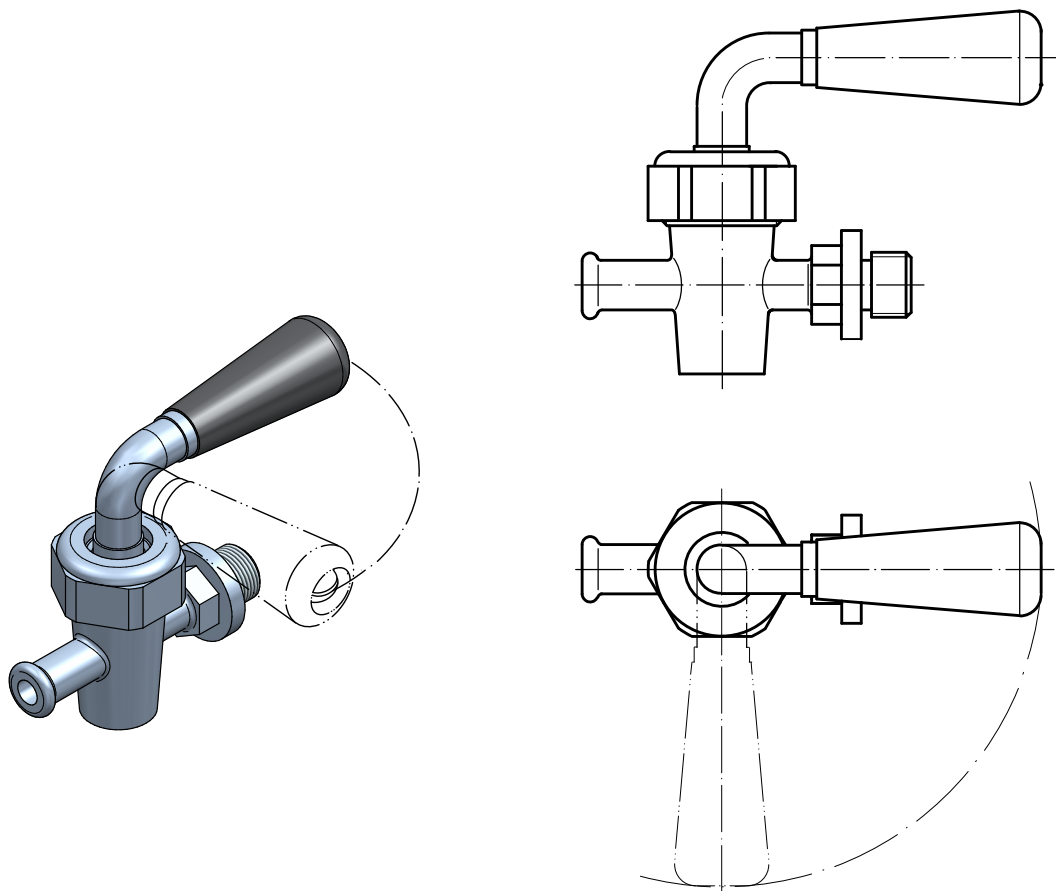
Kui esemel on vähemärgatavaid kaldeid, koonilisusi või püramiidseid kujumuutusi, siis ei pea vaateid joonestama projektsioonilises vastavuses. Need elemendid joonestatakse kujumuutliku koha väiksemale mõõtmele vastava kontuuriga laia pidevjoonega (joonis 4.38).



**Joonis 4.38.** Väikeste kallete ja koonilisuse tinglik kujutamine.

#### 21.4.12 LIIKUVAD OSAD

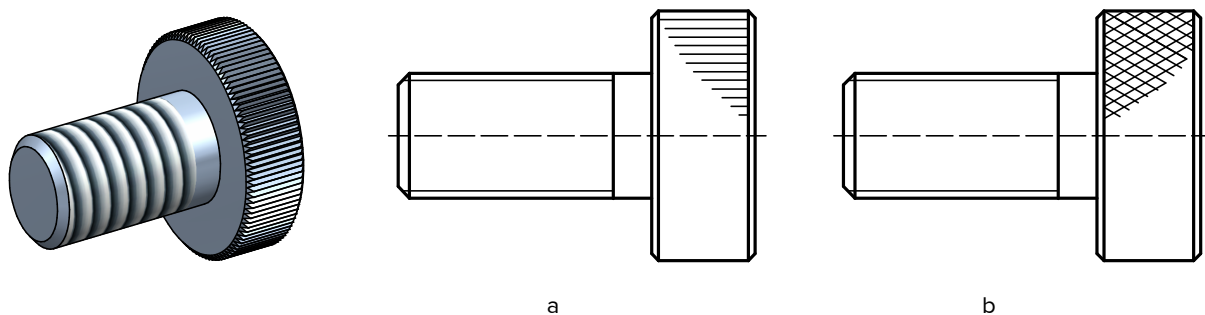
Kui koostul on liikuvaid detaile, siis saab koostejoonisel näidata nende osade piirasendeid ja liikumisulatust. Liikuvad osad joonestatakse piirasendis välja kitsa pikk-kriipskakspunktjoonega. Joonisel 4.39 on kujutatud kraani käepideme liikumise trajektor.



**Joonis 4.39.** Liikuvate osade kujutamine.

### 21.4.13 RIHVELDUS

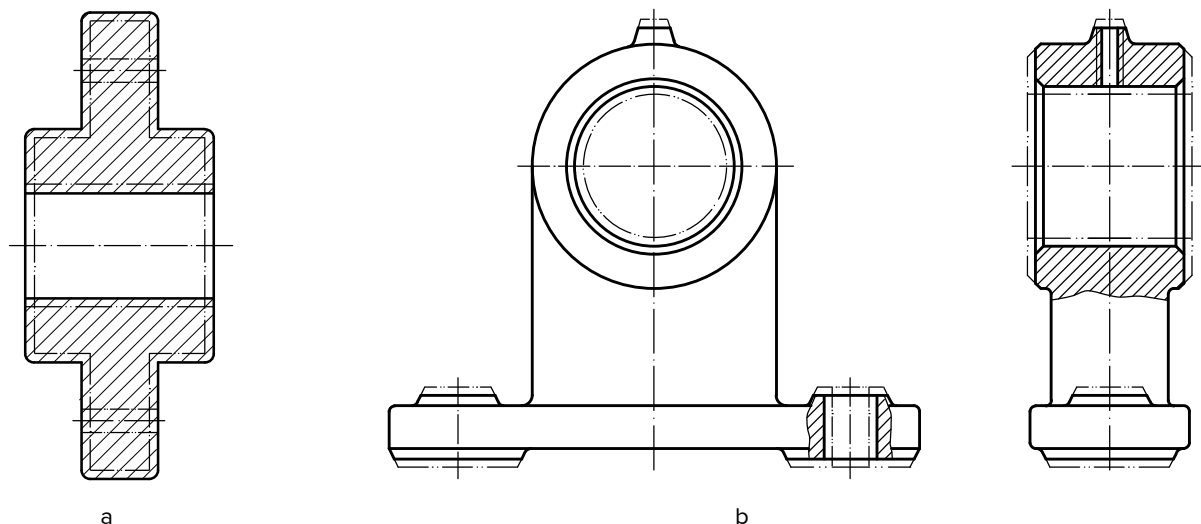
Pinna struktuur (näiteks rihveldus) kujutatakse laia pidevjoonega. See võib olla kujutatud kas täielikult või osaliselt (joonis 4.40).



**Joonis 4.40.** Rihvelduse kujutamine joonisel: a – joonrihveldus, b – võrkrihveldus.

### 21.4.14 TOORIKUTE JA DETAILIDE JOONISED

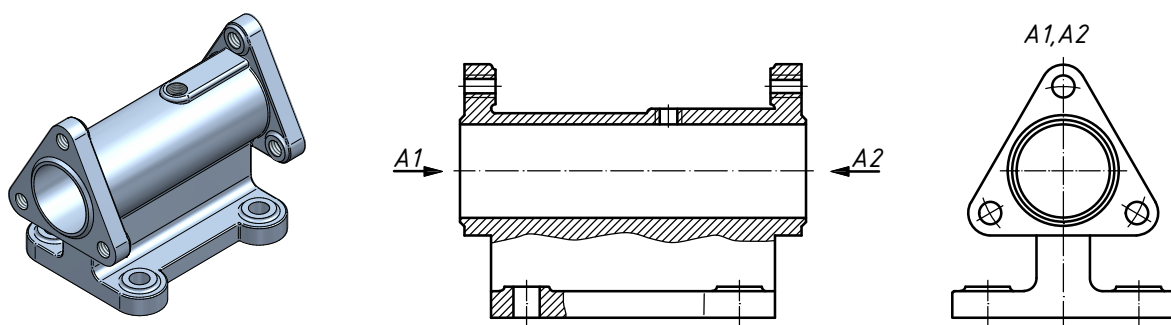
Toote tooriku joonisel võib näidata selle detaili lõplikku kujutist (joonis 4.41.a). Detaili tööjoonisel võib näidata tooriku kujutist (joonis 4.41.b). Need pinnad, mida ei töödelda, jäetakse märkimata. Nii valmis detaili kuju tooriku peal kui ka tooriku kuju tööjoonisel joonestatakse kitsas pikk-kriipskaks punktjoonega.



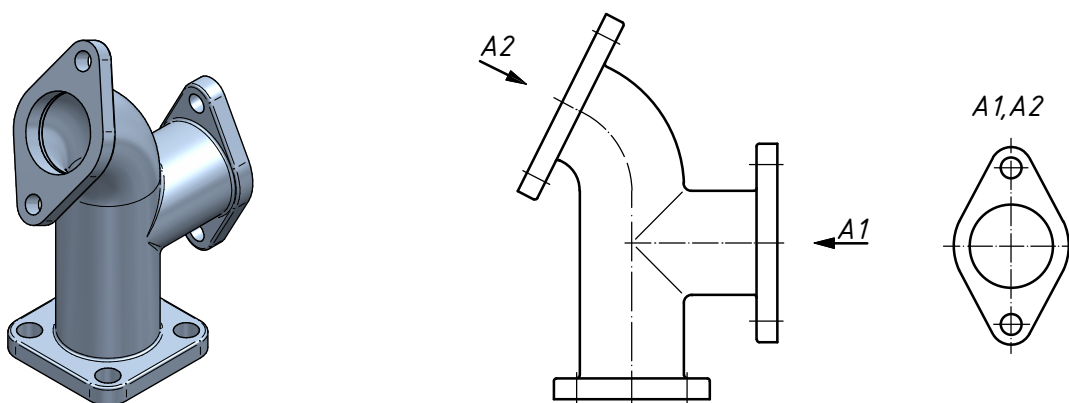
**Joonis 4.41.** Detaili kuju toorikul (a) ja tooriku kuju detaili tööjoonisel (b).

#### 21.4.15 MITME IDENTSE VAATEGA DETAILID

Kui objektil on mitu identset vaadet, siis piisab ainult ühe vaate kujutamisest. Vaate suunad näidatakse viitenoolte abil ja tähistatakse suurtähtede või numbritega või mõlemaga. Joonisel 4.42 on näidatud kahe identse vaate kujutamine ja joonisel 4.43 kahe identse kohtvaate kujutamine.



**Joonis 4.42.** Kaks identset vaadet.



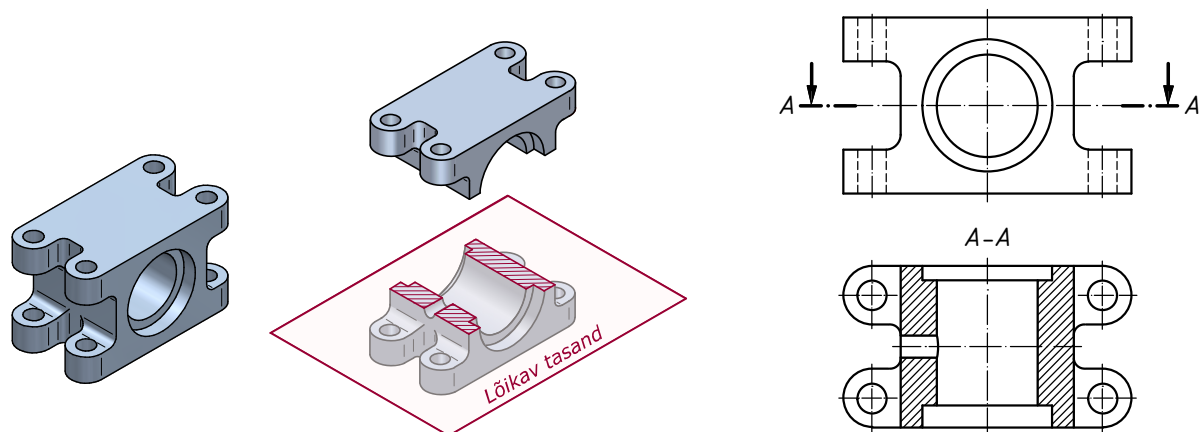
**Joonis 4.43.** Kaks identset kohtvaadet.

## 21.5 LÕIGETE KUJUTAMINE JOONISTEL

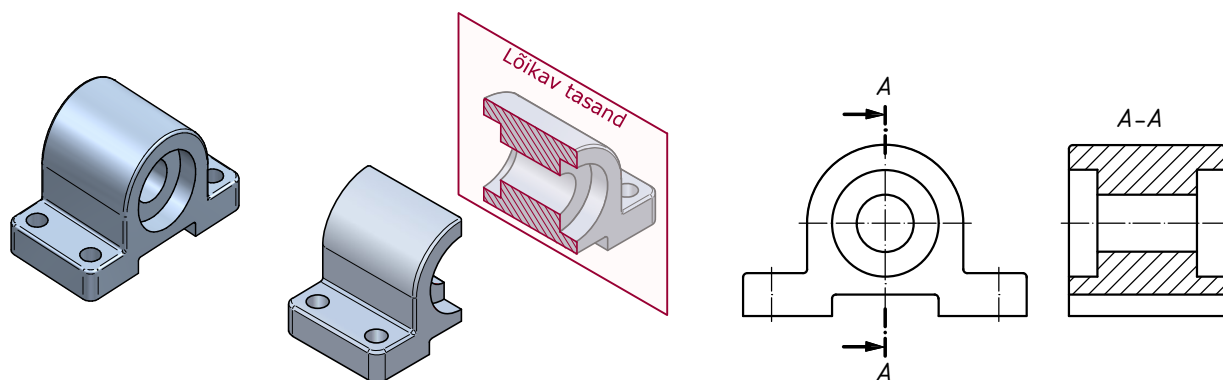
### 21.5.1 LÕIKED ÜHE TASANDIGA

Lõikeid ühe tasandiga nimetatakse lihtlõigeteks. Sõltuvalt lõiketasandi asendist põhiekraani suhtes võib saada horisontaal- (joonis 4.44), vertikaal- (joonis 4.45) või kaldlõike (joonis 4.46).

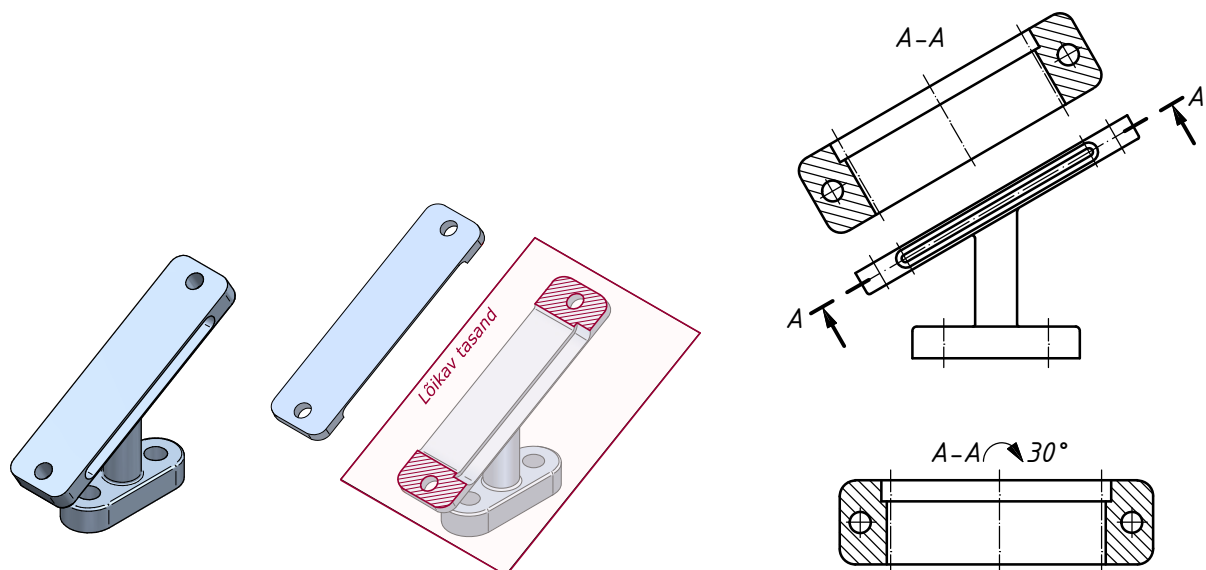
Lõigete kujutamisel ei lõigata pikema telje sihis võlle, kinnitusdetalle, tugevdusribisid, kodaraid, liiste, tihvte, hammasrataste hambaid, veerelaagrite kuule, rulle jne. Kui nimetatud detaile läbib lõiketasand, siis neid ei viirutata. Kui loetletud detailides on ava, siis see näidatakse kohtlõikega.



Joonis 4.44. Horisontaallõige ühe tasandiga.



Joonis 4.45. Vertikaallõige ühe tasandiga.

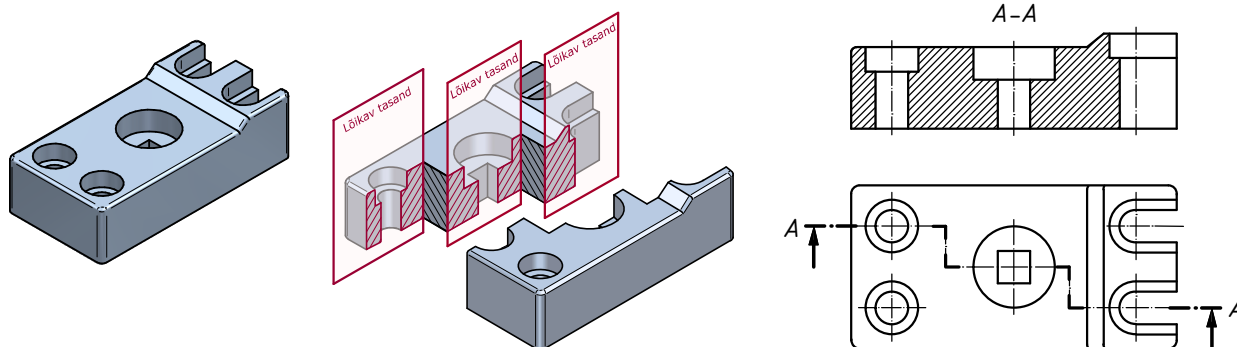


Joonis 4.46. Kaldlõige ühe tasandiga.

### 21.5.2 LÕIKED MITME TASANDIGA

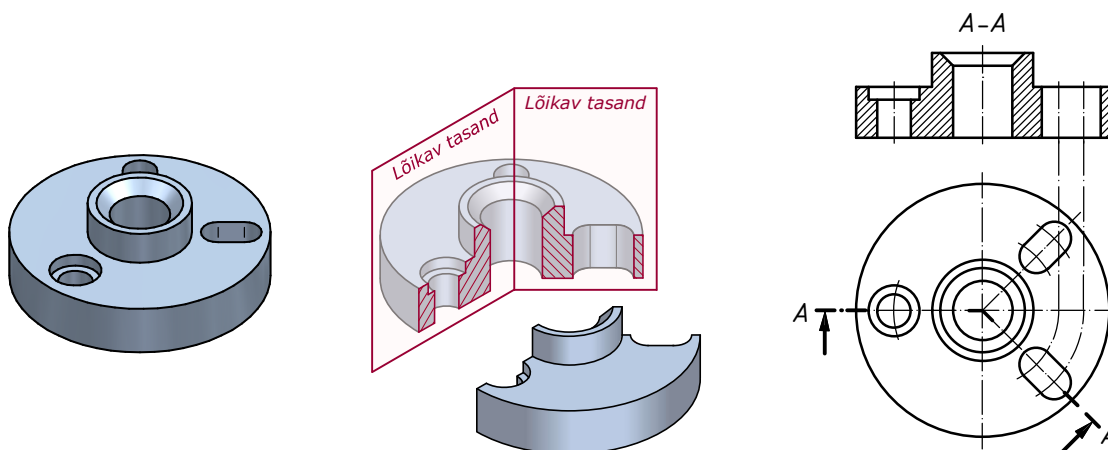
Liitlõiked saadakse, kui objekti lõigatakse kahe või enam tasandiga. Neid lõikeid saab kujutada kas astmelise või murdlõikena. Lõikava pinna kulgemise muutus tuleb ära näidata jämedate kriipsudega, astmelisel lõikel astmete koht ja murdlõikel murdekoht.

**Astmelisel lõikel** on eset läbivad lõiketasandid üksteisega paralleelsed ja lõikepind kulgeb astmeliselt. Kõikidele astmetele langevaid elemente kujutatakse ühel tasapinnal asuvatena, astmete vahejooni välja ei joonestata (joonis 4.47).

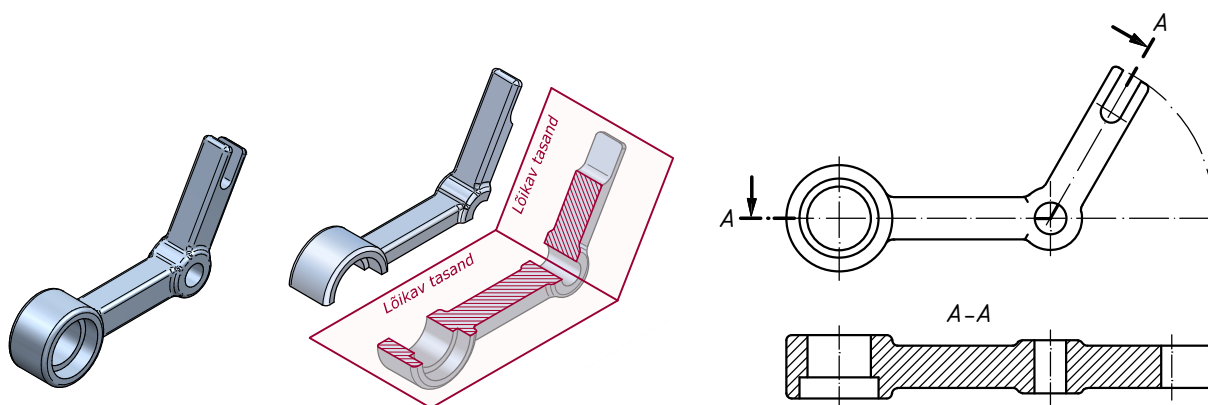


**Joonis 4.47.** Kolme paralleelse tasandiga tehtud astmeline lõige.

**Murdlõike** puhul lõikepinnad lõikuvad omavahel mingi nurga all. Nad asetatakse läbi detaili sümmeetriliste elementide telgjoonte. Murdlõikel pööratakse lõikepinnad mõtteliselt ühele tasandile. Pööramise suund ei pruugi kokku langeda vaatesuunaga. Joonistel 4.48 ja 4.49 on toodud murdlõike näited.



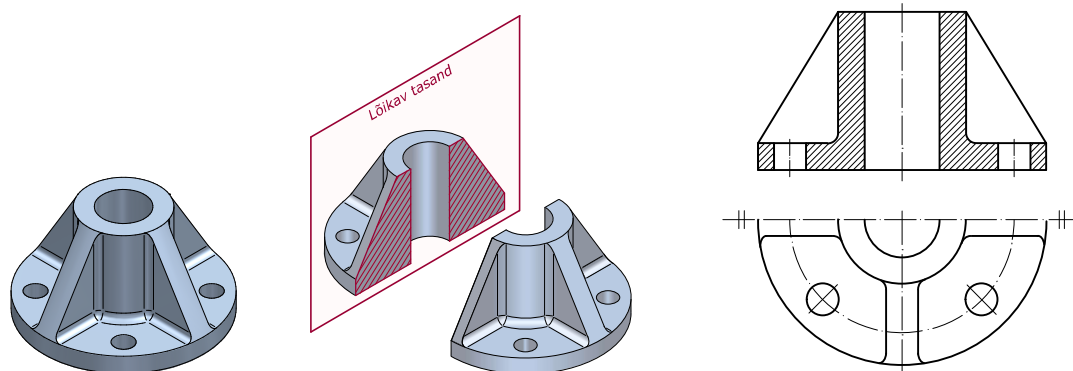
**Joonis 4.48.** Murdlõige kahe teineteise suhtes nurga all oleva vertikaalse tasandiga.



**Joonis 4.49.** Murdlõige kahe teineteise suhtes nurga all oleva horisontaalse ja kaldtasandiga.

### 21.5.3 LÕIKETASANDILE PÖÖRATUD ELEMENTID

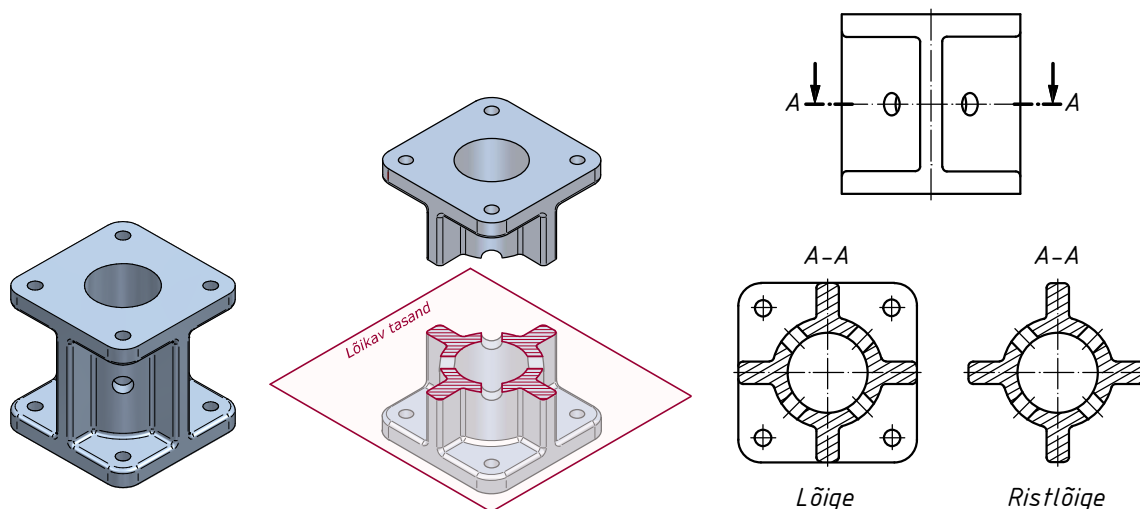
Kui pöördpinnakujulised detailid sisaldavad ühtlaselt asetsevaid elemente ja need elemendid ei satu detaili lõikamisel läbilõikepinnale, siis võib neid pööramisega sinna viia tingimusel, et joonise lugemisel ei teki ebaselgust. Lisatähistamist ei ole vaja. Näiteks võib tuua jaotusringjoonel paiknevate avade pööramise lõikepinnale (joonis 4.50). Kui lõikepinna asend on ilmne ja lõige ise üheselt mõistetav, siis lõiget ei tähistata ega pealkirjastata.



Joonis 4.50. Lõiketaseandile pööratud elemendid.

### 21.5.4 RISTLÕIKED

Ristlõike joonisel kujutatakse üldjuhul ainult lõikavale tasapinnale jäävaid detaili elemente. Kontuure ja servajooni, mis asuvad lõiketaseandist tagapool, üldiselt ei näidata, aga kui nende kujutamine lisab joonisest arusaamisele selgust, siis on soovitatav neid näidata. Kui lõikepind läbib sellise ava või süvendi telgjoont, mis on pöördpind, siis tuleb ristlõikes kujutada selle lõikepinna taha vaatesse jääva pöördpinna kontuurid. Ristlõige ja lõige pealkirjastatakse ühtemoodi. Joonisel 4.51 on nii lõike kui ka ristlõike näide.

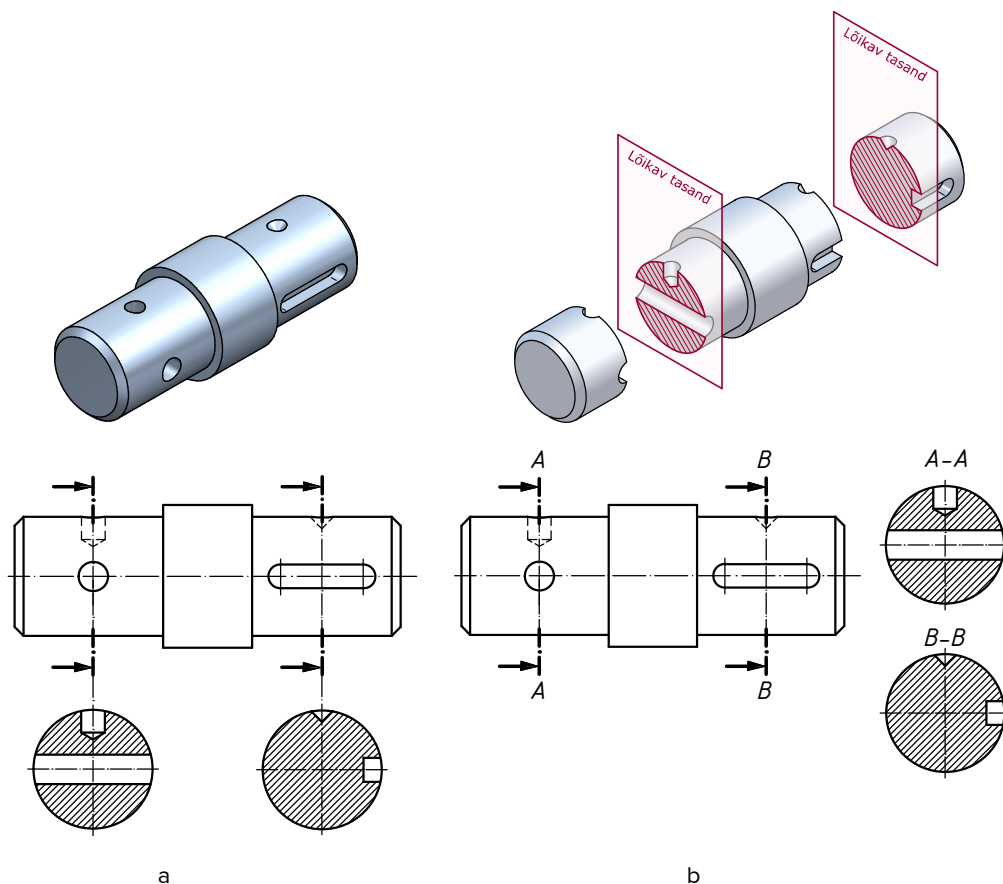


Joonis 4.51. Lõige ja ristlõige.

Ristlõikeid võib esitada kahel viisil:

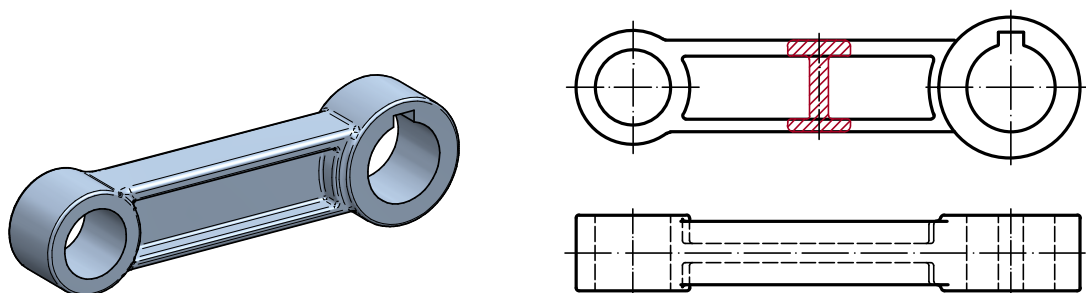
- väljatoodud ristlõige;
- pealejoonestatud ristlõige.

**Väljatoodud ristlõike** kujutis joonestatakse pideva laijoonega. Kui kujutis joonestatakse lähtekujutise vahetusse lähedusse ja seotakse sellega kitsa kriipspunktjoone abil, siis väljatoodud ristlõiget ei tähistata, kuid viitenooltega tuleb näidata vaate suund (joonis 4.52.a). Muudel juhtudel väljatoodud ristlõiked tähistatakse ja pealkirjastatakse ning paigutatakse joonise vabale pinnale (joonis 4.52.b).

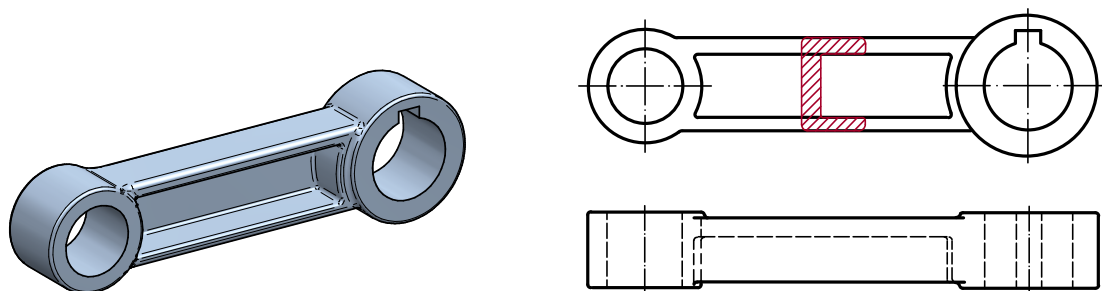


**Joonis 4.52.** Väljatoodud ristlõiked.

**Pealejoonestatud ristlõige** joonestatakse kitsa pidevjoonega detaili vaate peale selle detaili kontuure katkestamata (joonis 4.53 ja joonis 4.54). Ristlõike kuju selgitamiseks on mõlema joonise pealtvaatel näidatud varjatud kontuurid. Pealejoonestatud ristlõiget ei tähistata. Ebasümmeetrilise ristlõike korral võib joonise parema loetavuse seisukohalt näidata viitenoollega (vt väljatoodud ristlõige) vaate suunda.



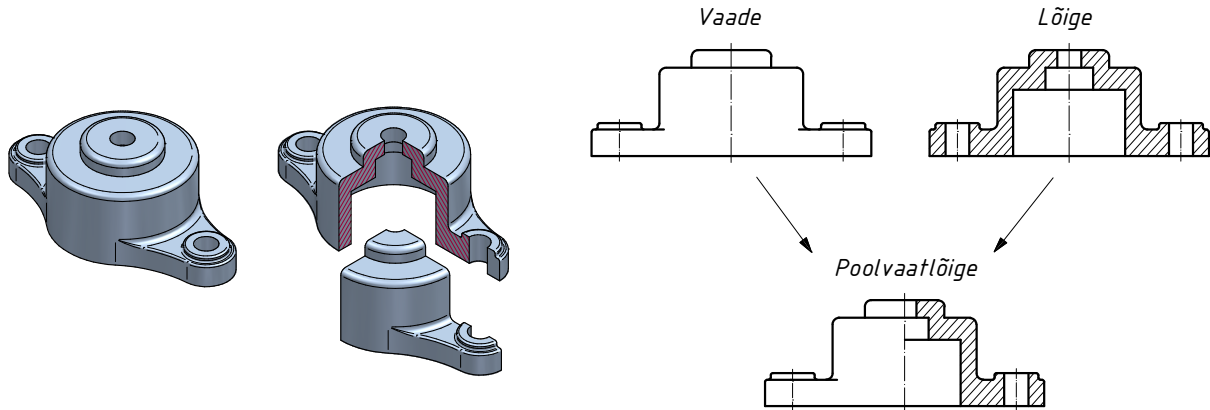
**Joonis 4.53.** Pealejoonestatud sümmeetriline ristlõige.



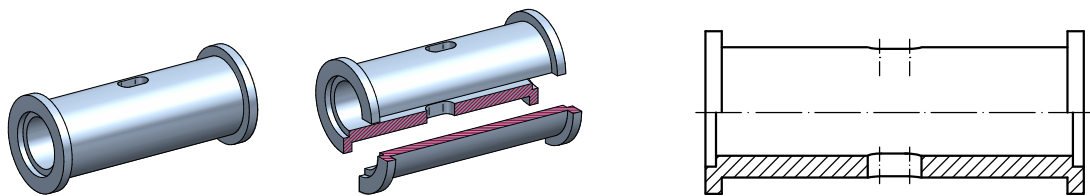
**Joonis 4.54.** Pealejoonestatud ebasümmeetriline ristlõige.

### 21.5.5 POOLVAATLÕIKED

**Poolvaatlõiked** on tehakse ühe tasapinnaga. Eset ei lõigata terves ulatuses läbi, vaid ainult teatud osas. Lõigatud osa joonestatakse kokku lõikamata jäänud vaateosaga. Poolvaatlõige joonestatakse ainult sümmeetrilistest kehadest. Vaate ja lõike osa eraldusjooneks on sümmeetriatelg. Poolvaatlõiget ei tähistata. Sümmeetriliste detailide poolvaatlõike korral joonestatakse vaade üldiselt vertikaalsest telgjoonest vasakule poole (joonis 4.55) ja horisontaalsest telgjoonest ülespoole (joonis 4.56).



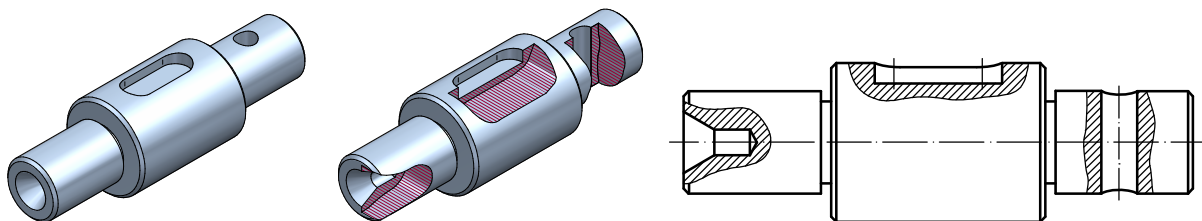
Joonis 4.55. Poolvaatlõige.



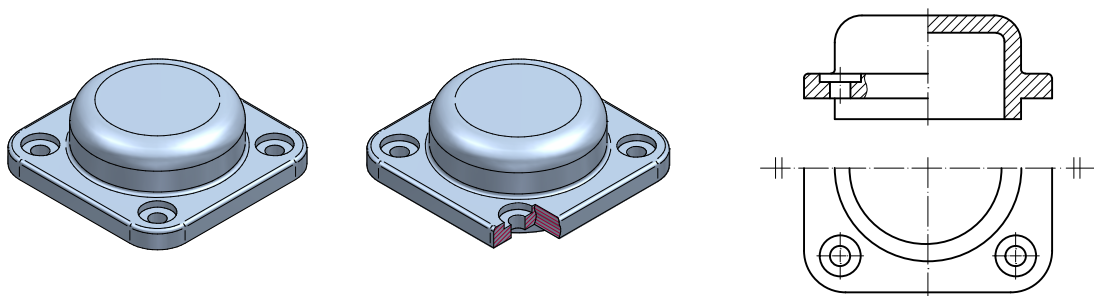
Joonis 4.56. Poolvaatlõige.

### 21.5.6 KOHTLÕIGE

**Kohtlõiget** kasutatakse eseme sisemise ehituse näitamiseks kitsalt piiratud kohas. Kohtlõige eraldatakse vaateosast kas kitsa vabakäe-pidevjoone või kitsa siksak-pidevjoone abil. Kohtlõiget ei tähistata (joonised 4.57 ja 4.58). Kohtlõike kasutuse näiteid on veel joonistel 4.24; 4.25; 4.26; 4.31; 4.33 ja 4.37.



Joonis 4.57. Kohtlõiked.



Joonis 4.58. Kohtlõige.

## 22 EHITUSJOONISTE VORMISTAMISE ÜLDISED EESKIRJAD

Standard EVS-EN ISO 9431 määrab kindlaks nõuded ehitusjoonistel jooniste, teksti ja kirjanurga paigutuse kohta. Standardis EVS-EN ISO 128-3 on sätestatud üldised eeskirjad vaadete ja lõigete tähistamiseks ning teksti paigutamiseks ehitusjoonistel.

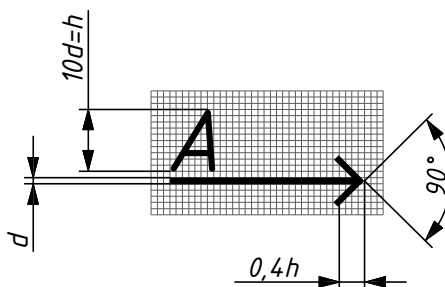
Joonise pind jaguneb peamiselt järgmiselt:

- joonise ehk kujutise ala;
- teksti ala;
- kirjanurk (EVS-EN ISO 7200).

Kujutised on soovitatav paigutada horisontaalsetesse ridadesse ja vertikaalsetesse veergudesse. Kui peakujutis on määratletud, paigutatakse see joonise või jooniste rühma vasakusse ülemisse ossa. Kujutiste paigutamisel joonise pinnale tuleb arvestada formaadiks A4 kokku voltimisega, et jooned ei satuks murdekohtadesse.

### 22.1 TÄHISTUS

Vaate suund näidatakse joonisel viitenoollega, mis on kujutatud joonisel 4.59.



**Joonis 4.59.** Ehitusjoonistel vaate suuna näitamiseks kasutatav viitenool.

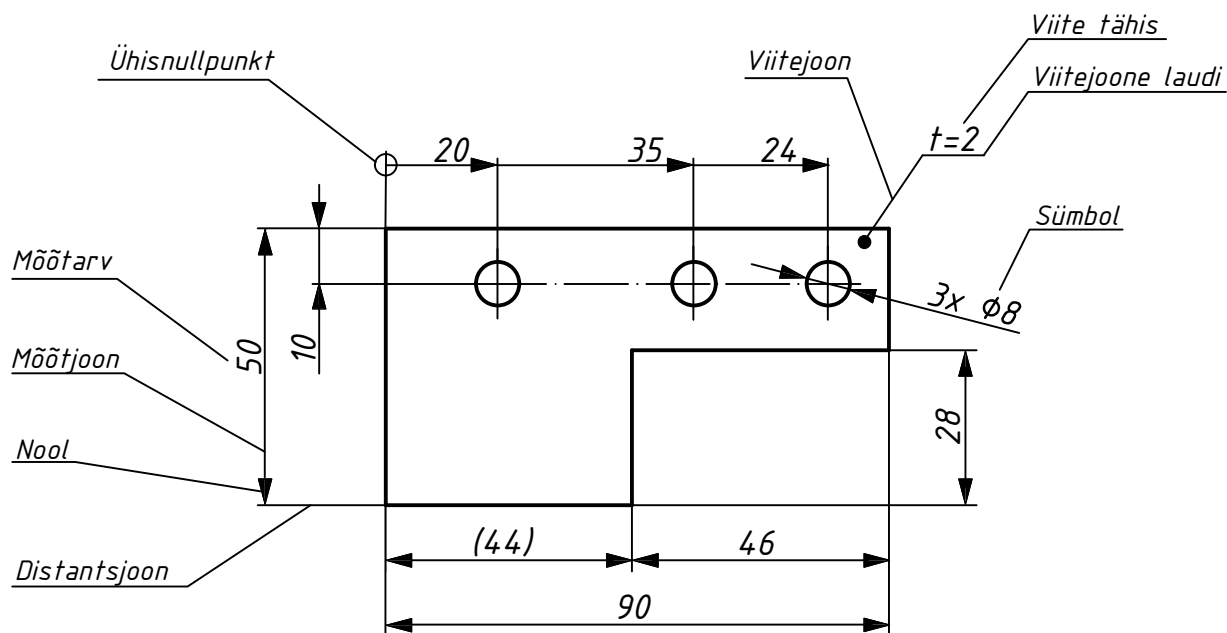
## 23 JOONISE MÕÕTMESTAMINE

Standard EVS-EN ISO 129-1 määrab mõõtmete esitamise ehk mõõtmestamise üldpõhimõtted, mis kehtivad kõikides valdkondades. Kogu detaili geomeetrilise kuju määramiseks vajalik informatsioon tuleb esitada vahetult joonisel. Kujutatud objekti ja selle üksikute osade tegelikust suurusest annavad ülevaate joonisele kantavad mõõtmed sõltumata sellest, missuguses mõõtkavas on joonis teostatud.

### 23.1 MÕÕTMESTAMISE ELEMENDID

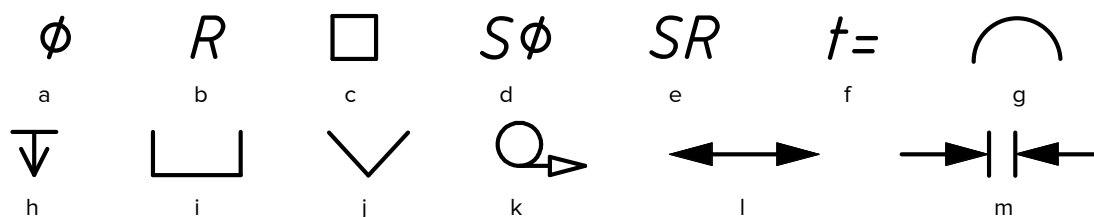
Joonistel kasutatavad mõõtmestamise elemendid on (joonis 4.60):

- sümbolid;
- distantssjooned;
- mõõdtjooned;
- mõõdtjoone otsad (nooled, kaldkriipsud);
- mõõdtarvud;
- ühisnullpunktid;
- viitejooned;
- viitejoonte laudid ehk riulid;
- viidete tähised.



Joonis 4.60. Mõõtmestamise elemendid.

**Sümbolid.** Joonistel kasutatakse objekti kuju või mõõtme tüübi kirjeldamiseks graafilisi sümboleid (joonis 4.61). Sümbolid esitatakse mõõtarvu ees ilma tühikuta. Graafilisi sümboleid ei ole vaja joonmõõtmete ja nurkmõõtmete märkimiseks.

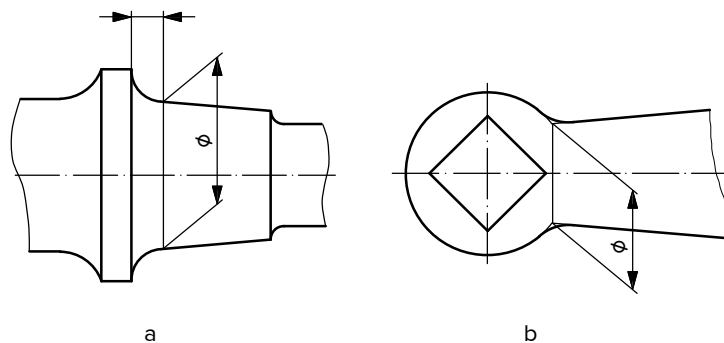


**Joonis 4.61.** Joonistel kasutatavad graafilised sümbolid: a – läbimõõt: ringjoone või pöördkeha läbimõõdu kirjeldamiseks; b – raadius: ringjoone või pöördkeha raadiuse kirjeldamiseks; c – ruut: ruudukujulise ristlõike külje pikkuse kirjeldamiseks; d – sfääri läbimõõt: sfäärilise pinna läbimõõdu kirjeldamiseks; e – sfääri raadius: sfäärilise pinna raadiuse kirjeldamiseks; f – paksus: õhukeste objektide paksuse kirjeldamiseks; g – kaare pikkus: kaare pikkuse kirjeldamiseks; h – sügavus: ava sügavuse kirjeldamiseks; i – silindriline süvis: silindrilise süvise läbimõõdu ja sügavuse kirjeldamiseks; j – kooniline süvis: koonilise süvise läbimõõdu ja nurga kirjeldamiseks; k – pinnalaotus: objekti pikkuse kirjeldamiseks enne painutamist; l – vahemik: piiratud ala ulatuse kirjeldamiseks. Kasutatakse koos viitetähistega; m – pinna tähis: õhukeseseinaliste detailide mõõdetava pinna märkimiseks.

**Distsantsjoon.** Distsantsjooned on objekti kontuur- või tsentrijoone pikendus ja joonestatakse kitsa pidevjoonega. Need tuleb tõmmata mõõtmestatava elemendi suhtes risti, nende suund ei tohi olla paralleelne viirutsjoonte suunaga. Vajaduse korral võib kontuur- ja tsentrijoont kasutada distantsjoonena. Distsantsjoonte ulatus üle seotud mõõtjoone peab olema ligikaudu võrdne kaheksakordse joone laiusega. Distsantsjooni võib vajaduse korral katkestada, kui nende jätku koht on üheselt mõistetav.

Üldiselt algab distantsjoon mõõdetavast elemendist, kuid on lubatud kaheksakordne joone laiuse vahe. Elementide mõõtmestamiseks, kus distantsjooned kulgeksid pikas ulatuses kontuuride läheduses, lubatakse need joonestada kaldu, kuid need peavad olema teineteisega paralleelsed (joonis 4.62. a ja b). Mõõdetav lõik, distantsjooned ja mõõtjoon peavad moodustama rõõpküliku.

Üleminekute ja lõikuvate kontuuridega elementide mõõtmestamisel pikendatakse kontuurjooni. Pikendusjooned peavad ületama lõikepunkti kaheksakordse joone laiuse võrra. Distsantsjooned tõmmatakse pikendusjoonte lõikepunktist. Kui ringikujuline mõõdetav objekt ei ole täisringjoon, siis distantsjoon joonestatakse objekti kuju jätkule (joonis 4.86.c Ø80). Nurga mõõtmestamisel lähtuvad distantsjooned mõõdetava nurga tipust.



**Joonis 4.62.** Distsantsjoonte kujutamine.

Korduvate elementide korral võib joonestada distantsjooned kas igale elemendile eraldi (joonis 4.99.a), kõigile elementidele ühisena (joonis 4.99.b) või ühele elemendile, lisades mõõdule korduste arvu (joonis 4.99.c).

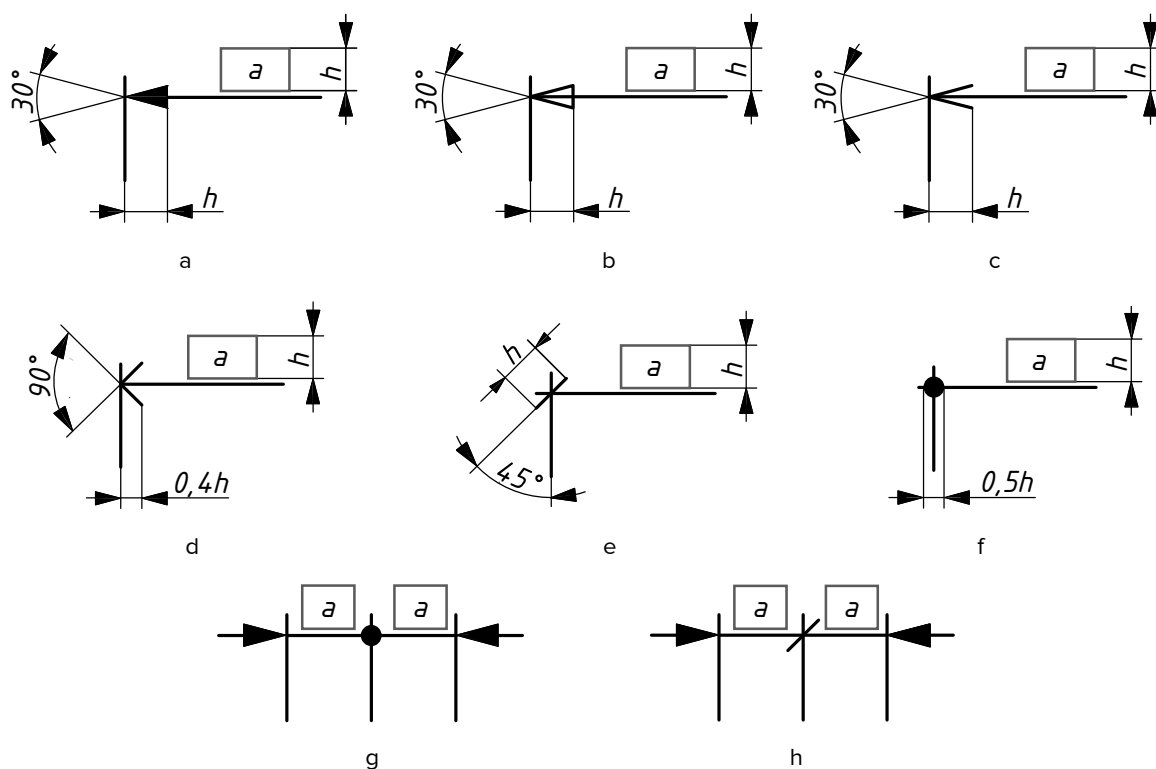
**Mõõtjoon.** Mõõtjooned joonestatakse kitsa pidevjoonega. Mõõtjoon tõmmatakse mõõdetava lõigu suhtes paralleelselt. Mõõtjoon ei tohi olla kontuurjoone ega mõne muu joone pikenduseks. Kui mõõdetav lõik on lühike, võib mõõtjoont pikendada distantsjoonest kaugemale (joonis 4.60 mõõt 10).

Nurgamõõtme joonisele kandmiseks tõmmatakse mõõtjoon kaarekujulisena.

Mõõtjoonte lõikumist omavahel ja distantsjoonega tuleb võimaluse korral vältida. Kui lõikumine on vältimatu, tuleb need näidata katkematult. Lühemad mõõtjooned paigutatakse kujutisele ligemale, pikemad aga järk-järgult kaugemale.

Kui joonisel on kujutatud sümmeetriline või katkestatud ese, võib tõmmata ühe noolega mõõtjoone, aga mitte täies ulatuses. See peab ulatuma sümmeetriateljest või detaili katkestusjoonest kaugemale. Katkestatud objektide kujutistel näidatakse mõõtjooni katkestamatult (joonis 4.95.b).

**Mõõtjoone otsad.** Joonistel kasutatavad mõõtjoone otsad koos mõõtmatega standardi EVS-EN ISO 129-1 järgi on toodud joonisel 4.63.



**Joonis 4.63.** Mõõtjoone otsad. Tähised:  $a$  – kirjapind;  $h$  – kirja kõrgus.

Mõõtjoone otsi võib kujutada järgmiselt:

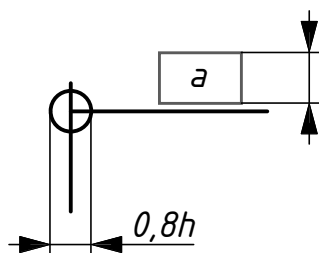
- suletud 30° nool, seest täidetud (joonis 4.63.a);
- suletud 30° nool, seest tühi (joonis 4.63.b);
- avatud 30° nool (joonis 4.63.c);
- avatud 90° nool (joonis 4.63.d);
- kaldkriips (joonis 4.63.e);
- punkt (joonis 4.63.f);
- punkt noolte vahel (joonis 4.63.g);
- kaldkriips noolte vahe (joonis 4.63.h).

Ühel joonisel või komplektil kasutatakse ainult ühte tüüpi nooleotsi. Joonisel 4.63.c ja d kujutatud nooleotsi masinaehituse joonistel ei kasutata.

Mõõtjoone nooljad otsad toetuvad risti vastu distant- ja kontuurjooni. Üldiselt peavad nooled olema distant-joonte vahel. Ruumipuudusel võib mõõtjoone otste kujutamiseks kasutada järgmisi võimalusi:

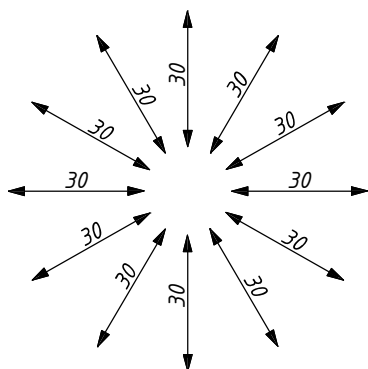
- nihutada nooled väljaspoole distant-jooni pikendatud mõõtjoontele;
- nooled asendada kas punktide või kaldkriipsudega (joonis 4.63.g ja h);
- asendada kõrvaloleva mõõtjoone noolega;
- viitejoone abil.

**Ühisnullpunkt.** Nullpunkti kasutatakse joonistel kas järjestikuseks mõõtmestamiseks või koordinaat-süsteemi nullpunkti koordinaatide mõõtmestamiseks. Joonisel 4.64 on kujutatud ühisnullpunkt koos mõõtme-tega. Nullpunkt märgitakse joonisel mõõtejoonele sinna, kus konkreetne mõõt või mitu mõõtu algavad.

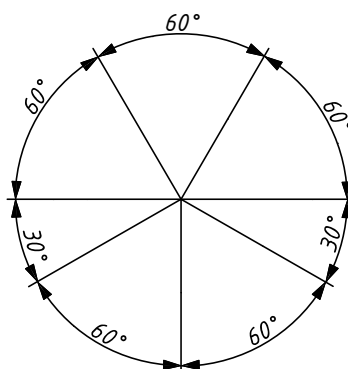


Joonis 4.64. Ühisnullpunkt.

**Mõõtarvud.** Mõõtarvud, mis kantakse joonisele, peavad vastama standardile EVS-EN ISO 3098 ja olema kogu joonise ulatuses ühesuguse kõrgusega. Kirja kõrguseks võetakse 10-kordne kitsa joone laius. Mõõtarvud kirjutatakse mõõtjoonte kohale võimalikult nende keskkoha lähedale, suunaga vasakult paremale või alt üles (joonis 4.65). Vahe mõõtjoone ja mõõtarvu vahel peab olema vähemalt kaks korda suurem kui joone laius. Ükski joon ei tohi ületada mõõtarvu ega eraldada seda tema ees seisvast kujumärgist. Telg- ja viirutusjooned mõõtarvu kohal katkestatakse. Joonmõõtmel kirjutatakse sõltuvalt mõõtjoone asendist vastavalt joonisele 4.65. Nurgamõõtmel asetatakse mõõtjoone kohale ja kohaldatakse samu reegleid, mis joonmõõtmel korral. Nurgamõõtmel asetused on näidatud joonisel 4.66.



Joonis 4.65. Joonmõõtmel paigutus.

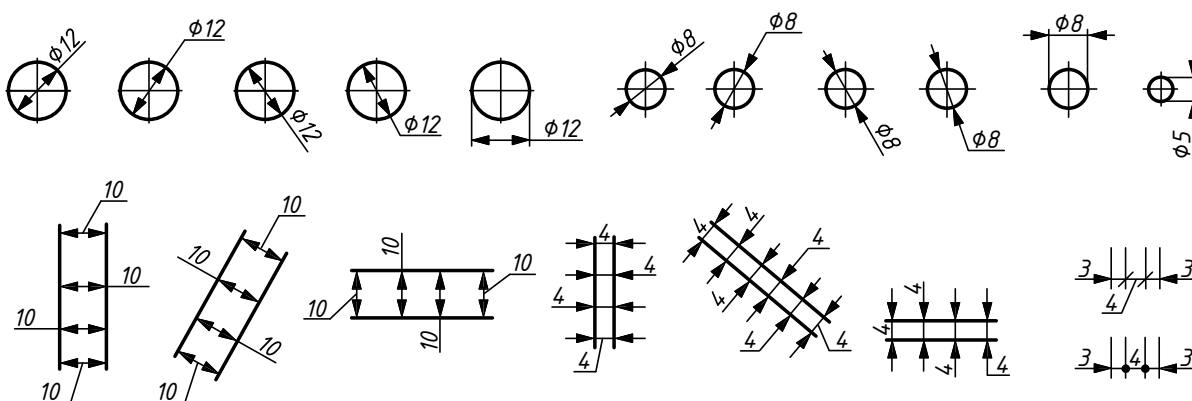


Joonis 4.66. Nurgamõõtmel paigutus.

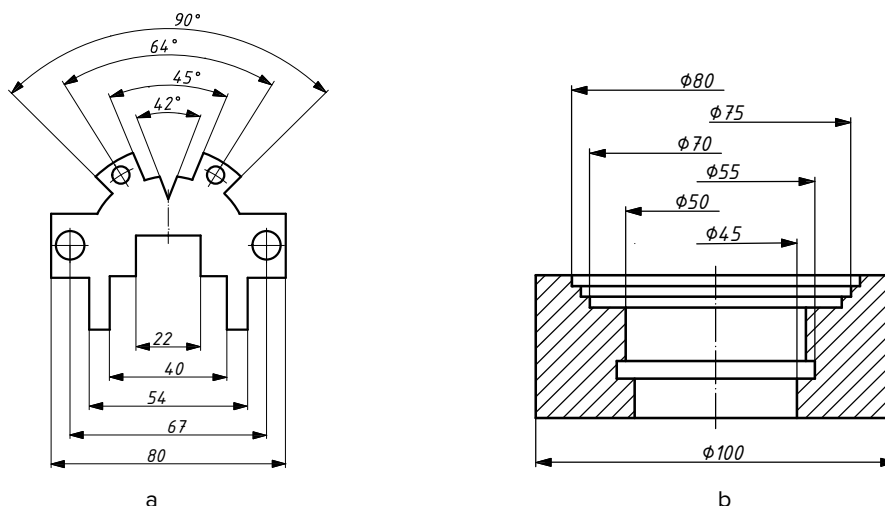
Mõõtmete kandmisel joonisele tuleb arvestada asukoha tingimustega, kuhu mõõde paigutatakse:

- kui ruum on piiratud, siis asetatakse mõõtmed mõõtjoone pikendusele;
- kui mõõtjoon on mõõtmete paigutamiseks liiga lühike, siis kantakse need viitejoone laudile, mis on ühendatud mõõtjoone külge viitejoonega;
- mõõtjoont või viitejoont võib pikendada ja lisada horisontaalne viitejoone laudi. See võimaldab mõõtmed paigutada horisontaalselt viitejoone laudile;
- järjestikuse mõõtmestamise korral paigutatakse mõõtarvud noolte lähedale;
- diameetrite määramisel võib kasutada osa mõõtejoonest ühe noolega (joonis 4.68.b);
- mitme paralleelse mõõtjoone puhul paigutatakse mõõtarvud malekorras (joonis 4.68);
- kui on palju paralleelseid mõõtmekaid, siis võib joonise loetavuse parandamiseks distantsjooned ja mõõtjooned paigutada astmeliselt (joonis 4.68.b).

Joonisel 4.67 on toodud näiteid mõõtarvude ja mõõtjoone otste paigutuse kohta mõõtmestamisel ruumipuuduse korral.



**Joonis 4.67.** Mõõtmestamise näiteid ruumipuuduse korral.



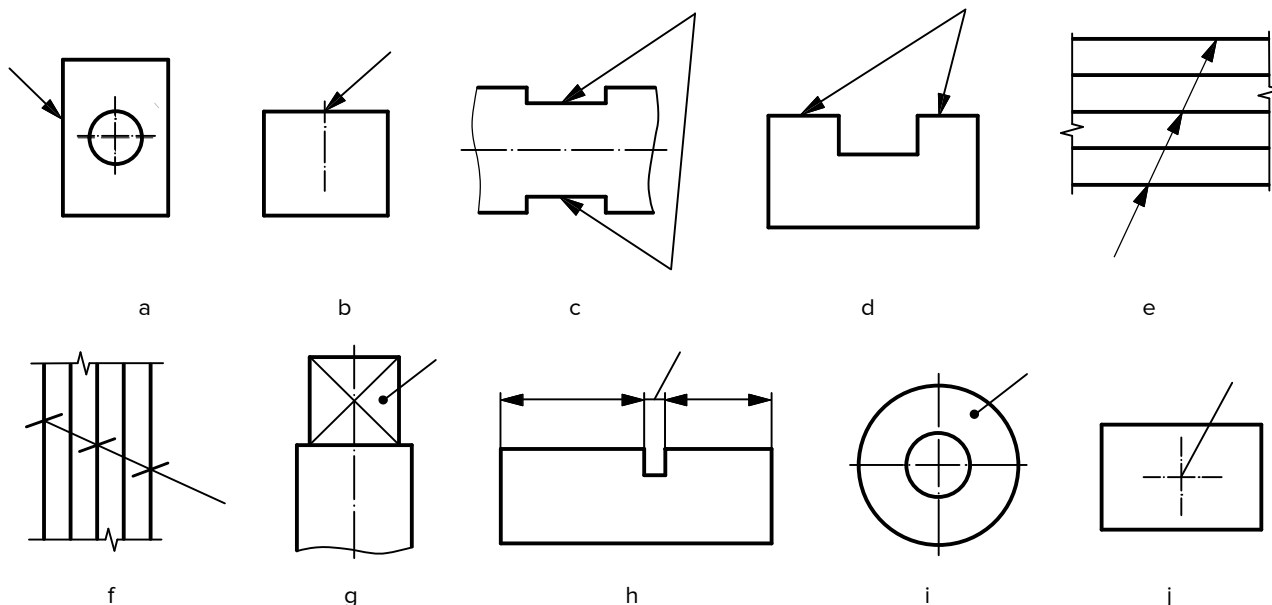
**Joonis 4.68.** Paralleelsete mõõtmete kandmine joonisele.

**Viitejooned.** Viitejooni kasutatakse objekti teatud elemendile osutamiseks. Viitejooned joonestatakse kitsa pidevjoontega. Viitejoonte joonestamisel peab arvestama järgmiste oluliste reeglitega:

- viitejoon tõmmatakse joonestatud kujutise ja joonestuslehe raamjoone suhtes nurga all (joonis 4.69.a–j);
- viitejoon ei tohi olla paralleelne lähedal asuvate joontega (nt viirutusjoontega), kalle peab olema nende joonte suhtes  $> 15^\circ$ ;
- mitu viitejoont võivad alata ühest punktist (joonis 4.69.c, d, e, f);
- viitejooned ei tohi omavahel lõikuda.

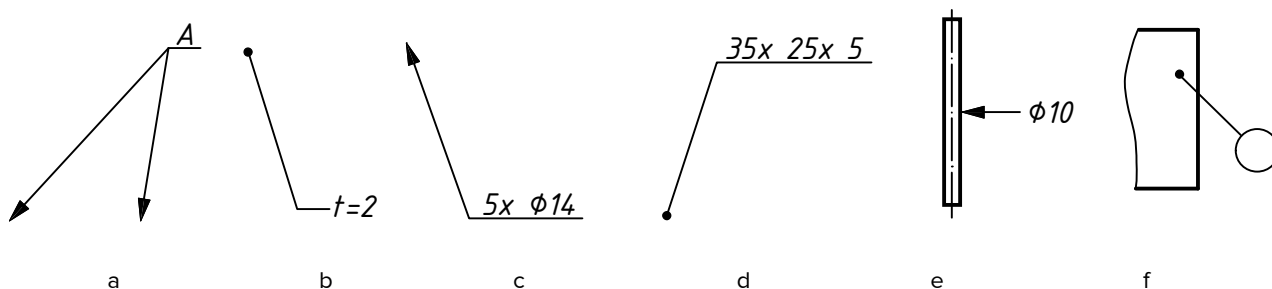
**Viitejoonte otsad** võivad objekti kujutisel olla järgmised:

- nooled, kui viitejoon lõpeb joonel, mis kujutab objekti piirjoont või objekti piirjoone ja telgjoone lõikepunktis (joonis 4.69.a, b, c, d, e). Kui viitejoonega tuleb määrata mitu paralleelset joont, on lubatud kasutada noolte asemel kaldkriipse (joonis 4.69.f);
- punktid, kui viitejoon lõpeb objekti pinnal (joonis 4.69.g, i). Punkti läbimõõt  $d$  on viiekordne joone laius;
- markeerimata (ilma noole ja punktita), kui viitejoon on ühenduses joonega, mis ei ole kontuurjoon (mõõtjooned või sümmeetriateljed) (joonis 4.69.h, j).



**Joonis 4.69.** Viitejooned.

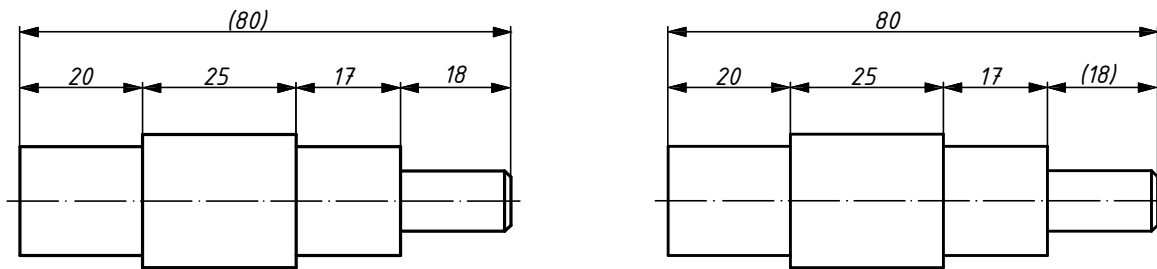
Viitejoont võib kasutada koos **viitejoone laudiga**, mis joonestatakse kitsa pidevjoonega. Viitejoone laudi pikkus võib olla kas kindlaks määratud (20-kordne viitejoone laudi joone laius) või vastavuses viite tähise pikkusega (joonis 4.70.c, d). Viitejoone laudi võib ära jätta, kui viitejoon on joonestatud horisontaalselt ja viite tähis on kirjutatud samas suunas (joonis 4.70.e) või lõpeb ringjoonega (joonis 4.70.f).



**Joonis 4.70.** Viitejooned.

**Viite tähised.** Joonistel olevad tähised peavad vastama standardile EVS-EN ISO 3098. Viitejoone tähised märgitakse viitejoone laudi kohale (joonis 4.70.a, c, d), viitejoone või laudi lõppu (joonis 4.70.b, e).

**Teatmemõõtmed.** Joonisel paremaks orienteerumiseks kasutatakse teatmemõõtmeid, mis on antud ainult informatsiooniks. Neid saab tuletada teistest mõõtmetest. Teatmemõõtmeid ei rakendata detaili kontrollimisel. Teatmemõõtmed paigutatakse sulgudesse (joonis 4.60 mõõt 44 ja joonis 4.71).



**Joonis 4.71.** Teatmemõõtmete kasutamine joonisel.

## 23.2 MÕÕTMETE PAIGUTUS

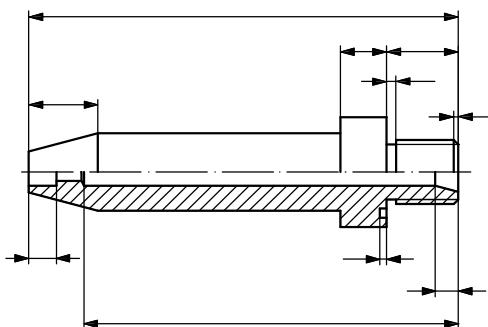
Standard EVS-EN ISO 129-1 määrab järgmised mõõtmete paigutused:

- ahelmõõtmestamine;
- paralleelmõõtmestamine;
- jadamõõtmestamine;
- koordinaatmõõtmestamine;
- kombineeritud mõõtmestamine.

### 23.2.1 MÕÕTMESTAMISE ÜLDISED JUHISED

Mõningad üldised juhised mõõtmete kandmiseks joonisele:

- joonistel esitatakse ainult need mõõtmised, mis on vajalikud objekti kuju üheseks määramiseks;
- mõõtmised paigutatakse objekti sellele vaatele või lõikele, mis kirjeldab kujutatavat elementi kõige selgemini;
- üldine mõõtmete hulk joonisel peab olema minimaalne, kuid küllaldane toote valmistamiseks ja kontrollimiseks;
- mõõtmised ei tohi korduda, s. t. iga mõõdet antakse ühel ja samal joonisel ainult üks kord;
- joonise paremaks lugemiseks tuleb vaate ja lõike kohta käivad mõõtmised paigutada eraldi gruppideks (joonis 4.72);

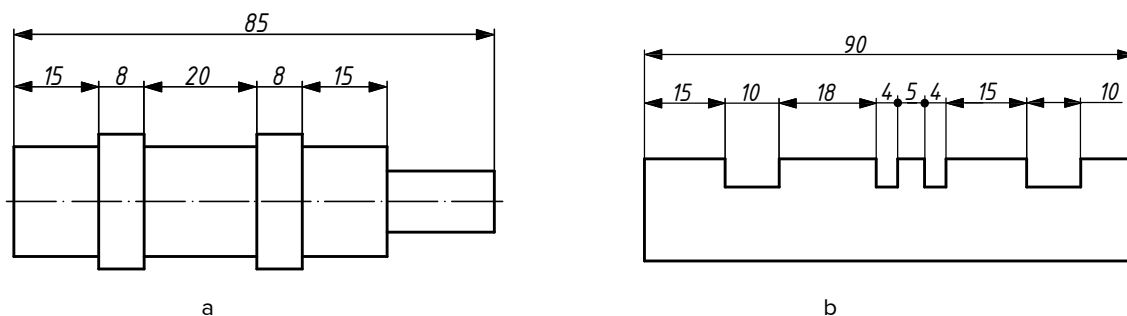


**Joonis 4.72.** Mõõtmete grupeerimine.

- võimaluse korral tuleb mõõtmised paigutada väljapoole objekti kontuure;
- varjatud kontuuriga näidatud elementide mõõtmestamist tuleks vältida. Kui see on väga vajalik, peab see olema üheselt mõistetav;
- masinaehitusjoonistel on keelatud mõõtmiseid kanda joonisele suletud mõõtahelana (näiteks nii, et üksikute elementide summa annaks gabariitmõõtmise).

### 23.2.2 AHELMÕÕTMESTAMINE

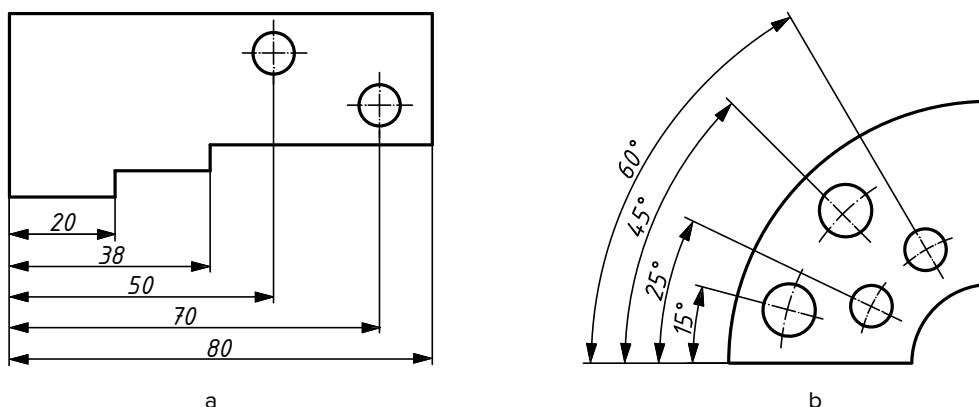
Ahelmõõtmestamisel paigutatakse mõõtmed ahelana ritta. Joonisel 4.73 on toodud näiteid ahelmõõtmestamise kohta.



Joonis 4.73. Ahelmõõtmestamine.

### 23.2.3 PARALLEELMÕÕTMESTAMINE

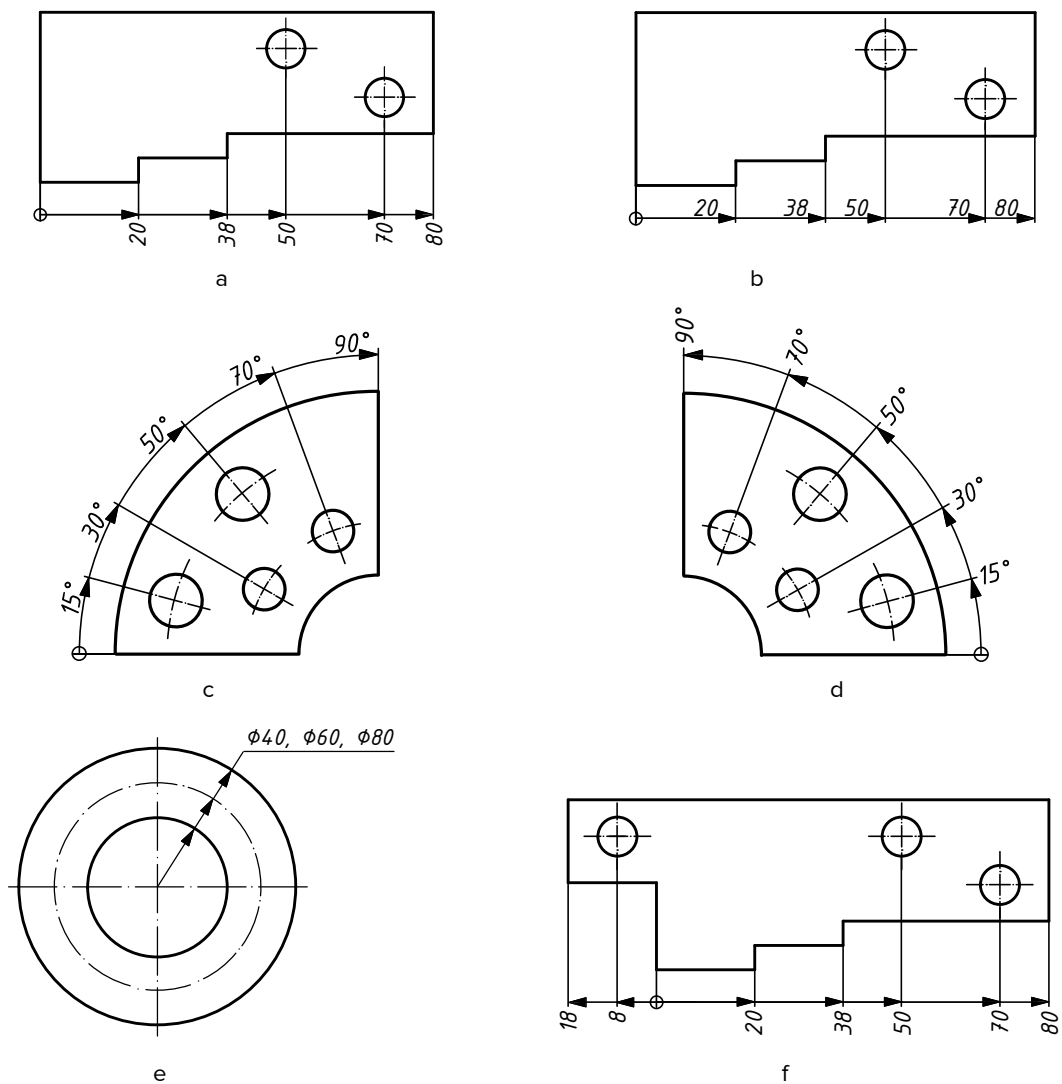
Paralleelmõõtmestamisel kantakse mõõtjooned joonisel kas paralleelselt joonmõõtmetena (joonis 4.74.a) või kontsentriselt nurgamõõtmetena (joonis 4.74.b).



Joonis 4.74. Paralleelmõõtmestamine.

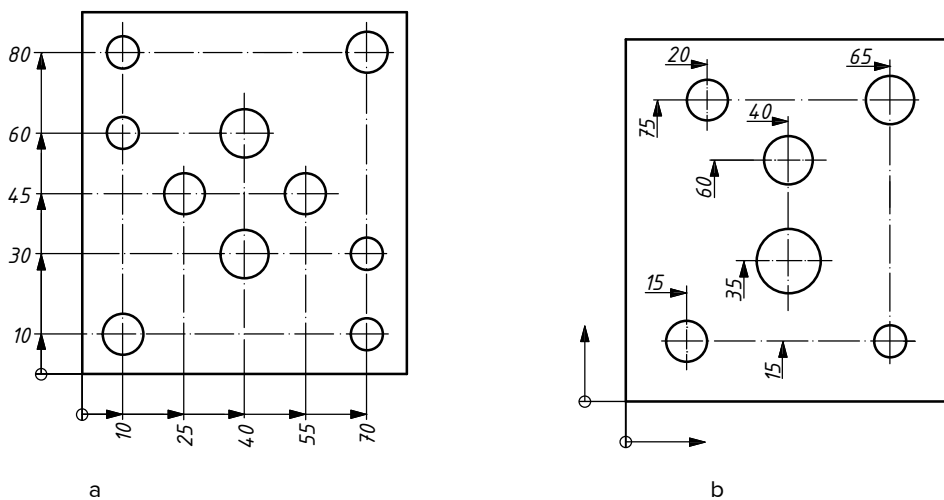
### 23.2.4 JADAMÕÕTMESTAMINE

Jadamõõtmestamine on lihtsustatud paralleelmõõtmestamine. Mõõtmed algavad ühisnullpunktist ja tõmmatakse üks mõõtjoon (joonis 4.75). Mõõtarvud paigutatakse nullpunktist eemal oleva noole juurde, kas distantarjoonega kohakuti (joonis 4.75.a ja d) või mõõtjoone kohale noole juurde (joonis 4.75.b ja c). Kui joonis on üheselt mõistetav, võib jadamõõtmete näitamist lihtsustada, paigutades mõõtmed ühisele viitejoone laudile (joonis 4.75.e). Vastassuunalise jadamõõtmestamise korral kasutatakse üht nullpunkti ja kahte vastassuunalist mõõtjoont (joonis 4.75.f).



**Joonis 4.75.** Jadamõõtmestamine.

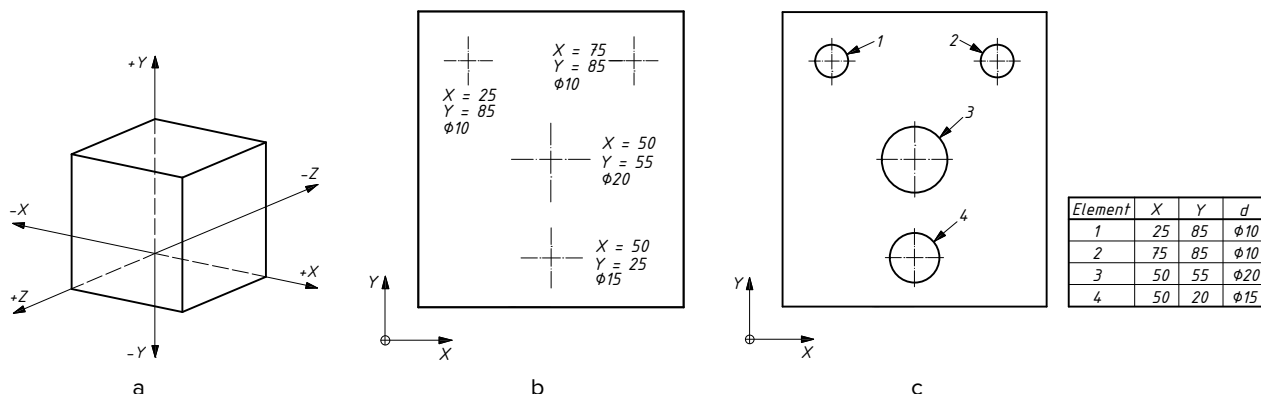
Jadamõõtmestamisel saab joonisele kanda mõõtmeid rohkem kui ühes suunas (joonis 4.76). Väheses ruumis korral võib kasutada mitut mõõtjoont. Samuti võib kasutada ühte noolt, mis on suunatud mõõtmestavale elemendile (joonis 4.76.b).



**Joonis 4.76.** Jadamõõtmestamise võimalusi.

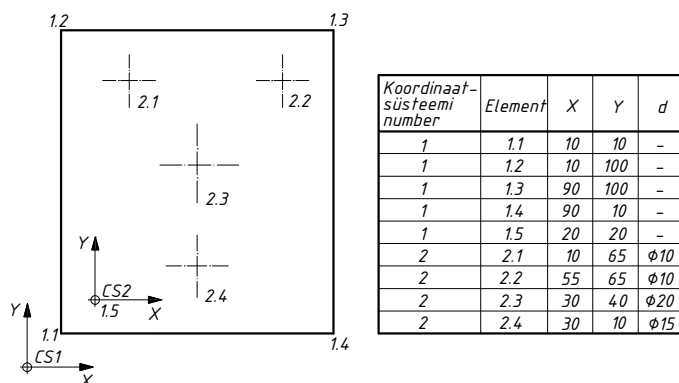
## 23.2.5 KOORDINAATMÕÕTMESTAMINE

**Cartesiuse koordinaadid.** Cartesiuse koordinaadid on defineeritud algpunktist lähtuvalt joonmõõtmega ristsuundades. Joonisele ei kanta distantse ega mõõtjooni. Joonisel 4.77.a on näidatud koordinaattelgede positiivsed ja negatiivsed suunad. Negatiivsete mõõtude korral pannakse koordinaadi väärtuse ette miinusmärk. Positiivne suund teljestikus tähistatakse noolega. Koordinaatmõõtmestamisel peab nullpunkt olema fikseeritud. Koordinaate võib esitada otse joonisel (joonis 4.77.b) või viitetähisega (joonis 4.77.c).



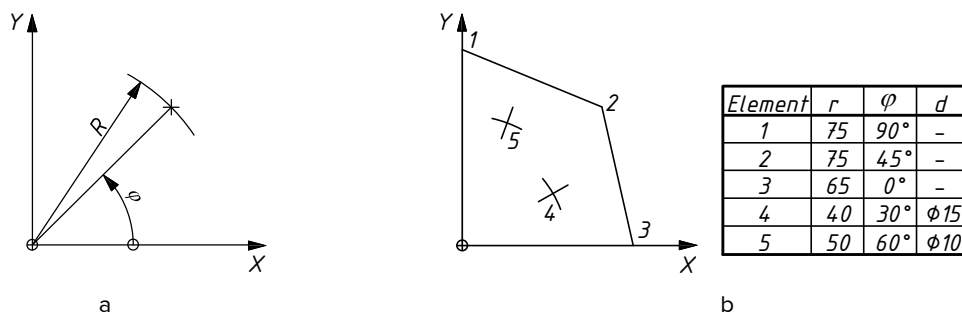
Joonis 4.77. Koordinaatmõõtmestamine.

Kasutataval põhikoordinaatsüsteemil võib olla allsüsteeme. Sellisel juhul tuleb koordinaatsüsteemi number ja vastavad positsioonid tähistada järjestikku araabia numbritega. Eraldussümboliks on punkt (joonis 4.78).



Joonis 4.78. Koordinaatmõõtmestamine.

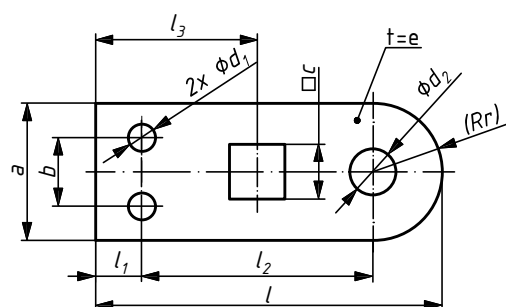
**Polaarkoordinaadid.** Polaarkoordinaadid on kahemõõtmeline koordinaatide süsteem, kus tasandi iga punkt on määratud fikseeritud nullpunktist raadiuse ja nurgaga. Nurk loetakse positiivseks polaartelje (horisontaalne telg suunaga paremale) suhtes vastupäeva. Punkti võib joonisel tähistada kahe lõikuga (kitsa pidevjoonega), mille pikkus peab olema vähemalt 20-kordne joone laius (joonis 4.79.a).



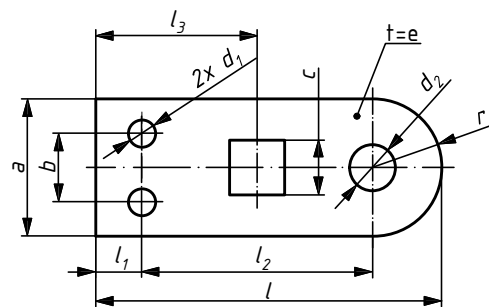
Joonis 4.79. Polaarkoordinaadid.

## 23.2.6 TABELMÕÕTMESTAMINE

Seda mõõtmestamise meetodit saab kasutada näiteks objektide puhul, millel on samane kujutis, kuid erinevad mõõtmed. Sel juhul saab mõõtmised kanda joonisele tähistega ja mõõtmete väärtused märkida tabelisse (joonis 4.80).



a



b

Joonis 4.80. Tabelmõõtmestamine.

## 23.3 MÕÕTMESTAMISE NÄITEID

### 23.3.1 RAADIUSE MÕÕTMESTAMINE

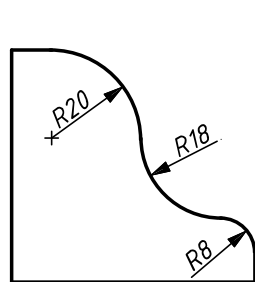
Raadius tähistatakse suurtähedega  $R$ , mis on ühekõrgune mõõtarvuga tema järel (joonis 4.81). Raadius märgitakse alati kaarjoonele ja raadiuse mõõtjoon peab alati olema risti mõõdetava kaarjoone kujuteldava puutujaga. Raadiuse mõõtmestamisel kasutatakse ühte noolt.

Kui raadiuse abil mõõdet andes on vaja näidata ka kaare tsentri (keskpunkti) asukoht, siis tähistatakse see pideva kitsasjoonega joonestatud ristiga, mille joonte pikkuseks on 10-kordne joone laius (joonis 4.81.a R20). Kui kaare tsentri asukoha näitamine pole oluline, võib raadiuse mõõtjoone jätta tsentrini tõmbamata (joonis 4.81.a R8 ja R18). Suure raadiuse puhul võib tsentri tinglikult kaarele lähemale tuua. Mõõtjoon tehakse sel juhul murdega (joonis 4.81.b).

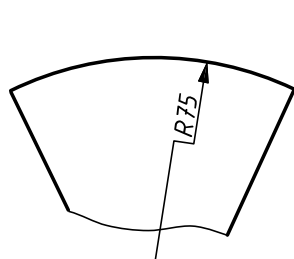
Kui raadiuse tsenter ei ole määratud objekti külgnivate elementide andmetega, tuleb kanda joonisele vajalikud mõõtmised (joonis 4.81.c).

Ühest keskpunktist mitmele kaarele raadiusega mõõdet andes ei tohi kahe mõõtjoone suund ühtida (joonis 4.81.d).

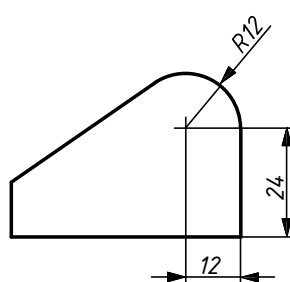
Joonisel 4.82 on toodud näiteid väliste ja sisemiste ümardusraadiuste märkimise kohta.



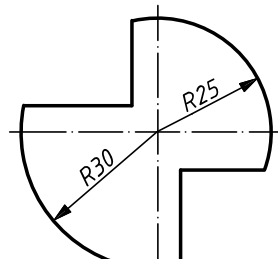
a



b

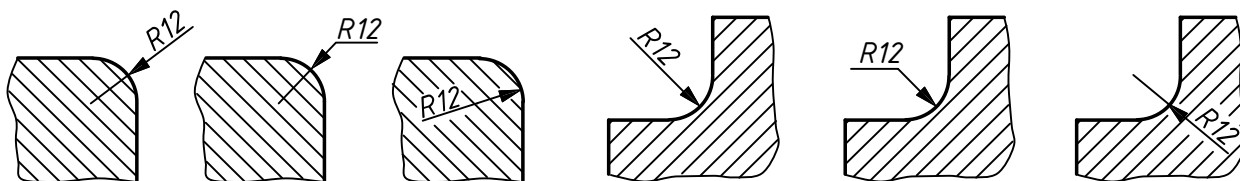


c



d

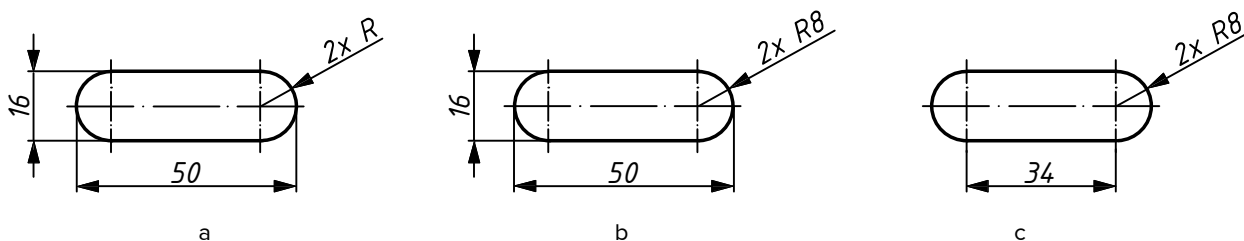
Joonis 4.81. Raadiuse mõõtmestamine.



**Joonis 4.82.** Väliste ja sisemiste ümardusraadiuste mõõtmestamine.

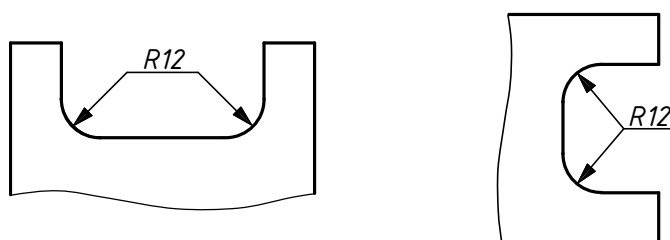
Kahe paralleelse sirge ühendamisel poolringiga on sõltuvalt andmetest võimalik mõõtmestada järgmiselt:

- kui raadiuse suurus on tuletatav teistest mõõtetest, võib tähiseks kirjutada  $R$  ilma mõõtarmuta (joonis 4.83.a);
- raadiuse väärtuse võib märkida teatemõõtmena (joonis 4.83.b);
- raadiuse tsentre vahekauguse ja raadiuse väärtusega (joonis 4.83.c).



**Joonis 4.83.** Raadiuste mõõtmestamine.

Mitme sama raadiusega mõõtme kandmisel joonisele võib mõõtjooned ühendada (joonis 4.84).

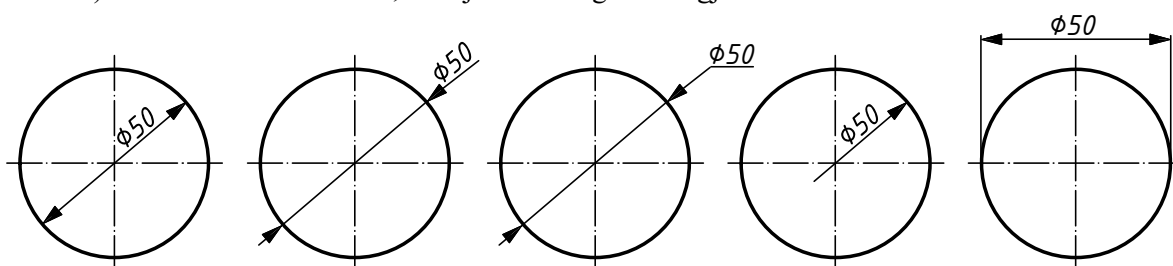


**Joonis 4.84.** Võrdse väärtusega raadiuste mõõtmestamine.

Kui ringjoonest on kujutatud vähem kui pool, antakse mõõde raadiusega; kui on üle poole ringjoonest, siis läbimõõduga.

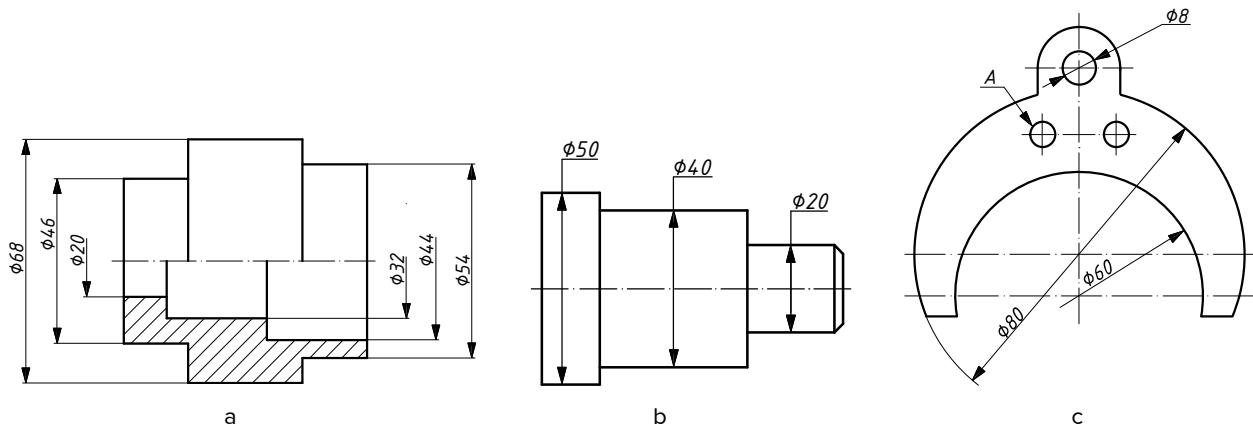
### 23.3.2 LÄBIMÕÕDU MÕÕTMESTAMINE

Ringi või pöördkeha läbimõõtu (diameetrit) näitava mõõtarmu ette pannakse alati läbimõõdumärk  $\varnothing$  (joonis 4.85). Läbimõõdumärk näitab, et objekti ristlõige on ringjoon.



**Joonis 4.85.** Läbimõõdu mõõtmestamise näiteid.

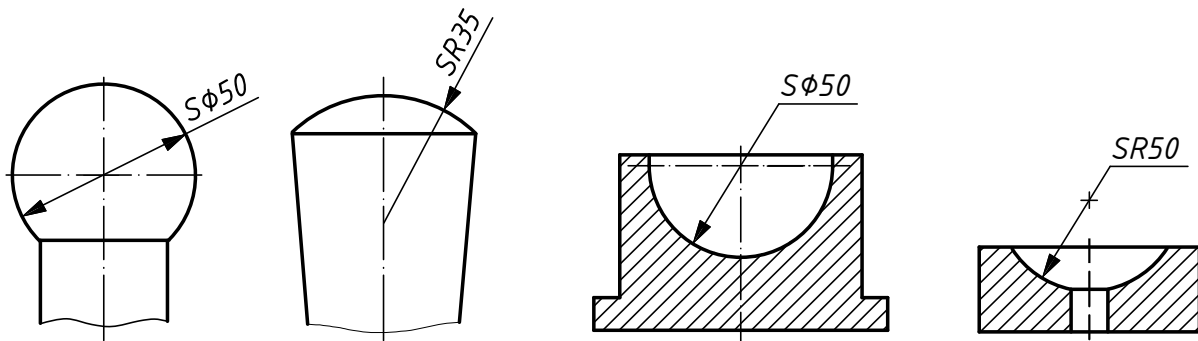
Kui läbimõõtude arv on suur, siis on soovitatav neid näidata kujutisel, kus selgub pöördpinna (silinder, koonus vm) moodustaja kuju (joonis 4.86.a). Mõõtjoont võib pikendada ja lisada horisontaalne viitejoone laudi (joonia 4.86.b). Läbimõõdu kandmisel joonisele ühe noolega peab mõõtjoon ületama ringjoone tsentrit (joonis 4.86.a  $\varnothing 32$ ,  $\varnothing 44$  ja 4.86.c  $\varnothing 60$ ). Läbimõõdu mõõtmestamisel viitejoone abil on toodud joonisel 4.86.c  $\varnothing 8$  ja ava  $A$ .



**Joonis 4.86.** Läbimõõtude mõõtmestamise näiteid.

### 23.3.3 SFÄÄRI MÕÕTMESTAMINE

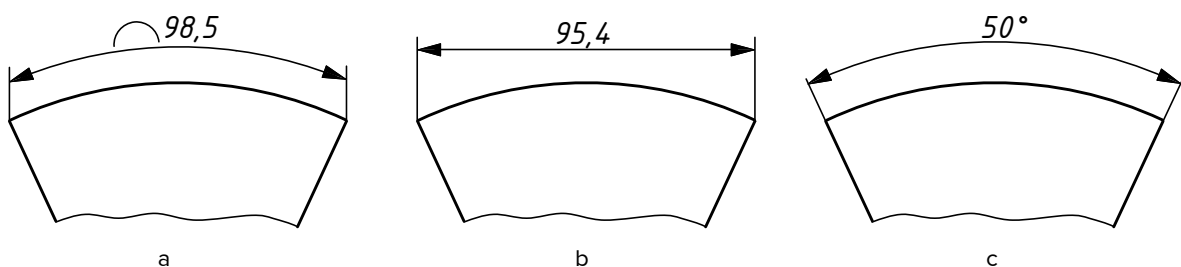
Sfääri ehk kerakujulise pinna puhul lisatakse läbimõõdumärgi või raadiuse tähise ette mõõtarvukõrgune tähis  $S$  (joonis 4.61.e ja d). Tähisele järgneb mõõtme väärtus. Joonisel 4.87 on toodud sfäärilise pinna mõõtmestamise näiteid.



**Joonis 4.87.** Sfäärilise pinna mõõtmestamine.

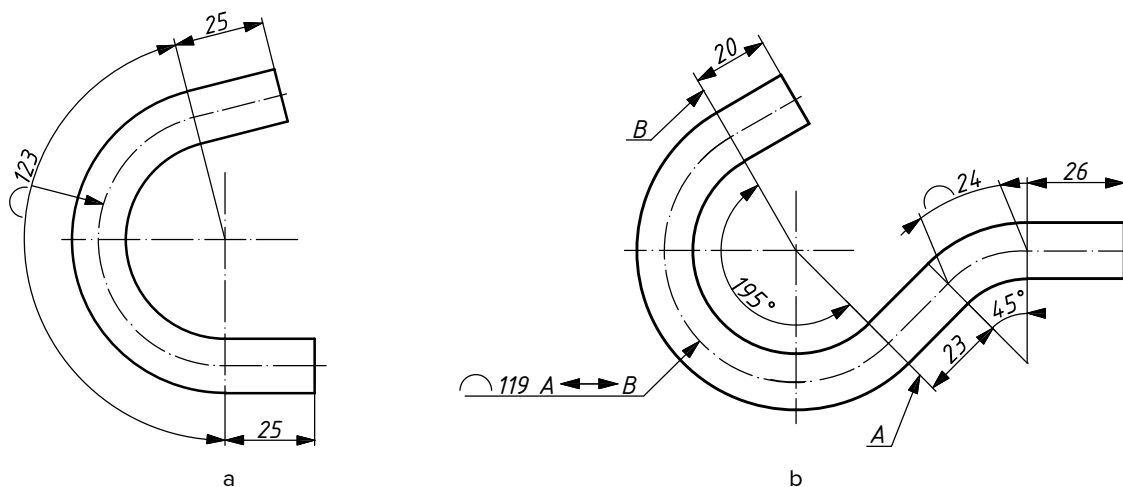
### 23.3.4 KAARE, KÕÖLU JA NURGA MÕÕTMESTAMINE

Kaarte, kõõlude ja nurkade mõõtmestamine peab vastama joonisel 4.88 toodud näidetele. Kaare graafiline sümbol (joonis 4.61.g) märgitakse mõõtme väärtuse ette (joonis 4.88.a). Alla  $90^\circ$  nurkade korral tõmmatakse distantsjooned paralleelselt vastava nurga poolitajaga. Iga kaare korral joonestatakse omad distantsjooned.



**Joonis 4.88.** Kaare, kõõlu ja nurga mõõtmestamine: a – kaare pikkus; b – kõõlu pikkus; c – nurga mõõt.

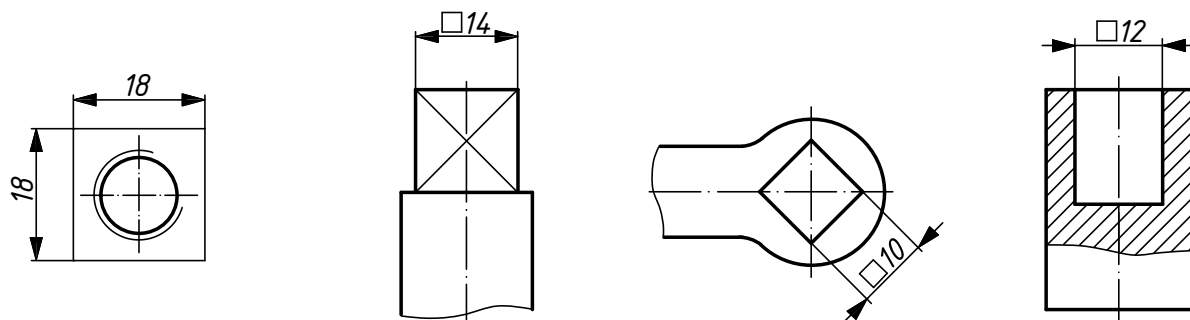
Kaare pikkust võib mõõtmestada viitejoone abil (joonis 4.89.a) või lisaks kasutades vahemiku sümbolit (joonis 4.61.1). Sellisel juhul tähistatakse viitejoonte abil mõõtmestatava kaare pikkust näitavad distantsjooned ja kaare pikkus koos vahemikuga näidatakse viitejoone laudil (joonis 4.89.b mõõt 119). Viitejoone nool on suunatud vastu mõõdetavat kaart.



Joonis 4.89. Kaare pikkuse mõõtmestamine.

### 23.3.5 RUUDU MÕÕTMESTAMINE

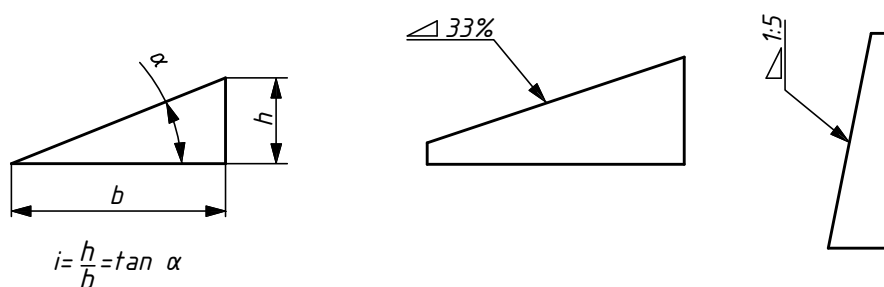
Ruudule võib mõõtmeid märkida kahel viisil: kas ruudu kahe serva pikkust ära näidates või ruudumärgi abil (joonis 4.90). Märk näitab, et detaili ristlõige on ruut. Ruudu sümbolitakse mõõtarvu ette.



Joonis 4.90. Ruudumärk ja selle kasutamine.

### 23.3.6 KALDE MÕÕTMESTAMINE

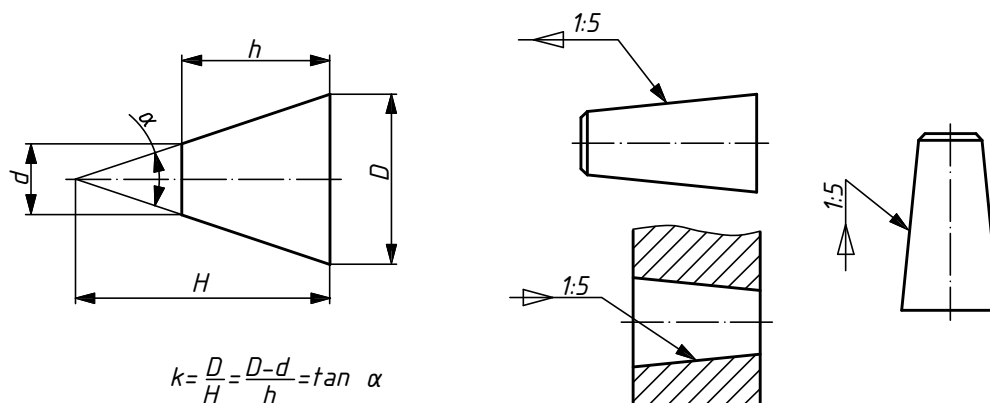
Kaldeks nimetatakse kaldpinna kõrguse ja aluse suhet. Selle suhte ette kirjutatakse kalde märk. Kalde sümboliks on täisnurkne kolmnurk, mille pikem kaatet on horisontaalselt. Märgi tipp näitab kalde suunda. Andmed kalde kohta (kas kalde suurust näitav protsent või suhe) kirjutatakse viitejoone laudile, mis tõmmatakse kaldpinna alusega paralleelselt (joonis 4.91).



Joonis 4.91. Kalde märkimine joonisele.

### 23.3.7 KOONILISUSE MÕÕTMESTAMINE

Koonilisuseks nimetatakse koonuse põhja läbimõõdu ja kõrguse suhet. Tüvikoonuse korral avaldub see läbimõõtude vahe ja tüvikoonuse kõrguse suhtena. Suhte ette kirjutatakse koonilisuse märk, mille teravik on suunatud koonuse tipu poole. Koonilisuse märgiks on võrdhaarne kolmnurk tipunurgaga 30°. Andmed koonilisuse kohta kirjutatakse viitejoone laudile, mis tõmmatakse koonuse teljega paralleelselt. Koonilisus märgitakse ainult siisugustel pindadel, mis töötavad koos ja kindlustavad tiheda ühenduse (joonis 4.92).



Joonis 4.92. Koonilisuse märkimine joonisele.

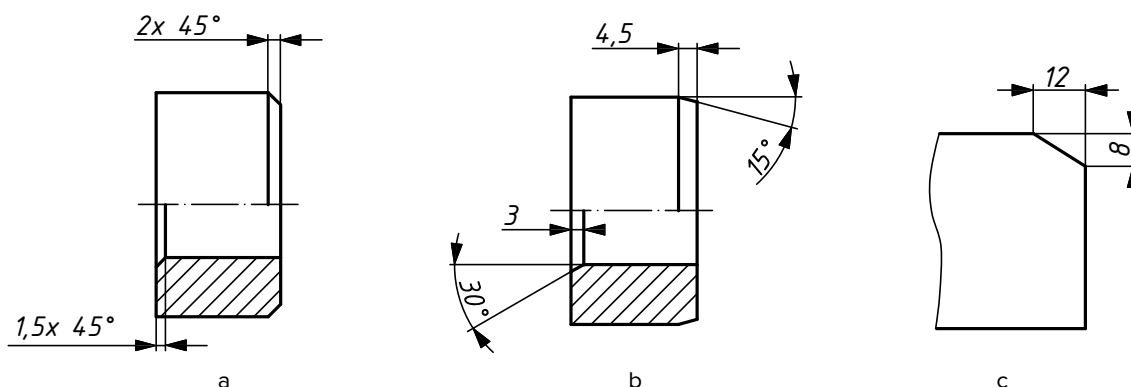
### 23.3.8 FAASI MÕÕTMESTAMINE

Faas on element, mis tekib detaili teravate servade maha lõikamisel.

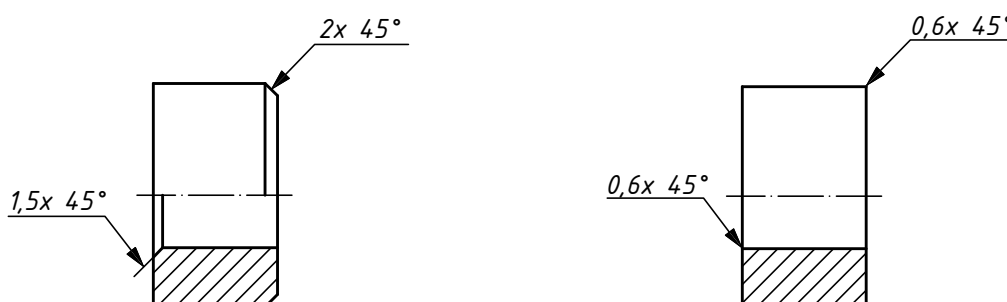
Faasi mõõtmeid võib näidata järgmiselt (joonis 4.93):

- 45° faasi puhul kaateti pikkuse ja nurga „korrutisena” (a);
- kui faasinurk ei ole 45°, siis joon- ja nurgamõõtmega (b)
- kahe joonmõõtmega (c).

Lihtsustatud kujul faasi mõõtmestamine on näidatud joonisel 4.94.



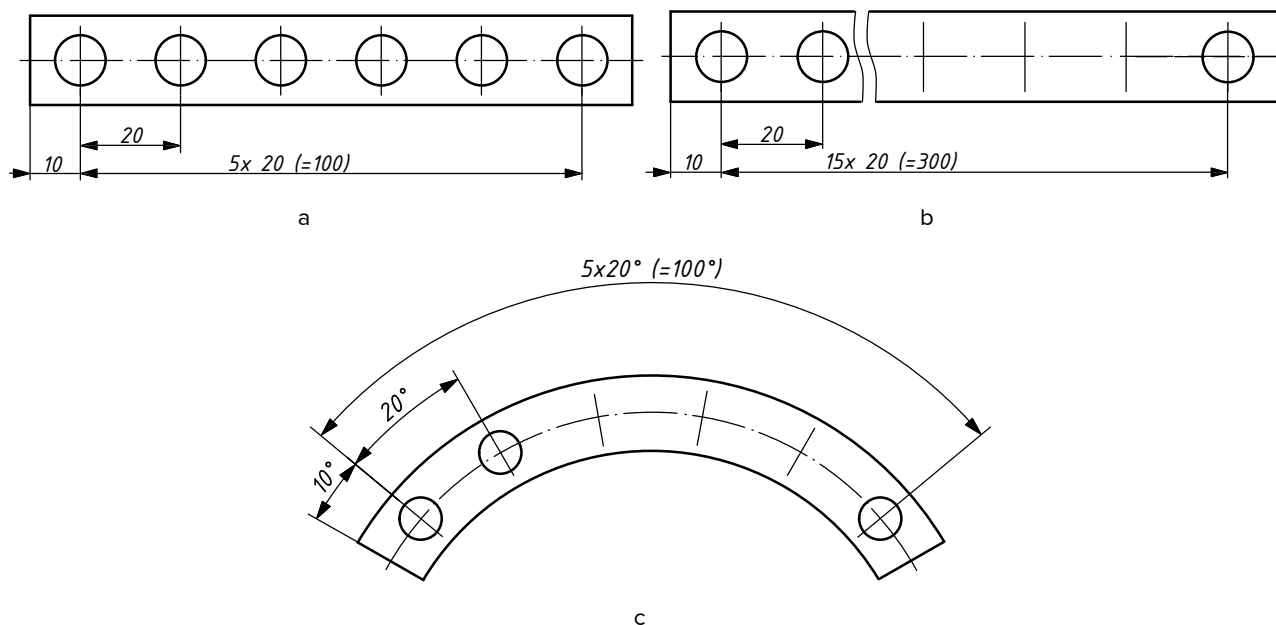
Joonis 4.93. Faasi mõõtmestamine.



Joonis 4.94. Faasi lihtsustatud mõõtmestamine.

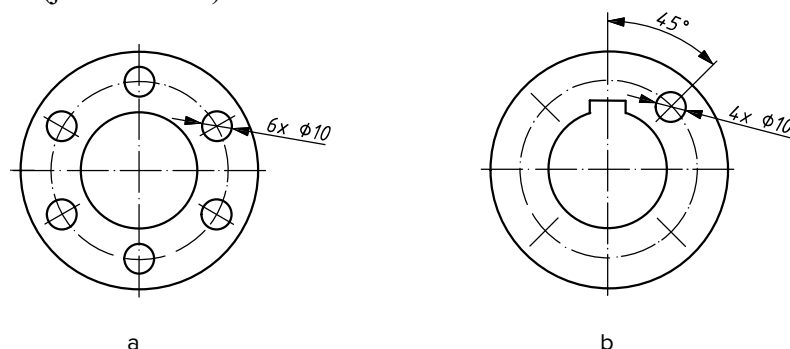
### 23.3.9 KORDUVATE ELEMENTIDE MÕÕTMESTAMINE

Kujutataval objektil võivad olla korduvateks elementideks ühesuguse kujuga ja mõõtmetega avad, faasid, süvised ning muud elemendid. Üldiselt kantakse elementide mõõtmel joonisele ainult üks kord. Korduvate ühesuguste ja ühtlaselt paigutatud lineaar- ja nurkvahekaugustega elementide mõõtmestamise näited on toodud joonisel 4.95. Tähistamisel märgitakse kõigepealt vahekauguste arv, millele järgneb sümbol „x“ ja seejärel pärast tühikut vahekauguse väärtus. Joonise paremaks lugemiseks võib lisaks märkida ühe vahekauguse väärtuse teatmemõõtmena. Lineaar- või nurkvahekauguste summa on teatmemõõtmeks. Avade asukohad võib tähistada kas ringjoontega või sümmeetriateljega.



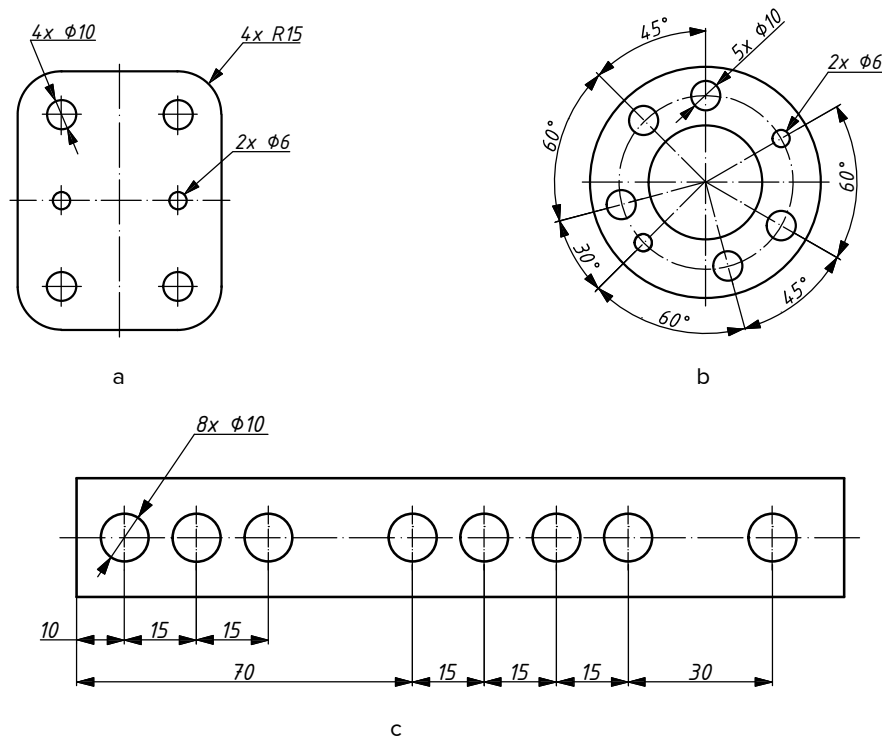
**Joonis 4.95.** Võrdse vahekaugusega korduvate elementide mõõtmestamine.

Elementide korral, mis asuvad ringjoonel võrdsel kaugusel, võib juhul, kui joonis on üheselt mõistetav, nurgavahekauguse ära jätta (joonis 4.96.a). Kui avad peavad mingi elemendi suhtes olema kindlas asendis, tuleb fikseerida nurga mõõt (joonis. 4.96.b).



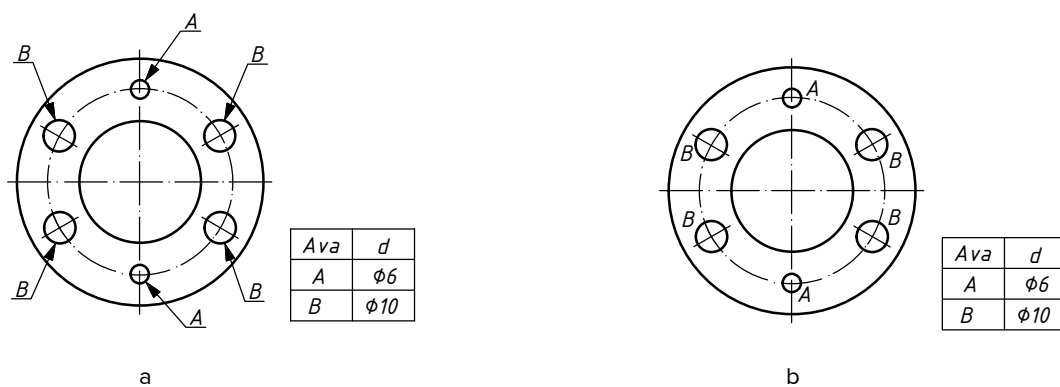
**Joonis 4.96.** Korduvate elementide mõõtmestamine.

Kui objekti samade mõõtmetega elemendid ei ole ühtlaselt paigutatud, kuid joonis on üheselt mõistetav, siis võib nende mõõtmel kanda joonisele üks kord, kasutades kordussümbolit „x“ (joonis 4.97). Joonisel 4.97.a on näidatud sümmeetrilisel detailil olevate korduvate avade ja raadiuse mõõtmestamine. Joonisel 4.97.b ja c on korduvate avade mõõtmestamine, kui nende asukoht määratud.



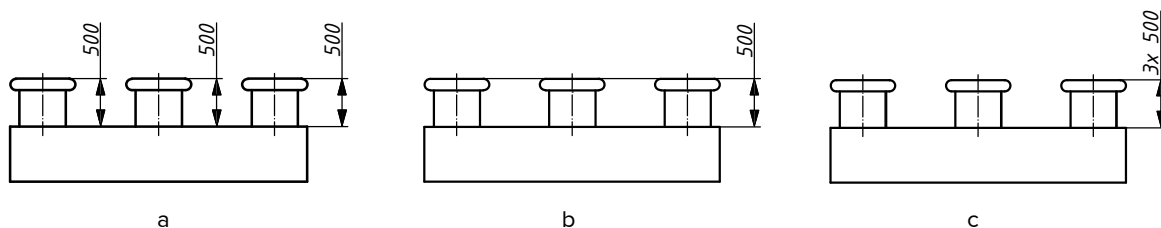
**Joonis 4.97.** Ebahühtlaselt asetsevate korduvate elementide mõõtmestamine.

Korduvate elementide korral, vältimaks samade mõõtmete kordumist ja pikki viitejooni, võib joonisel kasutada viite tähiseid koos selgitava tabeliga. Viite tähised võib paigutada kas viitejoone laudile (joonis 4.98.a) või elemendi kõrvale ilma viitejooneta (joonis 4.98.b).



**Joonis. 4.98.** Korduvate elementide mõõtmestamine tabeli kujul.

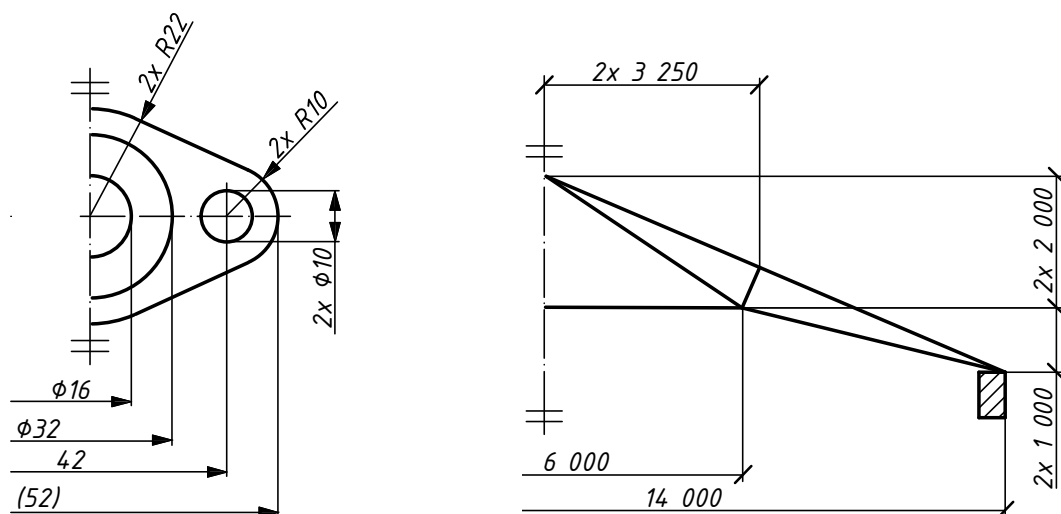
Korduvaid elemente võib mõõtmestada kas üksikute elementide mõõtmetega või kasutada ühist distantsoont või kordussümbolit „x“ (joonis 4.99). Tuleb jälgida, millise variandiga on joonis paremini loetav.



**Joonis 4.99.** Korduvmõõtmestamine.

### 23.3.10 SÜMMEETRILISTE ELEMENTIDE MÕÕTMESTAMINE

Sümmeetriliste detailide korral, kui on kujutatud objektist pool või veerand, mõõtmestatakse ühe noolega ja mõõtjoon peab ulatuma üle sümmeetriatelje (joonis 4.100). Korduvate elementide korral kasutatakse kordussümbolit „x“. Üldiselt ei mõõtmestata elementide sümmeetriajoont.



Joonis 4.100. Sümmeetriliste elementide mõõtmestamine.

### 23.3.11 TASEMETE KÕRGUSE TÄHISTAMINE

Tasemete tähistamiseks kasutatakse ehitusjoonistel kõrgusmärki. Kõrgusmärgi laudile kirjutatakse mõõtarp, mis näitab määratud nivoopinna kõrgust mingi kindla null-nivoopinna (nullpinna) suhtes. Vertikaalplaneeringu jooniste mõõtühik on vaikselt meetrites. Kõik kõrgused esitatakse selle pinna suhtes. Nullpinnast ülevalpool olevad mõõtmised on positiivsed ja tähistatakse märgiga „+“, allpool on negatiivsed ning tähistatakse märgiga „–“. Hoonete puhul võetakse nullpinnaks üldiselt esimese korruse põrandapind.

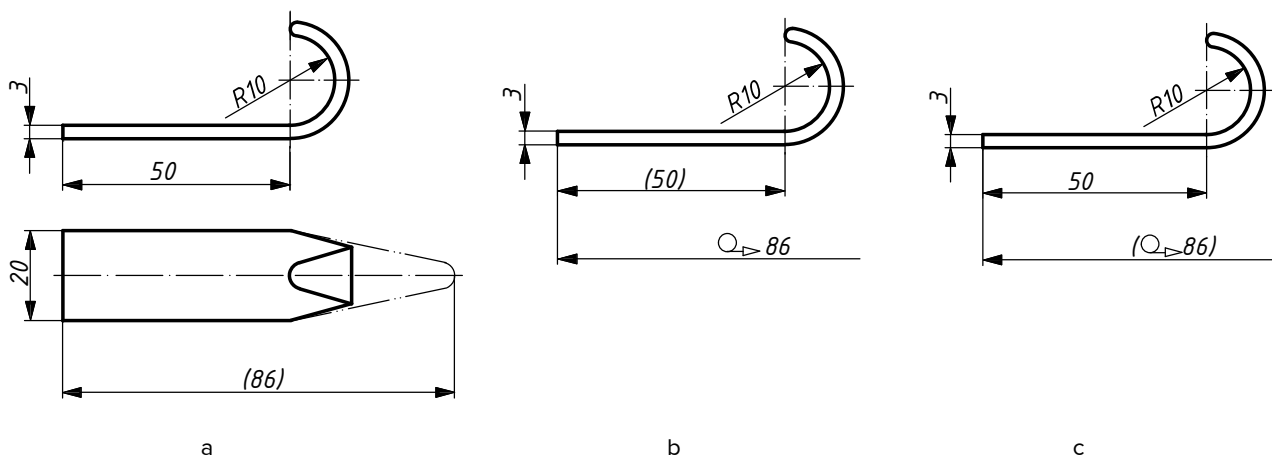
Eestvaadetel ja lõigetel kujutatakse kõrgusmärki vertikaalse viitejoonega, mis lõpeb 90° noolega. Viitejoone horisontaalsele laudile kantakse taseme kõrguse arvuline väärtus (joonis 4.101.a). Taseme kõrgust tähistatav punkt märgitakse horisontaalsetel vaadetel ja lõigetel kahe lõikuva sirglõiguga. Lõikude pikkus peab olema vähemalt 20-kordne joone laius ja horisontaalsele viitejoonele märgitakse kõrguse arvuline väärtus (joonis 4.101.b).



Joonis 4.101. Taseme kõrguse tähistamine.

### 23.3.12 PAINUTATUD OBJEKTIDE MÕÕTMESTAMINE

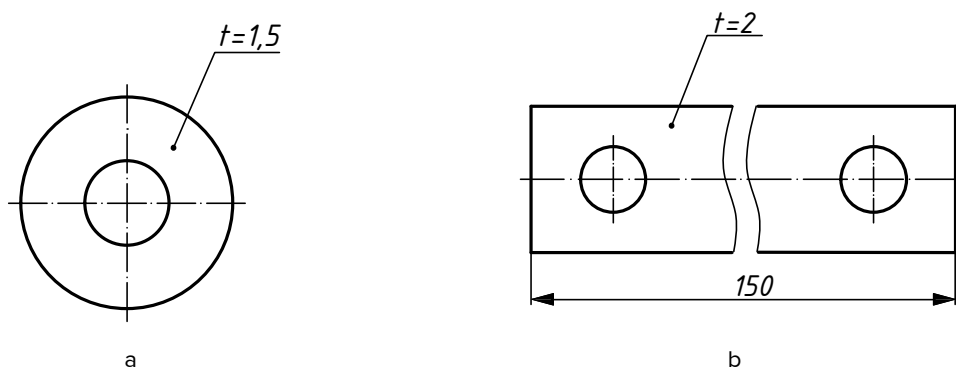
Painutatavate objektide korral joonise selgitamise vajaduse korral võib joonisel näidata selle esialgse kontuuri pikkuse enne painutamist (joonis 4.102.a). Esialgne kontuur joonestatakse kitsa pikk-kriipskaks-punktjoonega (vt punkt 15.4.10). Kui esialgset kontuuri ei ole kujutatud, siis võib kasutada pinnalaotuse sümbolit (joonis 4.102.b ja c).



**Joonis 4.102.** Painutatava detaili mõõtmestamine.

### 23.3.13 ÕHUKESEST MATERJALIST OBJEKTIDE MÕÕTMESTAMINE

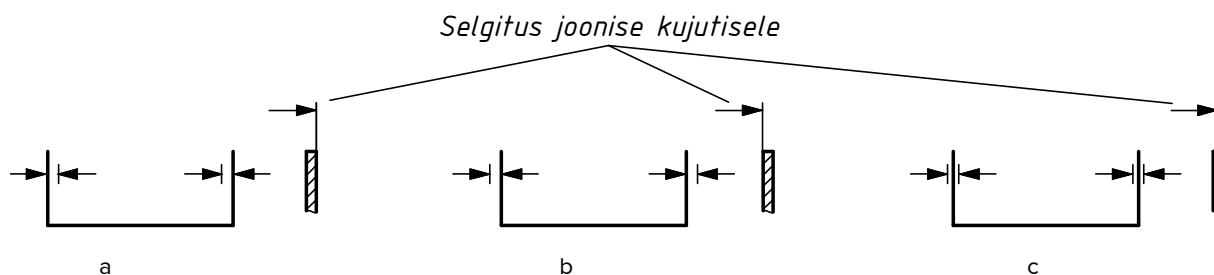
Muutumatu paksusega detaili võib esitada ainult ühe kujutisega. Puuduv toote paksuse mõõde antakse viitejoone laudil. Detaili paksust tähistatakse sümboliga „t“ (joonis 4.61.f), millele järgneb detaili paksuse mõõt. Viitejoon algab detaili pinnalt punktikesega (joonis 4.103).



**Joonis 4.103.** Õhukese detaili paksuse mõõtmestamine.

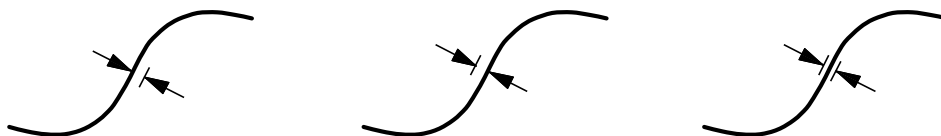
Õhukese seinaga objektide mõõtmestamisel lisatakse ristlõikele pinnatähise sümbol (joonis 4.61.m), mis näitab, millist pinda mõõtmestatakse.

Joonisel 4.104 on näidatud pinna tähise kasutamist joonisel.



**Joonis 4.104.** Pinna tähise kasutamine joonisel: a – mõõtmel on antud välispinnast; b – mõõtmestatud on sisepind; c – mõõtmestatud on materjali paksuse keskelt.

Pinna tähise sümbolit võib kasutada ka kõverpindade joonistel (joonis 4.105). Kui pinnatähise sümbol on märgitud kõverpinnale, kehtib see kogu pinnale, mitte üksikutele elementidele.

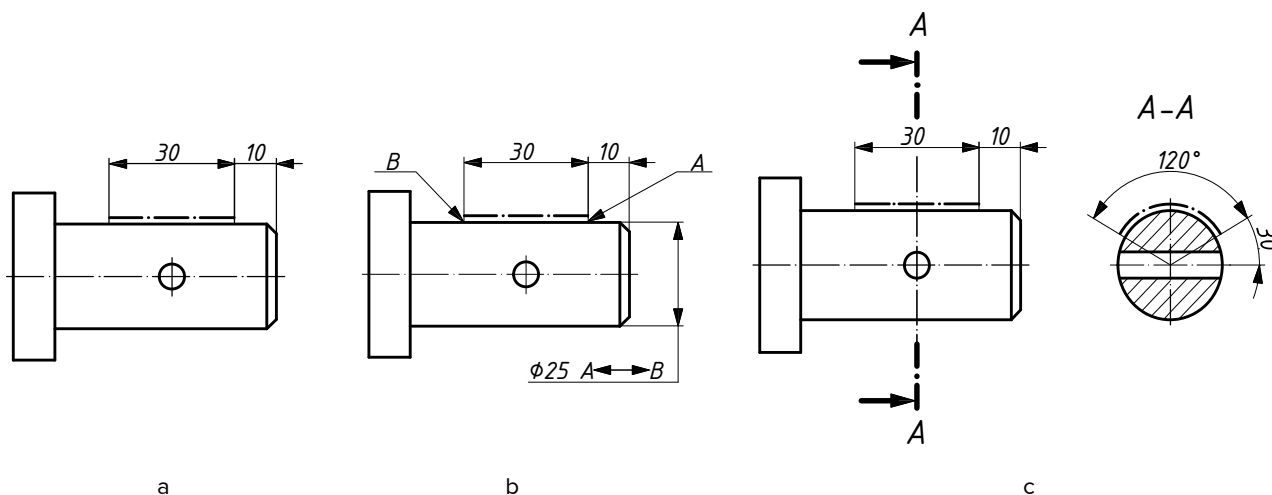


**Joonis 4.105.** Pinnatähise kasutamine laineliste pindade joonistel.

Mõnikord on otstarbekas ebaselguste vältimiseks kasutada „vahemiku“ sümbolit (joonis 4.61.l) nagu on näidatud joonistel 4.89.b ja 4.106.b.

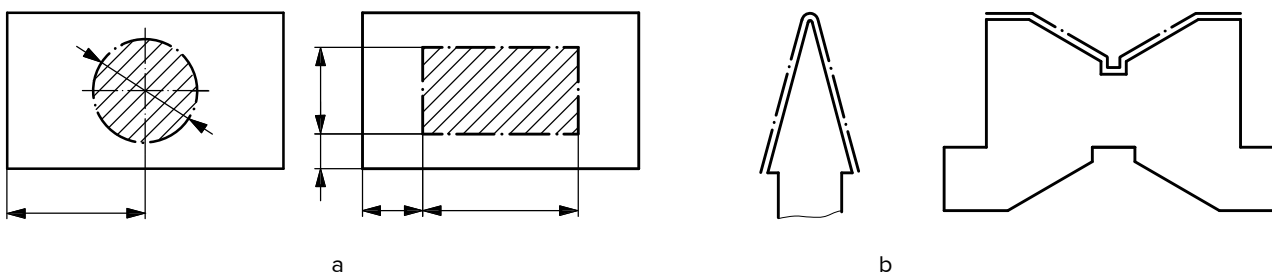
### 23.3.14 PIIRATUD ALADE MÕÕTMESTAMINE

Mõningate objektide joonistel on vaja eraldada ehk mõõtmestada piiratud ala, näiteks juhul, kui termilisele töötlusele allutatakse ainult osa objektist. Vastava osa tähistatakse kontuurjoone lähedal laia pikk-kriipspunktjoonega (joonis 4.106). Kui piiratud ala nõue kehtib kogu pinna ümbermõõdule, tuleb märkida ala asukoht ja pikkus ainult üks kord (joonis 4.106.a). Joonise lugemisel võimaliku ebaselguse vähendamiseks soovitab standard kasutada vahemiku sümbolit (joonis 4.106.b). Kui esitatav nõue kehtib silindrilisel pinnal piiratud ala kohta, siis tuleb teisel vaatel märkida selle ala nurga väärtus (joonis 4.106.c).



**Joonis 4.106.** Piiratud ala mõõtmestamine pöördpindadel.

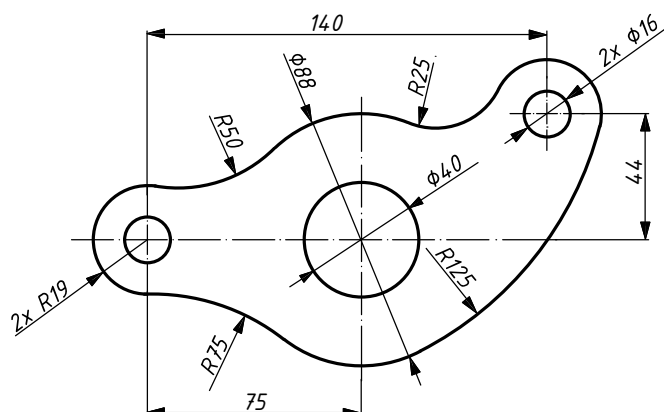
Teistel pindadel mõõtmestatakse piiratud ala vastavalt objekti kujutisele. Standard soovitab rõhutada piiratud ala, näiteks viirutamise (joonis 4.107.a). Piiratud ala võib jätta mõõtmestamata, kui see on jooniselt selgelt välja loetavad (joonis 4.107.b).



**Joonis 4.107.** Piiratud alade mõõtmestamine.

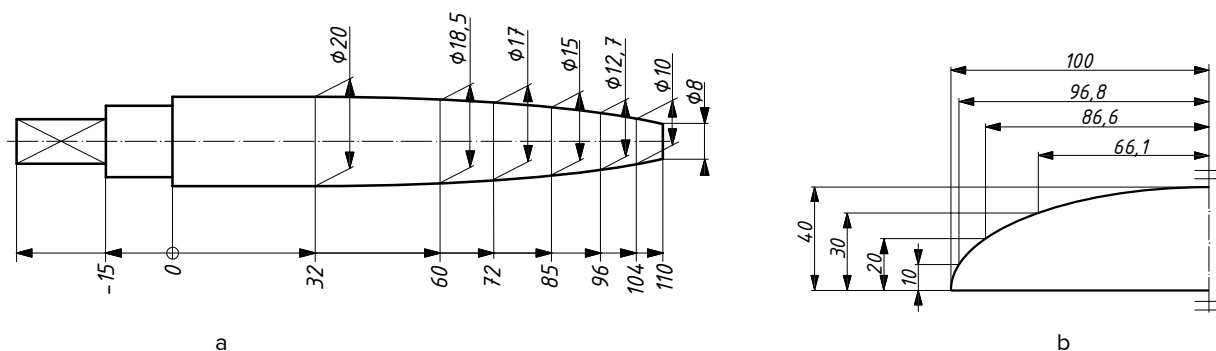
### 23.3.15 KÕVERJOONELISTE PROFIILIDE MÕÕTMESTAMINE

Nende kõverjooneliste profiilide mõõtmestamisel, mis on määratud kõverusraadiustega, peavad olema joonisele märgitud raadiuste väärtused ja vajadusel raadiuste tsentrid (joonis 4.108). Osa kõverjoonelisi üleminekuid konstrueeritakse sujuvühendite abil.



Joonis 4.108. Kõverjoonelise profiili mõõtmestamine.

Kõverjoonelise profiiliga objektide mõõtmestamisel võib kasutada profiili punktide asukohta (joonis 4.109).



Joonis 4.109. Kõverjoonelise profiili mõõtmestamine profiili punktide järgi.

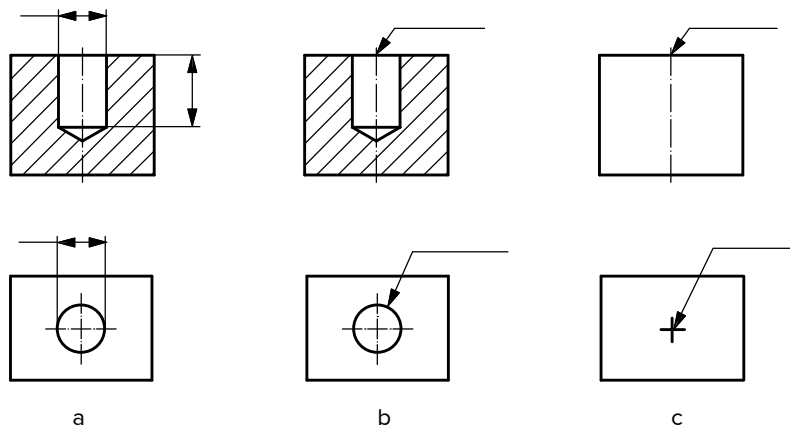
### 23.3.16 AVADE KUJUTAMINE JA MÕÕTMESTAMINE

Standard ISO 15786 määrab kindlaks nii avade täieliku kui ka lihtsustatud kujutamise ja mõõtmestamise reeglid.

Avade kujutamisel joonisel võib kasutada järgmisi meetodeid:

- Täielik kujutamine ja mõõtmestamine. Täielikul kujutamisel ja mõõtmestamisel esitatakse avad üldkehtivate tehniliste jooniste reeglite ja projekteerimismeetodite järgi ning mõõtmestatakse distants- ja mõõtjoonte abil (EVS-EN ISO 129-1). Seda meetodit kasutatakse, kui lihtsustatud esitus võib põhjustada joonise väärtõlgendamist (joonis 4.110.a).
- Täielik kujutamine ja lihtsustatud mõõtmestamine. Avad esitatakse mõõtkavas sümboolse kujutamisega ning mõõtmestatakse viitejoonte ja viitejoonte laudite abil. Avade mõõtmestamisel lõigetel on viitejoone nool suunatud ava nähtava serva ja telgjoone lõikepunkti (joonis 4.110.b). Pealtvaate mõõtmestamisel toetub viitejoone nool vastu ava kontuuri suunaga tsentrisse.
- Lihtsustatud kujutamine ja mõõtmestamine. Näidatud on ainult avade tsentrijooned. Projektsioonitasandiga paralleelselt asetsevate avade asukoht kujutatakse sümmeetriatelgjoonega. Pealtvaatel on ava tsenter märgitud ristikesega, mis on joonestatud laia pidevjoonega. Lihtsustatud mõõtmestamisel toetub viitejoone nool ava tsentrisse või ava nähtava serva ja telgjoone lõikepunkti (joonis 4.110.c).

Joonise selgema loetavuse seisukohast on soovitatav ühel joonisel kasutada korraga ühte loetletud meetoditest.



**Joonis 4.110.** Avade kujutamine ja mõõtmestamine.

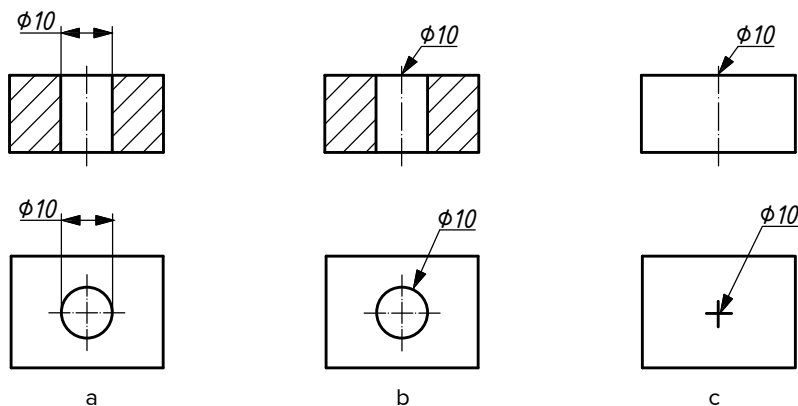
Joonisel 4.111 on toodud lisaks eespool (joonis 4.61) näidatud graafilistele sümbolitele avade mõõtmestamisel kasutatavad sümbolid.



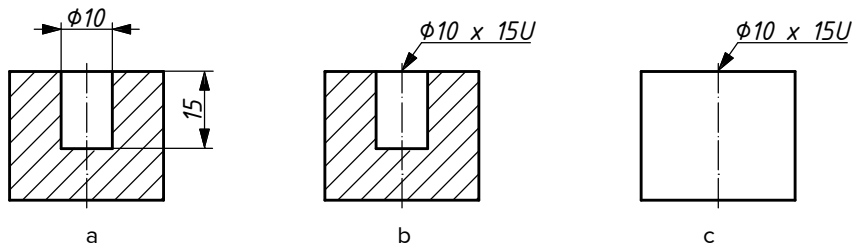
**Joonis 4.111.** Avade mõõtmestamisel kasutatavad graafilised sümbolid:

- a – sümbol sügavusmõõtmete või rühmade arvu ja tunnuste arvu vahel, nt keermepikkus ja ava sügavus;
- b – puuritud sileda põhjaga silindriline ava; c – puuritud koonilise põhjaga (puuri otsa kujuline) silindriline ava;
- d – indekseeritava instrumendiga saadud ava põhi; e – ava sügavus on mõõtmestatud kuni koonilise pinna tipuni.

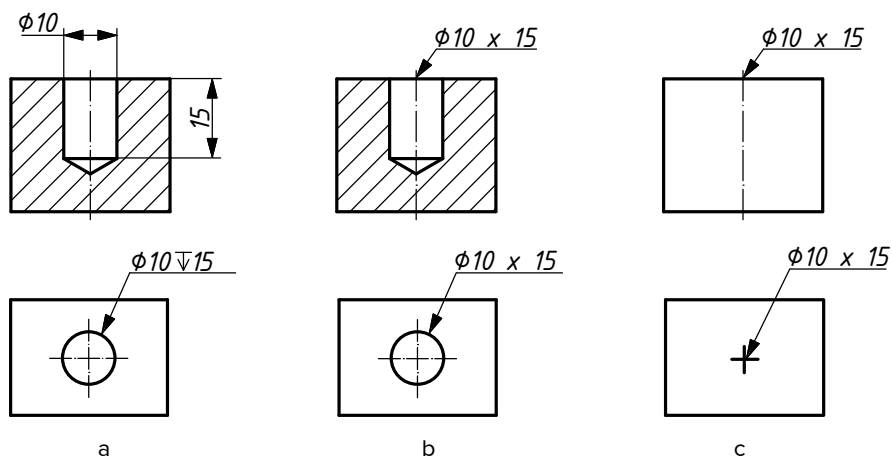
Joonistel 4.112.1...4.112.8 on toodud näiteid avade kujutamise ja mõõtmestamise kohta. Kõikidel näidetel on kujutatud kolme kujutamise ja mõõtmestamise meetodit: a – täielik kujutamine ja mõõtmestamine, b – täielik kujutamine ja lihtsustatud mõõtmestamine, c – lihtsustatud kujutamine ja mõõtmestamine.



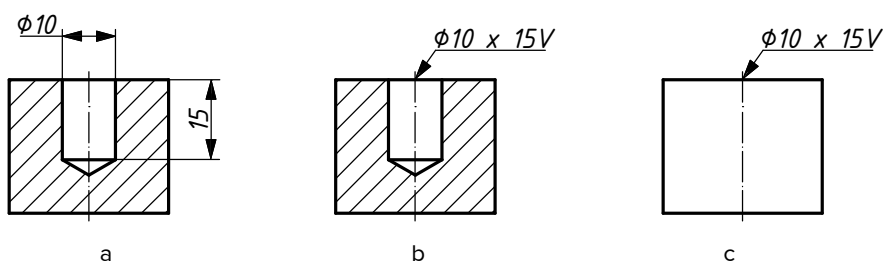
**Joonis 4.112.1.** Läbiv ava,  $\varnothing 10$  mm. Kui ava sügavust ei ole näidatud, siis on tegemist läbiva avaga.



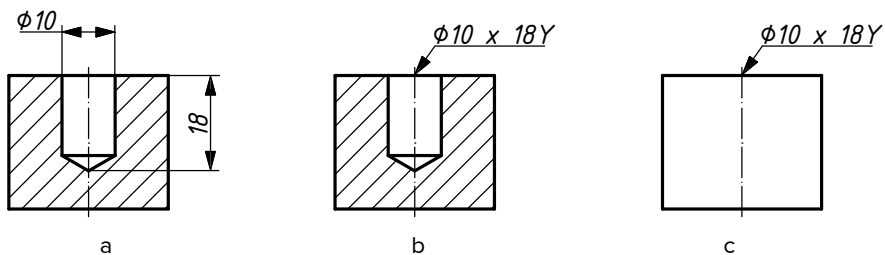
**Joonis 4.112.2.** Sileda põhjaga umbava,  $\varnothing 10$  mm, sügavus 15 mm.



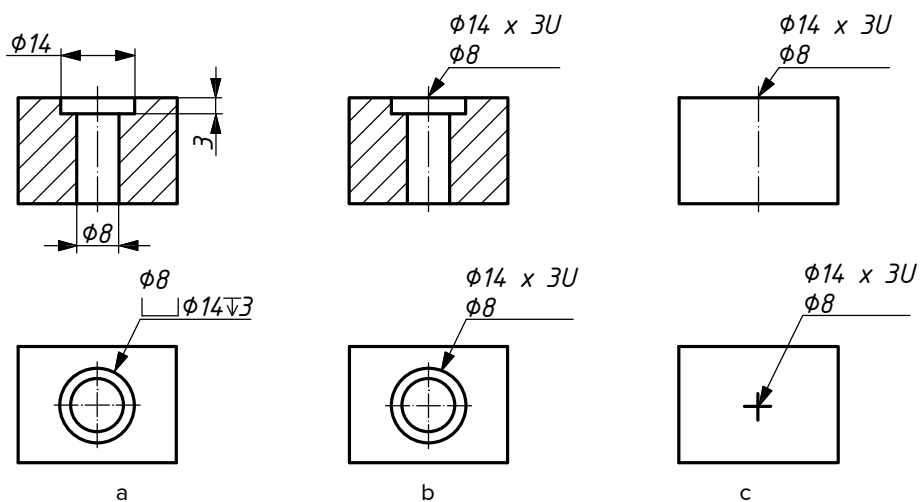
**Joonis 4.112.3.** Umbava, Ø10 mm, sügavus 15 mm. Kasutades sügavuse sümbolit ava täielikul mõõtmestamisel, märgitakse see koos sügavuse väärtusega pärast ava läbimõõtu. Kui ava põhi ei ole täpsustatud, siis võib kuju olla tootja äranägemisel.



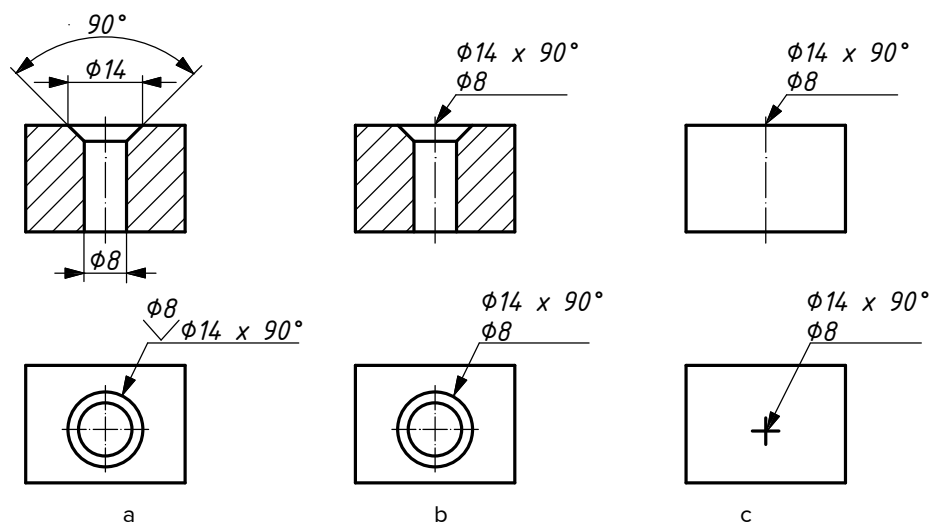
**Joonis 4.112.4.** Umbava, Ø10 mm, sügavus 15 mm



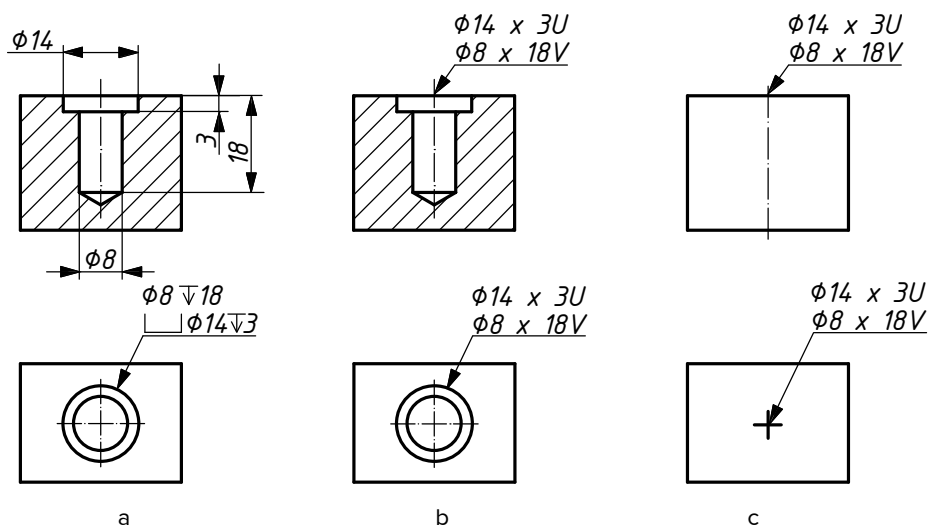
**Joonis 4.112.5.** Umbava, Ø10 mm, sügavus 18 mm kuni koonilise pinna tipuni



**Joonis 4.112.6.** Silindrilise süvisega Ø14 mm, sügavus 3 mm, läbiv ava Ø8 mm. Silindrilise süvisega ava täielikul mõõtmestamisel, kasutades silindrilise süvise sümbolit, märgitakse süvise läbimõõt ja sügavus ava läbimõõdu alla. Kahe või enama astmega avade lihtsustatud mõõtmestamisel kantakse mõõtmed üksteise kohale astmete paiknemise järjekorras.



**Joonis 4.112.7.** Koonilise süvisega  $\varnothing 14$  mm, nurk  $90^\circ$ , läbiv ava  $\varnothing 8$  mm. Koonilise süvisega ava täielikul mõõtmestamisel, kasutades koonilise süvisesümbolit, märgitakse süvises läbimõõd ja nurk ava läbimõõdu alla.

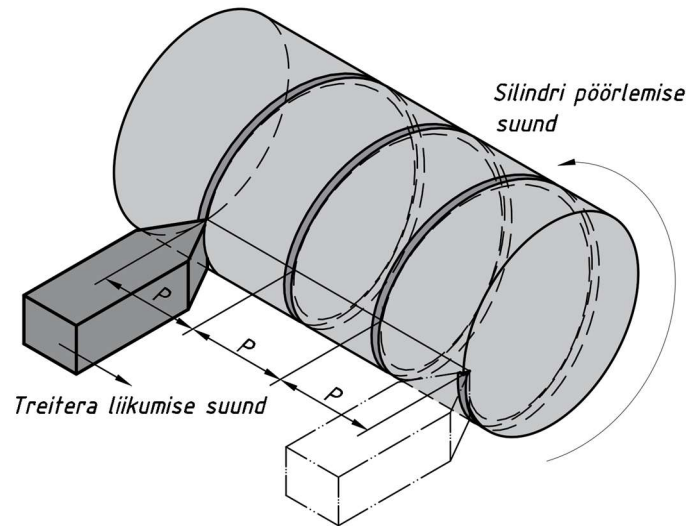


**Joonis 4.112.8.** Silindrilise süvisega  $\varnothing 14$  mm, sügavus 3 mm, umbava  $\varnothing 8$  mm, sügavus 18 mm. Silindrilise süvisega ava täielikul mõõtmestamisel, kasutades silindrilise süvisesümbolit, märgitakse süvises läbimõõd ja sügavus ava läbimõõdu alla. Kahe või enama astmega avade lihtsustatud mõõtmestamisel kantakse mõõtmised üksteise kohale astmete paiknemise järjekorras. Kõik avade sügavused mõõdetakse ülemisest pinnast.

## 24 KEERMED

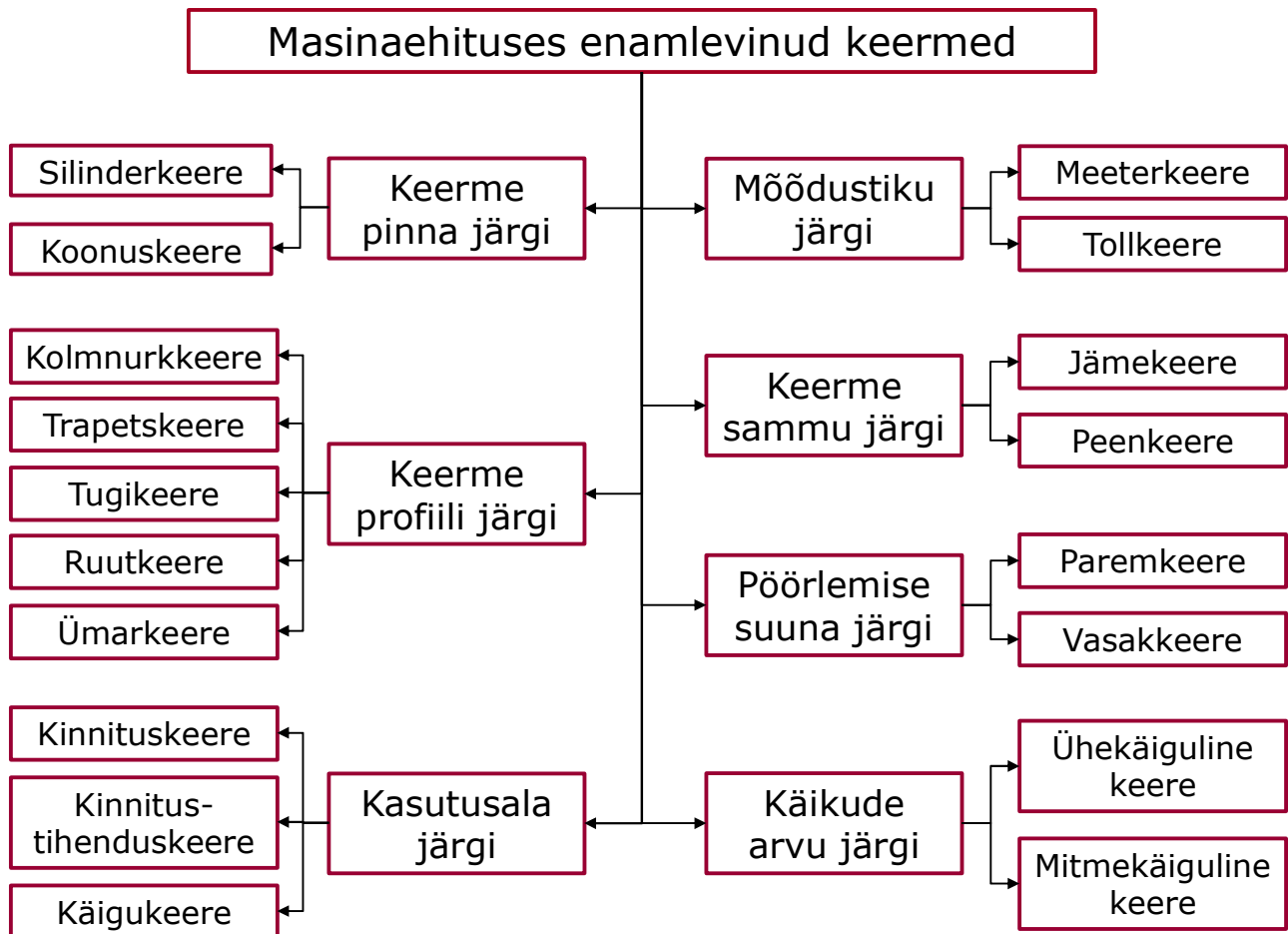
### 24.1 KEERMETE KUJUTAMINE

Keermetele kohaldatavad põhimõisted ja määratlused on kirjeldatud standardis ISO 5408. Keerme geomeetriliseks lähtealuseks on ruumiline kõver – krüvijoone (vt. punkte 19.3 ja 19.4.4). Keere tekib mingi tasapinnalise kujundi (kolmnurk, ruut, trapets vm) liikumisel mööda silindrilist või koonilist krüvijoont, kui kujundi üks külg toetub vastu silindri või koonuse moodustajat ja tema tasand läbib kogu liikumise jooksul vastava pöördkeha telge (joonis 4.113). Krüvijoone võib saada treipingis, kui kinnitada silindriline varras tsentrite vahele, panna ta ühtlaselt pöörlema ja anda lõiketerale ühtlane pikiteljesuunaline liikumine. Varda ühe täispöörde jooksul liigub treitera piki silindri moodustajat vahemaa, mida nimetatakse krüvijoone sammuks ( $P$ ). Kui pöördkeha kujutada koos temal tekkinud keermeniidiga jäiga tervikkehana, siis saame üldises mõttes keermega kruvi.



**Joonis 4.113.** Silindrilise krurvijoone moodustamine sirgjooneliselt liikuva treitera ja vastupäeva pöörleva silindrilise varda üheaegse liikumise tulemusena.

Keermete liigitus erinevate tunnuste järgi on toodud joonisel 4.114.



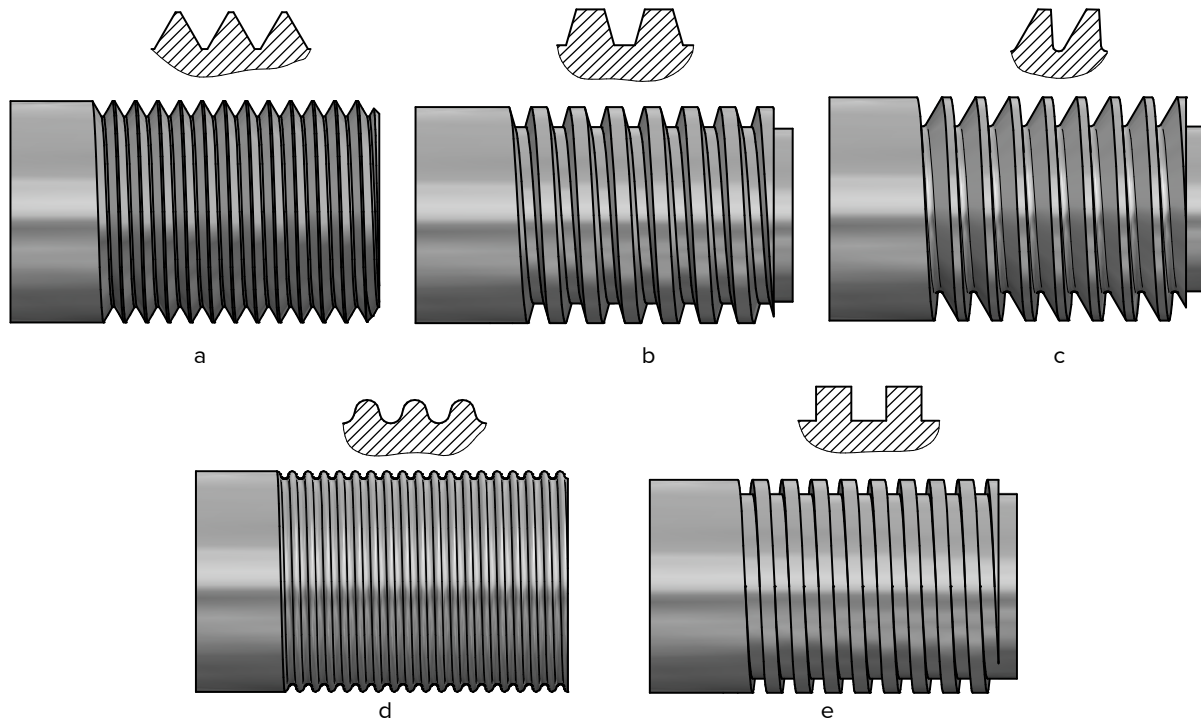
**Joonis 4.114.** Keermete liigitus erinevate tunnuste järgi.

Kruvi telgjoonest kõige kaugemal olevat keermeniidi ala nimetatakse **keerme harjaks**, kahe niidi vahelist nõgu – **keerme põhjaks**.

Keermeniidi kulgemise suuna järgi võib keere olla parem- või vasakpoolne, sõltudes keermeniidi suunast silindri või koonuse pinnal. Tavaliselt on keere parempoolne.

Olenevalt keerмениiti moodustanud tasapinnalise kujundi liigist eristatakse järgmise profiiliga keermeid (joonis 4.115):

- kolmnurkkeere (joonis 4.115.a);
- trapetskeere (joonis 4.115.b);
- tugikeere (joonis 4.115.c);
- ümarkeere (joonis 4.115.d);
- ruutkeere (joonis 4.115.e).



**Joonis 4.115.** Keermete liigid.

**Keeret iseloomustavad järgmised põhiparameetrid** (joonis 4.116):

$D \approx d$  – keeme nimiläbimõõt ehk keeme suurim läbimõõt (vastavalt sise- ja väliskeermel);

$D_1 \approx d_1$  – keeme vähim läbimõõt (vastavalt sise- ja väliskeermel);

$l$  – keeme tööosa pikkus;

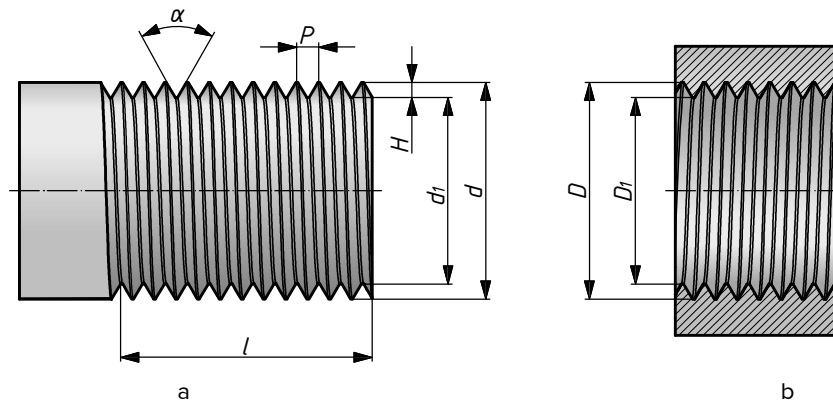
$H$  – keeme profiili kõrgus;

$P$  – keeme samm, s.o keeme kahe naaberprofiili teljesihiline vahekaugus;

$Ph$  – keeme käik ehk tõus, s.o ühe keerмениidi naaberprofiilide teljesihiline vahekaugus;

$\alpha$  – keeme profiilnurk, s.o telgasendis mõõdetud nurk keeme profiili külgede vahel;

$n$  – käikude arv, s.o täisarv, mis näitab, mitmest sammust moodustub keeme tõus.



**Joonis 4.116.** Keeme põhimõõtmel: a – väliskeermel; b – sisekeermel.

Kui kruvi liigub mutri sisse pööramisel ühe täisringiga telgsuunas edasi ühe sammu võrra, siis nimetatakse keeret **ühikäiguliseks keermeks**. Niisugusel keermel on keeme käik  $Ph$  võrdne keeme sammuga  $P$  ( $Ph = P$ ).

**Mitmekäigulistel** keermetel, võrreldes ühekäiguliste keermetega, on mitu keermeniiti ja keeme tõus on suurem. Seega mitmekäigulise keeme käik  $Ph = n \times P$ , kus  $n$  on keermekäikude arv.

Kasutusala järgi võib keermesid jaotada kolme gruppi:

- **kinnituskeere** – kasutatakse põhiliselt detailide ühendamiseks. Kinnituskeermetena kasutatakse kolmnurkse profiiliga keemeid. Enamkasutatavad on meeterkeere, tollkeere ja silindriline torukeere;
- **käigukeere** – kasutatakse liikumise või jõu ülekandmiseks ühelt detaililt teisele. Käigukeermetena on kasutatavamad trapetskeere, tugikeere ja ruutkeere.
- **kinnitus-tihenduskeere** – kasutatakse vedeliku- või gaasitiheda liite saamiseks. Kinnitus-tihenduskeermetena kasutatakse silindrilist ja koonilist torukeeret.

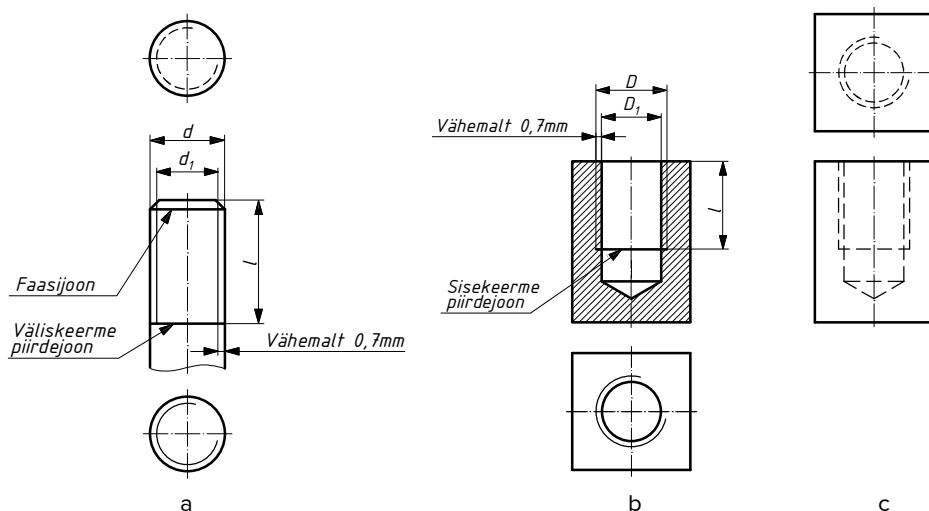
Enamasti on keermes standardised (v.a ruutkeere) ja nende valmistamiseks vajalikud mõõtmed on antud vastavates standardites ning joonisele märgitakse ainult keeme standardikohane tähis. Kõiki keermeliike kujutatakse joonisel standardi EVS-EN ISO 6410-1 järgi lihtsustatult (joonis 4.117).

Keere peab olema tähistatud vastavate standardite kohaselt. Esikohale kirjutatakse keeme tüübi tähis (sümbol), selle järele keeme nimiläbimõõt või -mõõt. Vajadusel lisatakse käigupikkus, samm ja käelisus ning lisanäitajad nagu tolerantsiklass, hambumine, käikude arv.

Keermeprofiili projektsiooniliselt täpse kuju üksikasjalik väljajoonestamine oleks tülikas ja aeganõudev. Varda pinnale lõigatud keere on **väliskeere**, keermestatud avadel on **sisekeere**. Joonisel kujutatakse nii välis- kui sisekeeme harjad laia pidevjoonega ja keeme põhjade joon kitsa pidevjoonega. Keeme hari vastab väliskeeme puhul suurimale läbimõõdule ja sisekeeme puhul väikseimale läbimõõdule. Keeme põhi vastab väliskeeme puhul vähimale läbimõõdule ja sisekeeme puhul suurimale läbimõõdule. Keermete kujutamisel on soovitatav, et keeme harja ja põhja kujutavate joonte vahekaugus oleks võimalikult lähedane keeme profiili tegelikule kõrgusele, kuid ühelgi juhul ei tohi see vahekaugus olla väiksem kui 0,7 mm või kahekordne laijoone laius (olenevalt sellest, kumb mõõt on suurem). Teatud juhtudel, näiteks arvutijoonistel, võib vahekaugus olla 1,5 mm (kui  $d \geq 8$  mm).

Väiksemate keermete korral (kui  $d \leq 6$  mm), on standardi EVS-EN ISO 6410-3 järgi lubatud kasutada keermete lihtsustatud kujutamist. Ei joonestata keeme otste faase, keeme väljajooksu, väljajooksu soont ja mõõtmestada võib lihtsustatult.

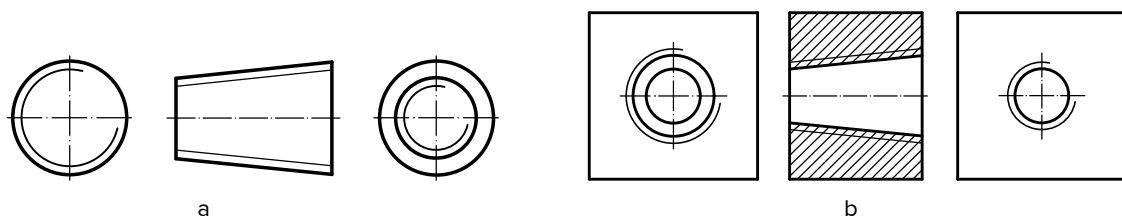
Kui keermega detail on kujutatud otsast vaadatuna, tähistab keeme harja laia pidevjoonega joonestatud ringjoon, keeme põhja aga  $\frac{3}{4}$  ringjoone ulatuses joonestatud kitsas pidevjoon (joonis 4.117). Viimane ei alga ega lõpe telgjoonel ja avatud osa kujutatakse eelistatult parempoolses ülemises osas. Kui see ei ole võimalik, siis on lubatud pöörata ka teise asendisse. Otsvaates on lubatud keeme ees olevat faasi ringjoont mitte kujutada.



**Joonis 4.117.** Silindrilise keeme kujutamine joonisel.

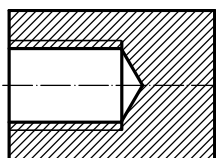
Joonisel 4.117.a on kujutatud silindrilise väliskeermega detail koos vaadetega kahelt poolt. Joonisel 4.117.b on näidatud silindriline sisekeere. Kui keere on antud lõikes, tõmmatakse viirutusjooned üle põhjasid tähistava kitsasjoone vastu laijoonega näidatud keeme harjajoont. Varjatud sisekeeme harju ja põhju näidatakse kitsa kriipsjoonega (joonis 4.117.c).

Joonisel 4.118 on kujutatud koonilise välis- ja sisekeermega detail koos vaadetega kahelt poolt.

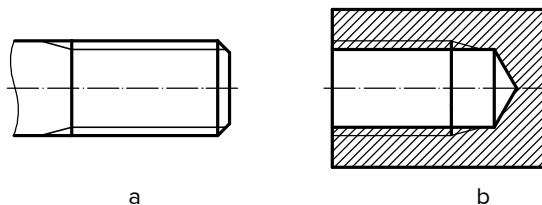


**Joonis 4.118.** Koonilise keeme kujutamine joonisel.

Täisprofiiliga keermeniitude lõppu näidatakse joonisel keermepiirdejoonega (joonis 4.117). Väliskeeme puhul tõmmatakse see laia pidevjoonena vastu harjajooni, sisekeeme puhul aga üle harjajoonte kuni kitsa pidevjoonega tähistatud põhjajoonteni. Kui keeme piirdejoon on varjatud, siis joonestatakse see kitsa kriipsjoonega. Joonistel, mille järgi keeret ei valmistata, on lubatud keeme lõppu tähistav joon kujutada ava põhja joonel (joonis 4.119).



**Joonis 4.119.** Joonis, mille järgi keeret ei valmistata.

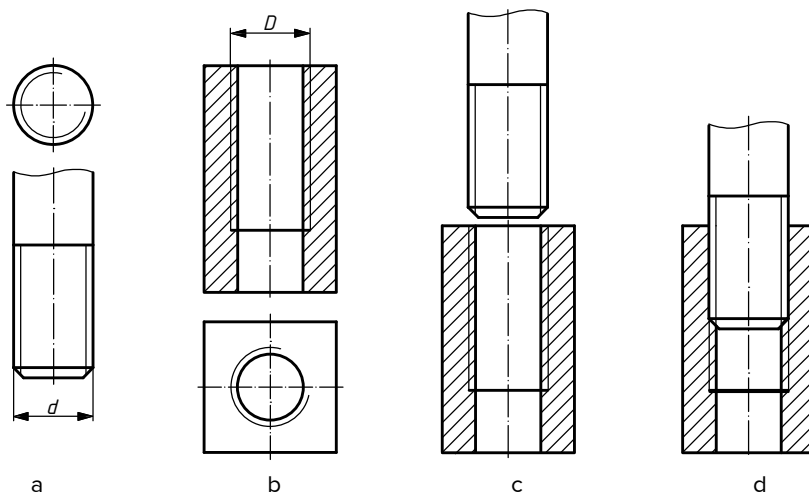


**Joonis 4.120.** Keeme väljajooks.

Keeme pikkus antakse tavaliselt keeme väljajooksu arvestamata, mis tekib keeme lõikamisel. See on üleminekuosa, kus keermel ei ole täisprofiili. Keeme väljajooks näidatakse vajaduse korral kitsa kaldu pidevjoonega (joonis 4.120.a keermestatud vardal ja joonis 4.120.b keermestatud avas), kuid tavaliselt seda joonisel ei kujutata.

Sisekeeme korral umbavas kujutatakse ava põhi koonilisena, mille tipunurk on  $120^\circ$  (selle tekitab puur).

**Keermesliidet** (s.o sise- ja väliskeeret ühendatult) kujutatakse joonisel 4.121 näidatud viisil. Väliskeermega detail joonestatakse täies ulatuses välja, sisekeeret aga joonestatakse nii palju, kui väliskeermega detail seda vabaks jätab.



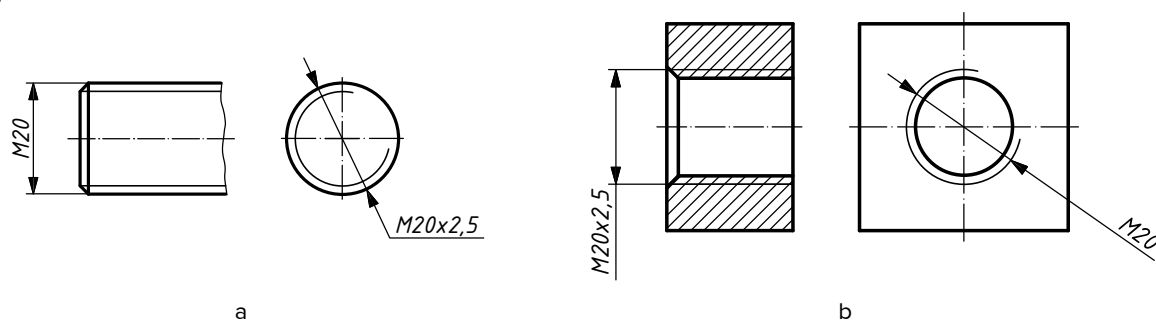
**Joonis 4.121.** Keermesliite tekkimine: a – väliskeermega detail; b – sisekeermega detail; c – keermesliite tekkimine; d – keermesliide.

## 24.2 KEERMETE TÄHISTAMINE JOONISEL

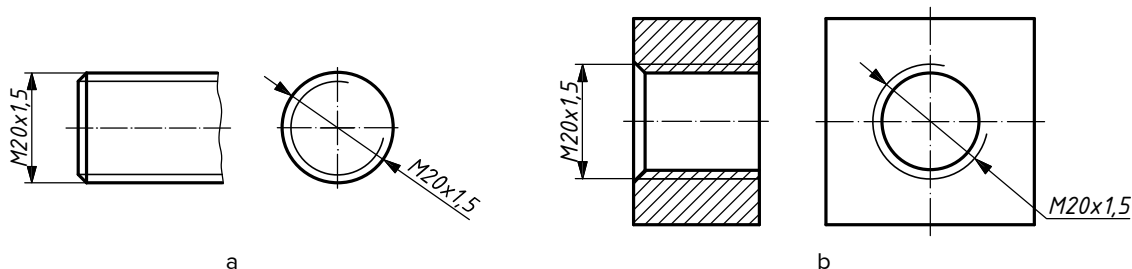
### 24.2.1 MEETERKEERE

Standard ISO 68-1 määrab kindlaks üldotstarbeliste meeterkeermete profiili, standardid ISO 261 ja ISO 724 keermete läbimõõdud ja sammud ning ISO 965-1 tolerantsisüsteemi. Meeterkeere on kolmnurkse profiiliga, mille tipunurk on 60°. Keeme tähiseks on täht M. Meeterkeeme tähistamisel lisatakse tähisele M keeme välisläbimõõt millimeetrites. Igale sama välisläbimõõduga keemele vastab mitu erineva sammuga meeterkeeret. Suurima sammuga keeret antud läbimõõdu puhul nimetatakse **jämekeermeks**. Kui meeterkeermel kasutatakse standardi ISO 261 järgi jämekeeme sammu, siis on lubatud keeme tähises sammu suurus jätta kirjutamata, s.t jämekeermete puhul on lubatud mõlemad keermete tähised – kas M20x2,5 või M20. Joonisel 4.122 on toodud tähise näide jämekeemele välisläbimõõduga 20 mm, sammuga 2,5 mm. Väiksema sammuga keermet nimetatakse **peenkeermeks**. Nende tähises näidatakse alati keeme sammu väärtus. Joonisel 4.123 on toodud tähise näide peenkeemele välisläbimõõduga 20 mm, sammuga 1,5 mm.

Tähis kirjutatakse nii sise- kui ka väliskeeme puhul keeme välisläbimõõtu näitavale mõõtjoonele või viitejoone laudile.

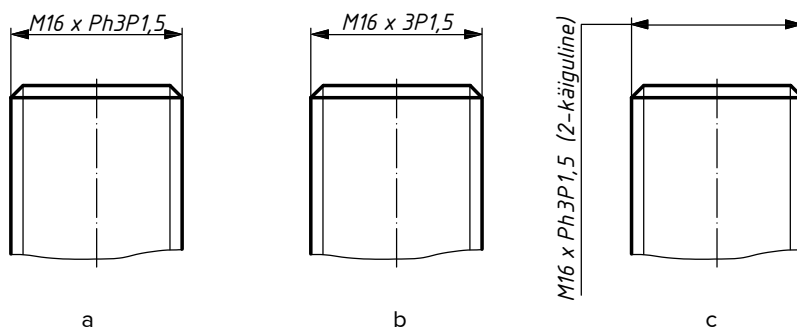


Joonis 4.122. Jämekeeme tähistamine joonisel: a – väliskeere; b – sisekeere.



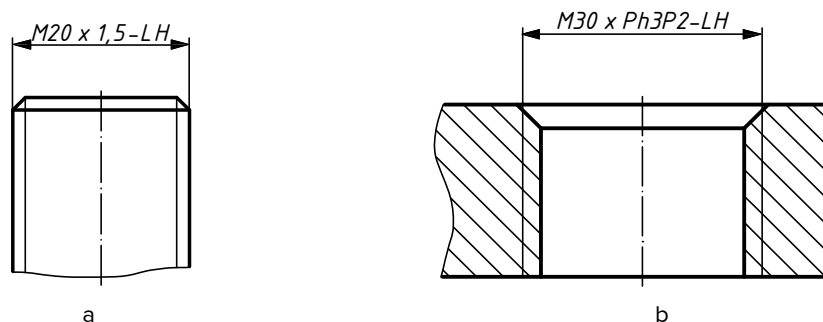
Joonis 4.123. Peenkeeme tähistamine joonisel: a – väliskeere; b – sisekeere.

Standardi ISO 965 kohaselt lisatakse mitmekäiguliste keermete tähises tähele M nimimõõde, millele järgneb sümbol „x“, tähed *Ph* koos käigupikkuse väärtusega ja täht *P* koos sammu väärtusega (joonis 4.124.a). Kui puudub joonise valesti mõistmise võimalus, siis on lubatud tähed *Ph* ära jätta (joonis 4.124.b). Selguse huvides võib sõnaliselt lisada sulgudesse käikude arvu (joonis 4.124.c).



Joonis 4.124. Mitmekäigulise keeme tähistamine joonisel.

Kui tegemist on vasakkeermega, siis lisatakse keermetähisele tähed LH (joonis 4.125). Kui detailil on nii vasak- kui ka paremkeermeid, siis lisatakse paremkeermetähisele tähed RH. Tavaliselt tähti RH tähisele ei lisata.



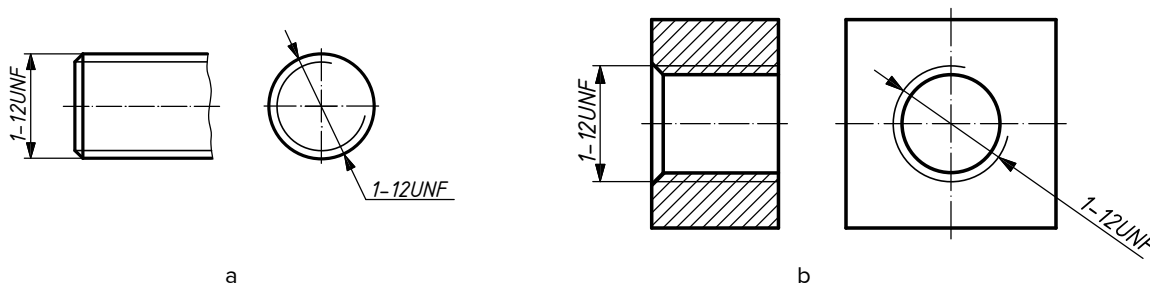
**Joonis 4.125.** Vasakkeermetähistamine joonisel: a – ühekäiguline keere; b – mitmekäiguline keere.

## 24.2.2 TOLLKEERE

Standard ISO 68-2 määrab kindlaks üldotstarbeliste tollkeermete profiili, standardid ISO 263, ISO 725 ja ISO 5864 keermete läbimõõtude ja sammude seeriad. Tollkeere on kolmnurkse profiiliga, mille tipunurk on  $60^\circ$ .

Tollkeermetähiseks on keermet välisläbimõõt tollides ( $1''=25,4\text{mm}$ ). Erinevalt meeterkeermest näidatakse samm keermeniiitide (keerdude) arvuga ühe tolli kohta. Tollkeermed on jagatud kahte rühma. Esimese rühma moodustavad unifitseeritud sammuga keermed, kuhu kuuluvad järgmised seeriad: UNC (unifitseeritud jäme tollkeere), UNF (unifitseeritud peen tollkeere) ja UNEF (unifitseeritud ülipeen tollkeere). Teise rühma moodustavad kaheksa fikseeritud sammuga keeret: 4UN, 6UN, 8UN, 12UN, 16UN, 20UN, 28UN, 32UN.

Tollkeermetähis kirjutatakse nii sise- kui ka väliskeermepuhul keermet välisläbimõõtu näitavale mõõtjoonele või viitejoone laudile nagu meeterkeermepuhul. Joonisel 4.126 on toodud tähise näide peentollkeermele välisläbimõõduga 1 toll, keermeniiitide arvuga 12.



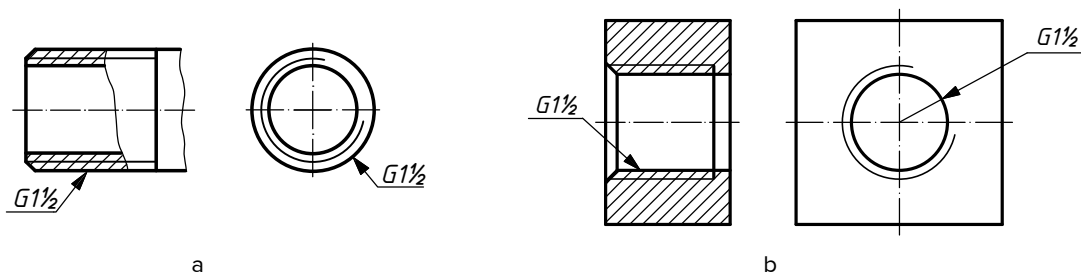
**Joonis 4.126.** Tollkeermetähistamine joonisel: a – väliskeere; b – sisekeere.

## 24.2.3 TORUKEERE

Torukeeret kasutatakse vedeliku- või gaasitorustike ühenduskohtades. Torukeere on kolmnurkse profiiliga, mille tipunurk on  $55^\circ$ .

Torukeermed jagunevad:

**1) Torukeermed, kus keermetele ei tehta survekindlaid ühendusi.** Standard EVS-EN ISO 228-1 määrab kindlaks torukeermet profiili, mõõtmed, tolerantsid ja tähistuse. Need keermed (nii sise- kui ka väliskeere) on silindrilised. Keermet leppeline tähis on G. Keermesamm määratakse keermeniiitide arvu järgi ühe tolli kohta. Tähistele G lisatakse toru siseläbimõõt tollides. Kuna keermetähises antakse toru ligikaudne siseläbimõõt, mis ei vasta keermet tegelikule välismõõtmele, siis kirjutatakse keermet tähis viitejoone laudile ja viitejoon suunatakse vastu keermeharja kontuuri. Joonisel 4.127 on toodud torukeermet  $1\frac{1}{2}$  tolli tähise näide.

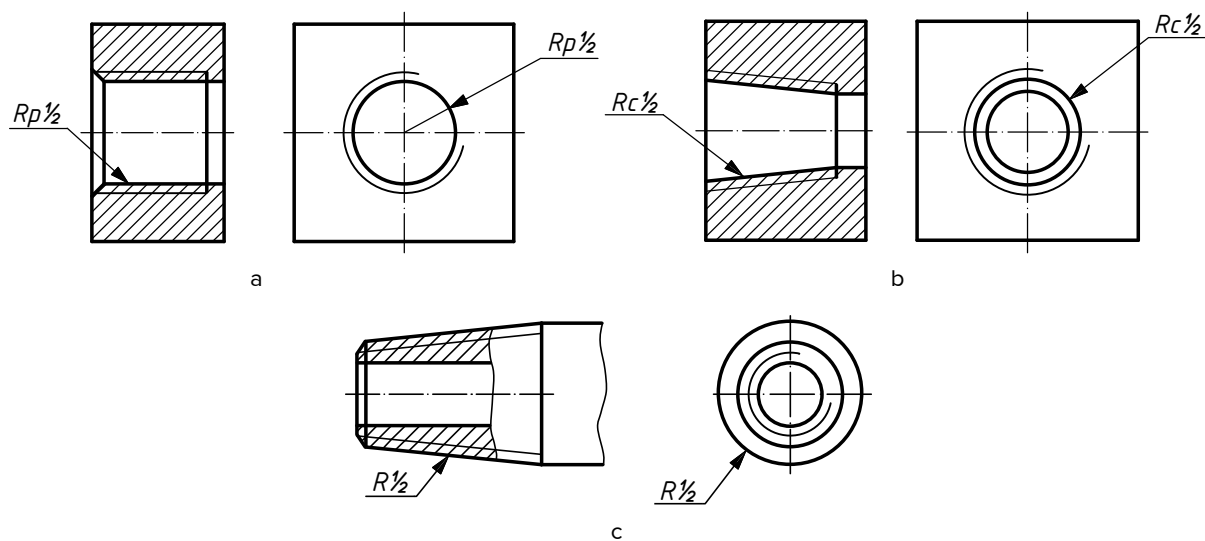


**Joonis 4.127.** Torukeerme tähistamine joonisel: a – väliskeere; b – sisekeere.

**2) Torukeermed, kus keermetele tehakse survetihedad ühendused.** Standard EVS-ISO 7-1 määrab kindlaks torukeerme profiili, mõõtmed, tolerantsid ja tähistuse (keerme suurused 1/16 kuni 6). Sellesse seeriasse kuuluvad järgmised keermed:

- silindriline sisekeere, leppeline tähis Rp;
- kooniline sisekeere, leppeline tähis Rc;
- kooniline väliskeere, leppeline tähis R.

Keere on väikese koonilisusega. Tähisele lisatakse toru siseläbimõõt tollides. Kuna keermetähistes antakse toru ligikaudne siseläbimõõt, mis ei vasta keermetegeliku välismõõtmele, siis kirjutatakse keermetähis viitejoone laudile ja viitejoon suunatakse vastu keermeharja kontuuri. Välisläbimõõt määratakse torule lõigatud keermepikkuse ligilähedases keskkohas paikneval aluspinnal ja see võrdub samamõdulise silindrilise keermetähistega. Joonisel 4.128 on toodud torukeerme 1/2 tolli tähistused standardi EVS-ISO 7-1 järgi.

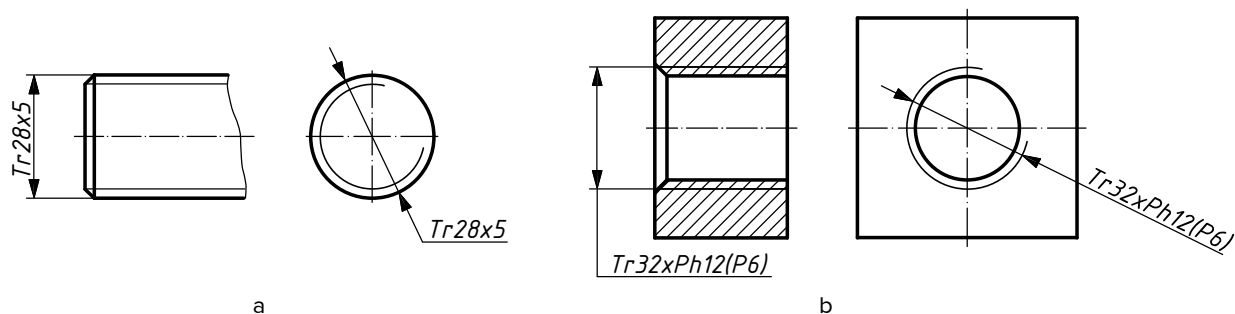


**Joonis 4.128.** Torukeerme tähistamine joonisel: a – silindriline sisekeere; b – kooniline sisekeere; c – kooniline väliskeere.

## 24.2.4 TRAPETSKEEERE

Standard ISO 2901 määrab kindlaks trapetskeermete profiili, standardid ISO 2902 ja ISO 2904 keermete läbimõõdud ja sammud ning ISO 2903 tolerantsisüsteemi.

Trapetskeere on trapetsikujulise profiiliga, mille külgede vaheline nurk on 30°. Trapetskeermetähis on Tr. Tähisele Tr lisatakse keermetähistega välisläbimõõt millimeetrites ja keermesamm. Mitmekäiguliste keermete puhul lisatakse tähisele Tr keermetähistega välisläbimõõt, keermekäigupikkus, mille ette kirjutatakse tähis Ph, ja sulgudes keermesamm, mille ette kirjutatakse täht P. Tähis kirjutatakse välisläbimõõtu näitavale mõõtjoonele (joonis 4.129).



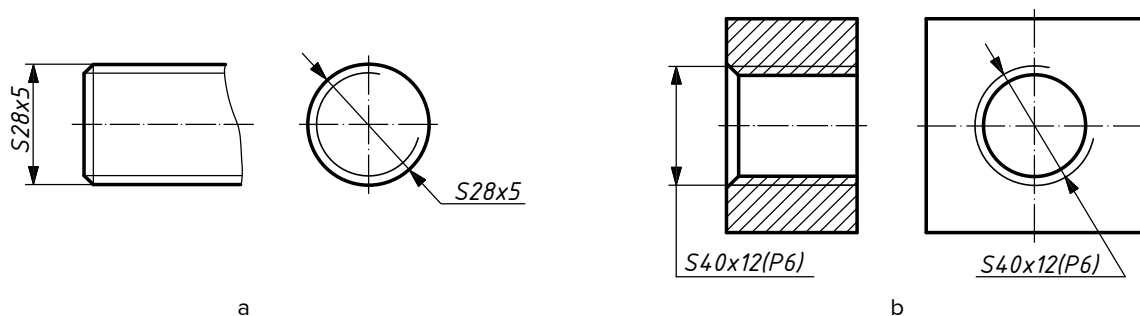
**Joonis 4.129.** Trapetskeerme tähistamine joonisel: a – ühekäiguline; b – kahekäiguline.

## 24.2.5 TUGIKEERE

Tugikeeret kasutatakse suurte ühesuunaliste teljesuunaliste jõudude ülekandmiseks, näiteks kruus- tangides, tungraudades, pressides.

Tugikeere on trapetsikujulise profiiliga keere, millel profiili toepoolne külg on telje ristseisu suhtes kaldu  $3^\circ$  ja tagumine pind  $30^\circ$ . Tugikeerne tähis on S. Tähisele S lisatakse keerne välisläbimõõt millimeetrites ja keerne samm. Mitmekäiguliste keermete puhul lisatakse tähisele S keerne välisläbimõõt, keerne käigu- pikkus ja sulgudes keermesamm, mille ette kirjutatakse täht P. Tähis kirjutatakse välisläbimõõtu näitavale mõõtjoonele (joonis 4.130).

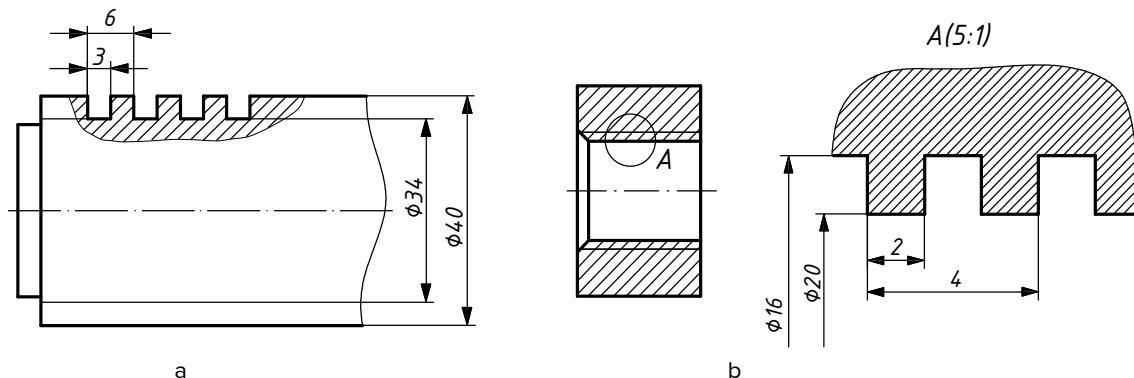
Tugikeerne profiil, mõõtmed, tolerantsid ja tähistus on määratud standarditega DIN 513-1; 2; 3: 2020.



**Joonis 4.130.** Tugikeerne tähistamine joonisel: a – ühekäiguline; b – kahekäiguline.

## 24.2.6 RUUTKEERE

**Ruutkeere** ei ole standardiga määratud ja seepärast kantakse kõik keerne valmistamiseks vajalikud mõõtmed joonisele. Mõõtmeid võib näidata osaliselt objektil keerne tingkujutise peal (joonis 4.131.a) või suurendavas mõõtkavas välja toodud elemendi abil (joonis 4.131.b). Vajadusel korral lisatakse keeret iseloomustavad märkused, näiteks käikude arv või see, et tegemist on vasakkeermega.

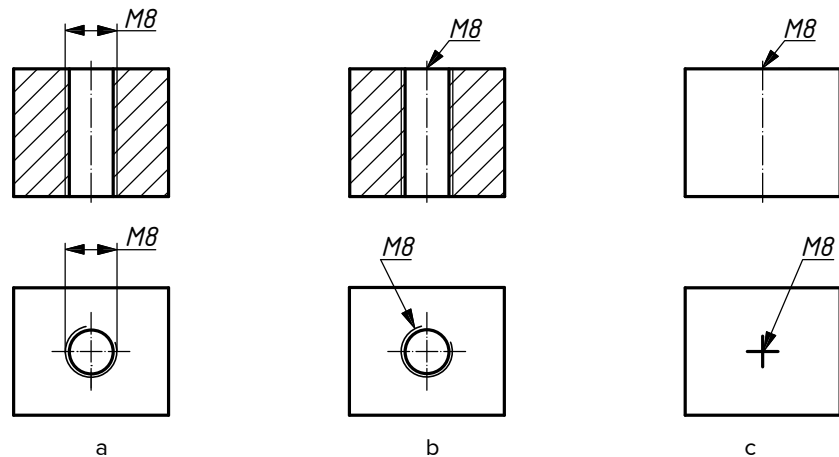


**Joonis 4.131.** Ruutkeerne tähistamine joonisel: a – keerne tingkujutise peal; b – väljatoodud elemendi abil.

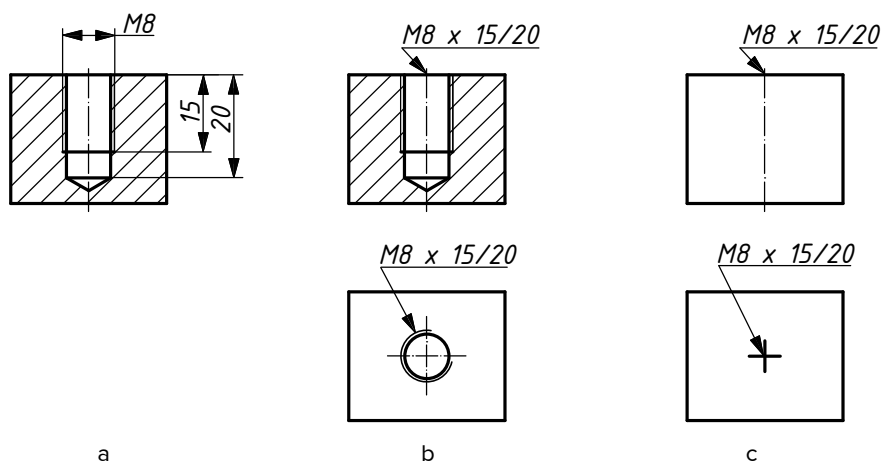
## 24.2.7 KEERMESTATUD AVADE MÕÕTMESTAMISE NÄITEID

Keermestatud avade kujutamisel joonisel võib kasutada samu meetodeid, mida kasutatakse avade kujutamisel (vt. punkt 23.3.12).

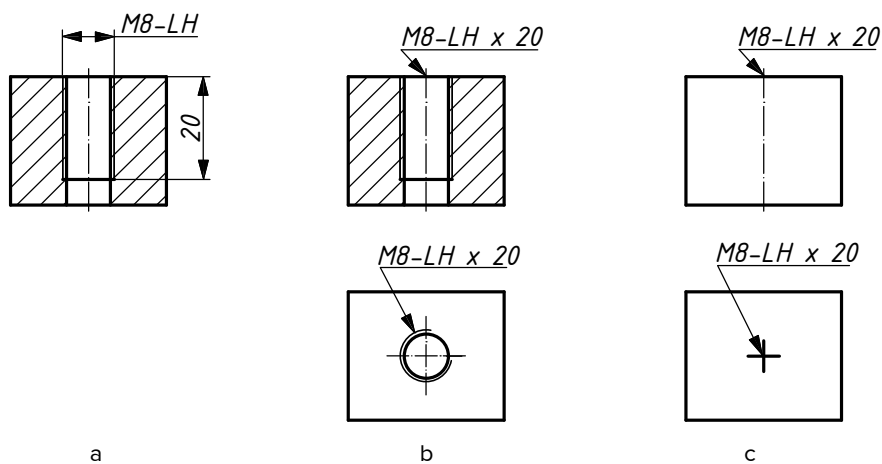
Joonistel 4.132.1...4.132.6 on toodud keermestatud avade kujutamise ja mõõtmestamise näited. Kõikidel näidetel on kujutatud kolme kujutamise ja mõõtmestamise meetodit: a – ava täielik kujutamine ja mõõtmestamine, b – ava täielik kujutamine ja lihtsustatud mõõtmestamine, c – ava lihtsustatud kujutamine ja mõõtmestamine.



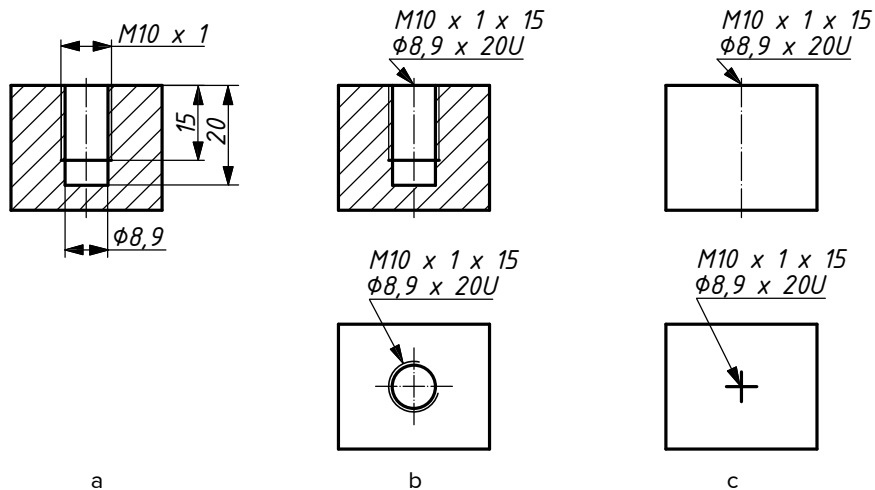
**Joonis 4.132.1.** Keermestatud läbivava keermega M8.



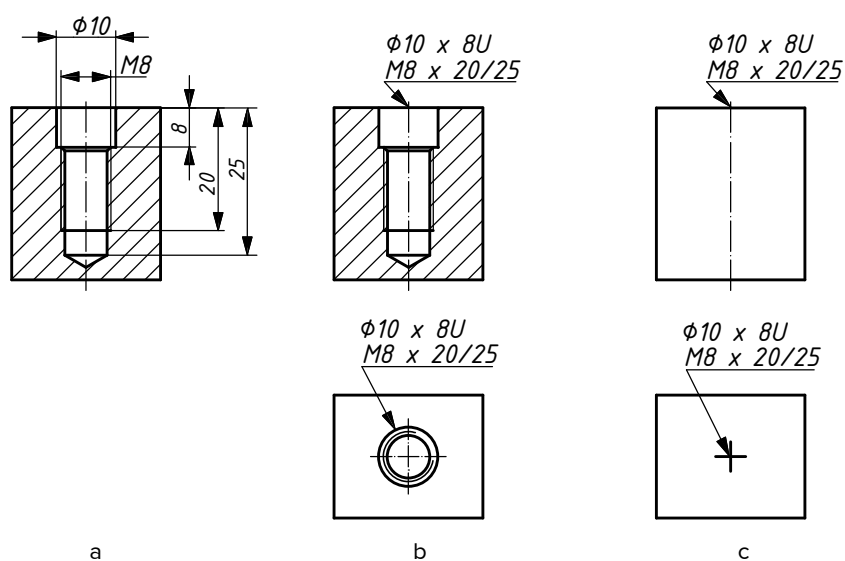
**Joonis 4.132.2.** Puuritud ava keermega M8, sügavus 25 mm, keeme pikkus 20 mm. Ava põhi ei ole täpsustatud.



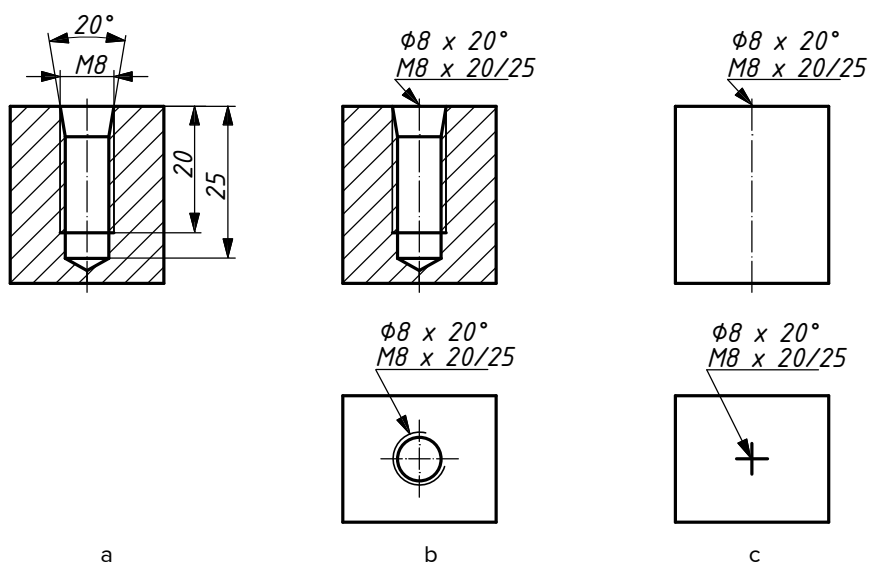
**Joonis 4.132.3.** Läbivava vasakkeermega M8, keeme pikkus 20 mm.



**Joonis 4.132.4.** Läbimõõduga 8,9 mm ja sügavusega 20 mm siledapõhjaline ava peenkeermega M10x1, kerme pikkus 15 mm.



**Joonis 4.132.5.** Silindrilise süvisega (süvise läbimõõt 10 mm ja sügavus 8 mm) 25 mm sügavusega ava keermega M8, kerme pikkus 15 mm. Ava põhi ei ole täpsustatud.



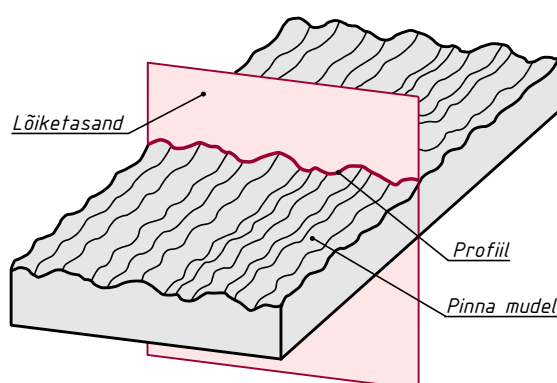
**Joonis 4.132.6.** Koonilise süvisega nurgaga 20° (puuritud ava läbimõõduni) 25 mm sügavusega ava keermega M8, kerme pikkus 20 mm. Ava põhi ei ole täpsustatud.

## 25 PINNAKAREDUS

Detaili pind ei ole kunagi täiesti sile. Pindu iseloomustab alati mingi karedus, mis on tingitud töötlemisviisist (valuvormidest, metalli vormimisest stantsimisel või pinna töötlemisest lõikeriistadega) ja kvaliteedist. Pinnakareduse all mõistetakse töötlemisel detaili pinnale tekkivaid konarusi, mis moodustavad selle pinna reljeefi (joonis 4.133). Detaili pind on otstarbekas töödelda optimaalse kareduseni, et detail oleks kasutatav kavandatud rakenduse jaoks. Pinna lisatöötlemine kvaliteedi parandamiseks tõstab toote hinda. Pinnakareduse tähise madalam arv kujutab endast väiksemaid ebakorrapärasusi, s.t siledamat pinda.

Aastani 2021 kasutatud ja seni kirjanduses viidatavad standardid ISO 1302, ISO 4287, ISO 4288, ISO 13565-2 ja -3 on asendatud kolmeosalise standardiga ISO 21920:

- ISO 21920-1 määrab kindlaks reeglid pinnakareduse tähistamiseks profiilimeetoditega toote tehnilises dokumentatsioonis graafiliste sümbolite abil;
- ISO 21920-2 määrab kindlaks terminid, määratlused ja parameetrid pinnakareduse määramiseks;
- ISO 21920-3 määrab pinnakareduse täieliku spetsifikatsiooni (vaikeväärtused, mille võib joonisel pinnakareduse tähistamisel ära jätta).



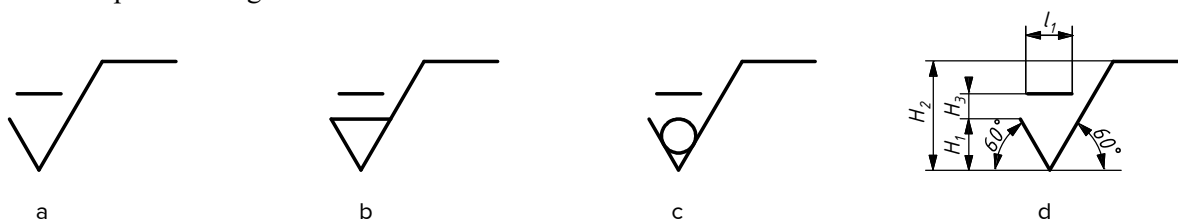
Joonis 4.133. Detaili pinna mudel.

Pinnakaredust iseloomustatakse profiili keskmise hälbe  $Ra$  [ $\mu\text{m}$ ], mis on pinna profiili keskjoonest lähteulatuses mõõdetud hälvete absoluutväärtuste aritmeetiline keskmine, või pinnakonaruste suurima kõrgusega  $Rz$ .

Pinnakareduse parameetrite väärtuste aktsepteerimise 3 reeglit on:

- 1) Maksimaalse väärtuse aktsepteerimise reegli korral ei tohi ükski mõõdetud väärtus ületada suurimat etteantud väärtust. Sümboliks on „Tmax“. Pinnakareduse tähistamisel maksimaalse väärtuse aktsepteerimise reegel on vaikereegel ja kehtib koos tähisega „Tmax“ või ilma.
- 2) 16% väärtuse aktsepteerimise reegli korral võib kuni 16% kõigist mõõdetud väärtustest ületada lubatud väärtusi. Sümboliks on „T16%“;
- 3) Keskmise väärtuse aktsepteerimise reegli korral peavad kõik mõõdetud väärtused vastama etteantud väärtusele. Sümboliks on „Tmed“.

Standardites ISO 21920 kasutatakse uut, muudetud pinnakareduse sümbolit (joonis 4.134). Sümboli mõõtmed on seotud joonisel kasutatava kirja kõrgusega  $h$  (vt tabel 4.1). Uuema standardi sümbolit eristab vanemast kriips kolmnurga kohal.



Joonis 4.134. Pinnakareduse sümbolid: a – on lubatud igasugune töötlemisviis; b – pind tuleb töödelda materjalikihi eemaldamisega; c – materjalikihi eemaldamine ei ole lubatud; d – sümboli elemendid.

**Tabel 4.1.** Pinnakareduse sümboli parameetrid sõltuvalt kirja kõrgusest.

|                            |      |      |     |     |    |     |    |
|----------------------------|------|------|-----|-----|----|-----|----|
| Kirja kõrgus, $h$          | 2,5  | 3,5  | 5   | 7   | 10 | 14  | 20 |
| Sümbolite joone laius, $d$ | 0,25 | 0,35 | 0,5 | 0,7 | 1  | 1,4 | 2  |
| Kirja joone laius, $(h/d)$ |      |      |     |     |    |     |    |
| Kõrgus, $H_1$              | 3,5  | 5    | 7   | 10  | 14 | 20  | 28 |
| Kõrgus, $H_2$ (miinimum)   | 7,5  | 10,5 | 15  | 21  | 30 | 42  | 60 |
| Kõrgus, $H_3$              | 2    | 2,5  | 3,5 | 5   | 7  | 10  | 14 |
| Pikkus, $l_1$              | 3    | 4,5  | 6   | 8,5 | 12 | 17  | 24 |

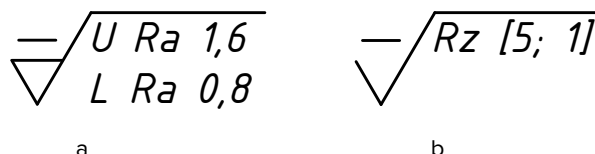
Pinnakaredus märgitakse joonisele standardite nõuete järgi. Joonisele kantud pinnakareduse tähis näitab nõudeid tooriku pinnale. Minimaalne pinnakareduse tähis joonisel peab sisaldama pinnakareduse sümbolit, pinnaparametri tähist ja pinnakareduse väärtust (joonis 4.135). Sellise tähistusega on täpsustatud ka määratletud vaikeväärtused (ISO 21920-3). Täielik tähis määratleb kõigi parameetrite väärtuste kandmise järjestuse. Täielikku tähist kasutatakse praktikas harva.



**Joonis 4.135.** Pinnakareduse tähistus.

Kui on määratud pinnakareduse väärtuste vahemik, siis võib seda näidata joonisel kahte moodi (joonis 4.136):

- kahel real, näidates eraldi ülemise ja alumise piiri. Sel juhul kasutatakse tähiseid „U“ ülemine ja „L“ alumise piiri jaoks;
- ühel real, näidates väärtuste intervalli. Seda varianti saab kasutada sel juhul, kui nõuded mõlema väärtuse jaoks on samad.

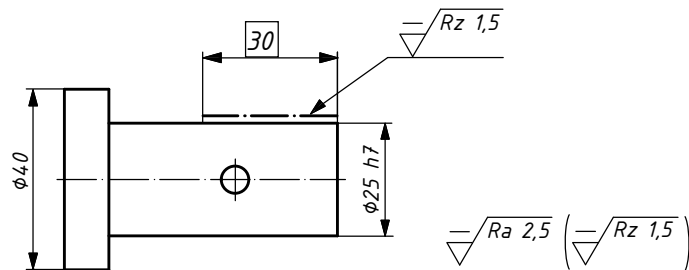


**Joonis 4.136.** Vahemiku tähistamine joonisel: a – kahel real; b – ühel real.

Pinnakaredus kantakse joonisel kujutise selle osa juurde, kus on näidatud pinna mõõtmed. Nii nagu mõõtmete väärtused, peavad ka pinnakareduse andmed olema joonisel loetavad vasakult-paremale või alt-üles. Ühe ja sama pinna kohta käivad kareduse andmed kantakse joonisele ainult üks kord. Pinnakareduse sümboli teravik toetub kas vastu tähistatavat pinda, distantsjoont või viitejoone laudit. Esitatud pinnakareduse nõuded kehtivad kogu pinna kohta, millele sümboli teravik toetub. Mõõtjoonele võib kanda pinnakareduse tähise ainult silindrilisele pinnale, kui puudub joonise valesti tõlgendamise oht. Joonisel 4.137 on pinnakareduse joonisele kandmise näited.



Kui kindlaks määratud pinnakaredust tahetakse näidata detaili piiratud osale, siis see pinna osa tähistatakse (vt. punkt 23.3.12) ja kantakse pinnakareduse tähis (joonis 4.140).



**Joonis 4.140.** Pinnakareduse tähistamine piiratud osas.

Igas tootmisprotsessis saadav pinnakaredus on erinev, mis tuleneb kasutatavatest materjalidest, tööriistadest, töötlemismeetoditest ja -režiimidest. Parema ülevaate saamiseks saadavatest pinnakaredustest on tabelis 4.2 toodud levinumate tootmisprotsesside kasutamisel kareduste Ra ja Rz väärtused, mis on saadud tavatöötamise käigus. Sõltuvalt nõutud tingimustest võib kasutada ka jäme- või täppistöötlust.

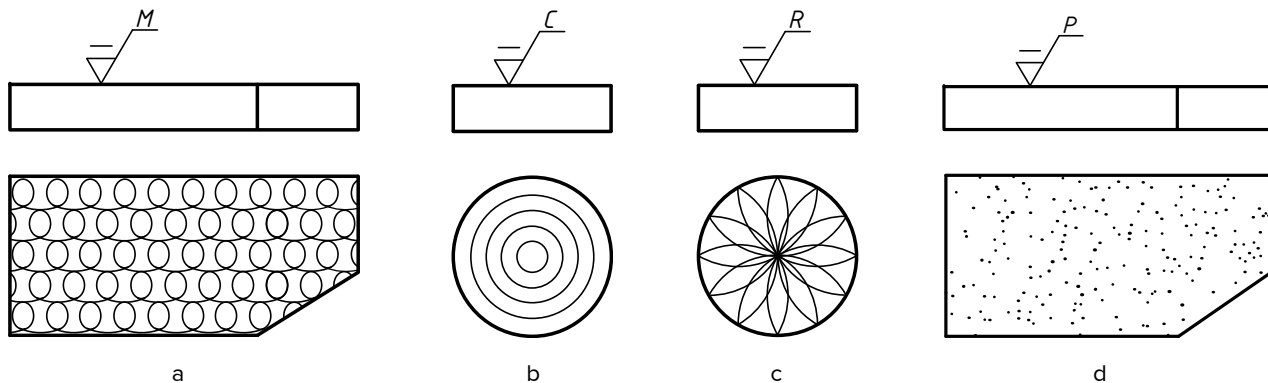
**Tabel 4.2.** Pinnakareduse andmed sõltuvalt töötlemisviisist.

| TÖÖTLEMISVIIS              | SAAVUTATAV PINNAKAREDUS |                   |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|
|                            | Ra, $\mu\text{m}$       | Rz, $\mu\text{m}$ |
| Valutehnoloogia            |                         |                   |
| Liivavormvalu              | 25...12,5               | 250...63          |
| Kokillvalu                 | 12,5...1,6              | 160...25          |
| Survevalu                  | 1,6...0,8               | 100...10          |
| Survetöötlus               |                         |                   |
| Stantsimine                | 12,5...3,2              | 400...63          |
| Ekstrudeerimine            | 12,5...3,2              | 400...63          |
| Lehtmetalli sügavtõmbamine | 3,2...0,8               | 10...4            |
| Valtsimine                 | 0,4...0,1               | 6,3...1           |
| Lõiketöötlemine            |                         |                   |
| Vesilõikus                 | 25...6,3                | 100...16          |
| Laserlõikus                | 6,3...0,8               | 100...10          |
| Puurimine                  | 12,5...1,6              | 160...40          |
| Freesimine                 | 12,5...1,6              | 63...10           |
| Sisetreimine               | 6,3...0,4               | 25...2,5          |
| Pikitreimine               | 6,3...0,4               | 63...4            |
| Hõõritsemine               | 3,2...0,8               | 10...4            |
| Tasalihvimine              | 6,3...0,1               | 6,3...4           |
| Ümarlihvimine              | 0,8...0,2               | 4...1,6           |
| Traaterosioon              | 0,8...0,4               | 16...2,5          |
| Mahterosioon               | 0,6...0,4               | 10...4            |
| Superfiniš                 | 0,4...0,025             | 1...0,1           |

Kui paigaldamisel on oluline pinnakihi konarusjoonte (töötlusjälgede) siht ja kuju, kasutatakse vastavaid tingimärke. Tingimärgid, mida kasutatakse pinnakihi töötlusvagude sihi näitamiseks paigaldamisel ilma viiteta, on toodud joonisel 4.141 ja kirjeldavad kujutised koos tähistusega (tingimärgi asukoht pinnakareduse sümbolil) joonisel 4.142.

$M$        $C$        $R$        $P$   
 a                  b                  c                  d

**Joonis 4.141.** Ilma viiteta kasutatavad pinnakihi konaruste sihi tingmärgid:  
 a – mitmesuunaline, muster ristub erinevates suundades või sellel puudub tera suund (joonis 4.142.a);  
 b – kontsentriline selle pinna keskpunktiga, millele sümbol kehtib (joonis 4.142.b);  
 c – radiaalne selle pinna keskpunkti suhtes, millele sümbol kehtib (joonis 4.142.c);  
 d – soonteta, suunata, teraline pind (joonis 4.142.d).

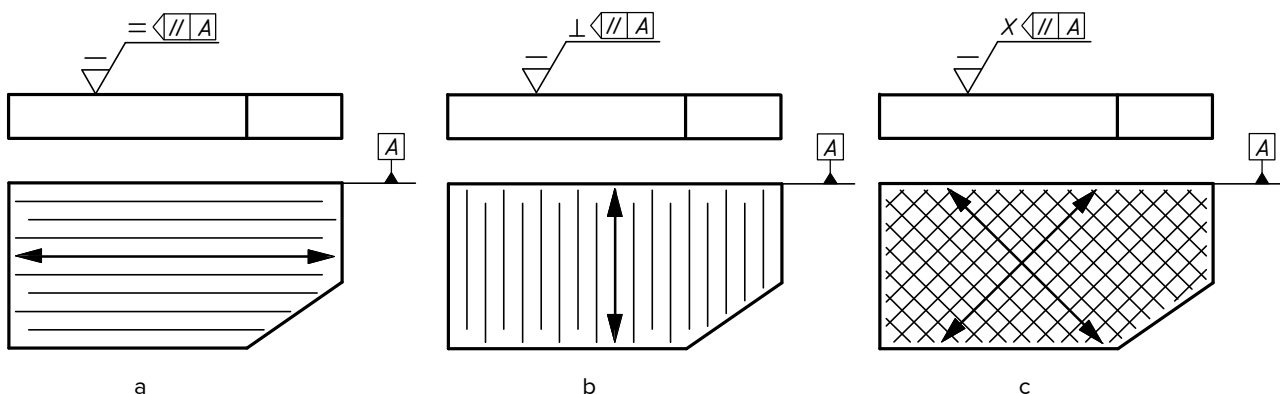


**Joonis 4.142.** Ilma viiteta kasutatavad pinnakihi konaruste sihi ja kuju kujutised ja tähistus.

Kui pinnakihi vagude sihi kohta esitatakse nõuded, siis kasutatavad tingmärgid on toodud joonisel 4.143 ja kirjeldavad kujutised koos tähistusega (tingmärgi asukoht pinnakareduse sümbolil) joonisel 4.144. Joonise 4.144 näidetel on kujutatud lõiketasandi kujutistähis, mis on võetud rööpselt lähtepinnaga A. Vastavalt sellele toimub paigaldus töötlemiseks, arvestades töötlemise sihi tingmärke.

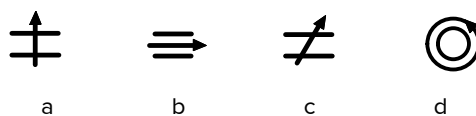
$=$        $\perp$        $\times$   
 a                  b                  c

**Joonis 4.143.** Tingmärgid, mida kasutatakse koos viitega pinnakihi konaruste sihi määramiseks:  
 a – rööpne projektsioonpinnaga (joonis 4.144.a); b – risti projektsioonpinnaga (joonis 4.144.b);  
 c – töötamise vaad on risti kahes suunas, aga diagonaalselt projektsioonpinnaga (joonis 4.144.c).



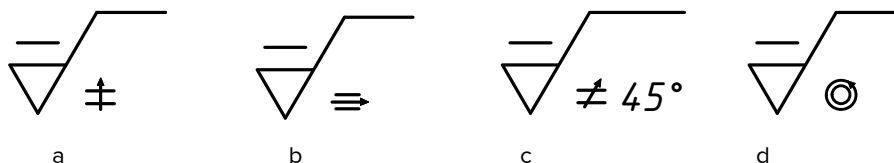
**Joonis 4.144.** Viitega kasutatavad pinnakihi konaruste sihi kujutised ja tähistus.

Nõutud profiili suunda valdava pinnakihi suhtes saab näidata joonisel 4.145 toodud sümboleid kasutades.



**Joonis 4.145.** Ilma viiteta kasutatavad töötuse sihi ja kuju tingmärgid:

- a – valdava suunaga risti (joonis 4.146.a);
- b – valdava suunaga paralleelselt (joonis 4.146.b);
- c – ringikujuliselt selle pinna tsentri suhtes, millele sümbol viitab (joonis 4.146.c);
- d – etteantud nurga all valdava pinna suhtes ( $0^\circ < n < 90^\circ$ ) (joonis 4.146.d).



**Joonis 4.146.** Profiili suuna tingmärkide asukoht pinnakareduse sümbolil.

## 26 TOLERANTSID JA ISTUD

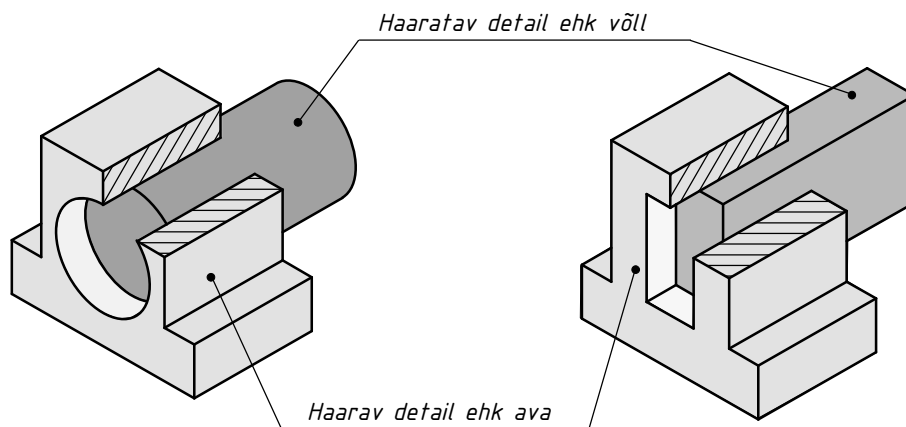
### 26.1 MÕISTED

Tänapäeva masinate ja mehhanismide detailid on muudetud vahetatavateks, s.t toodete kokku-panemisel vastavad identsed osad üksteisele ja võivad üksteist asendada ilma lisatöötuse ja -sobitamiset. Peamine osade vajalikku koostoimet tagav tegur on masinaosade kontaktpindade valmistamise täpsus. Detaile ei saa valmistada absoluutse täpsusega, nii et tegelikud mõõtmed võrduksid joonise nimimõõtmega. Alati esineb vajalikest mõõtmetest kõrvalekaldeid, mis tekivad tootmisprotsessis.

Standardis EVS-EN ISO 286-1 määratletakse koodsüsteemi põhiseisukohad ja juurdekuuluvad terminid, antakse tolerantsiklasside standarditud valik üldjuhtudeks paljude võimaluste seast. Standardis EVS-EN ISO 286-2 on esitatud piirhälvete väärtused, mida üldiselt kasutatakse avade ja võllide tolerantsiklassides.

Masinaelementide mõõtmete ja lubatud hälvete määramisel on kõige olulisemad nende pindade mõõtmed, mis omavahel koos töötavad. Need detailid moodustavad liiteid. Liiteid kasutatakse detailide omavaheliseks ühendamiseks.

Liites olevat detaili, mis haarab teist detaili, nimetatakse avaks. Liite detaili, mis läheb teise detaili sisse, nimetatakse võlliks. Samad mõisted ja terminid, mis kehtivad silindriliste pindade korral, on kohaldatavad ka mittesilindrilistele pindadele, näiteks kahele paralleelsele vastaspinnale (joonis 4.147).



**Joonis 4.147.** Ava-võll liide.

Joonisel 4.148 on kujutatud detailide liite mõistete tähistused avale ja völli.

Aval ja völli on sama **nimimõõde N** (*nominal size*), geomeetriaelemendi teoreetiliselt täpne mõõde. Nimimõõtmest lähtuvalt arvutatakse hälbed.

Selleks, et detaile saaks vahetada, antakse joonistel mõõtmetele kaks väärtust, millega määratakse mõõtude vahemik, millele detail peab vastama. **Piirmõõtmed** on äärmuslikud mõõtmeelemendi lubatud mõõtmed ehk suurim ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$  – ava ja völli suurim piirmõõde) ja vähim ( $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$  – ava ja völli vähim piirmõõde) lubatav mõõde. **Tegelik mõõde** on valmisdetaili mõõde. Tegelik mõõde määratakse kindlaks mõõtmise teel. Saadud tulemus peab jääma etteantud piirmõõtmete vahele.

**Piirhälbed** näitavad piirmõõtmest ja nimimõõtmest algebralist vahet. Hälvete tähistuseks on võetud nende prantsuskeelsete nimetuste esitähed (*écart* – hälve, *supérieur* – ülemine, *inférieur* – alumine). Suurima piirmõõtmest ja nimimõõtmest vahet nimetatakse ülemiseks piirhälbeks (**ES**, **es** – ava ja völli ülemine piirhälve). Väikseima piirmõõtmest ja nimimõõtmest vahet nimetatakse alumiseks piirhälbeks (**EI**, **ei** – ava ja völli alumine piirhälve). Hälve on alati märgiga suurus. Positiivne hälve näitab, kui palju võib detaili tegelik mõõde olla nimimõõtmest suurem, ja negatiivne näitab, kui palju võib tegelik mõõde olla nimimõõtmest väiksem.

$$ES = D_{\max} - N$$

$$es = d_{\max} - N;$$

$$EI = D_{\min} - N$$

$$ei = d_{\min} - N.$$

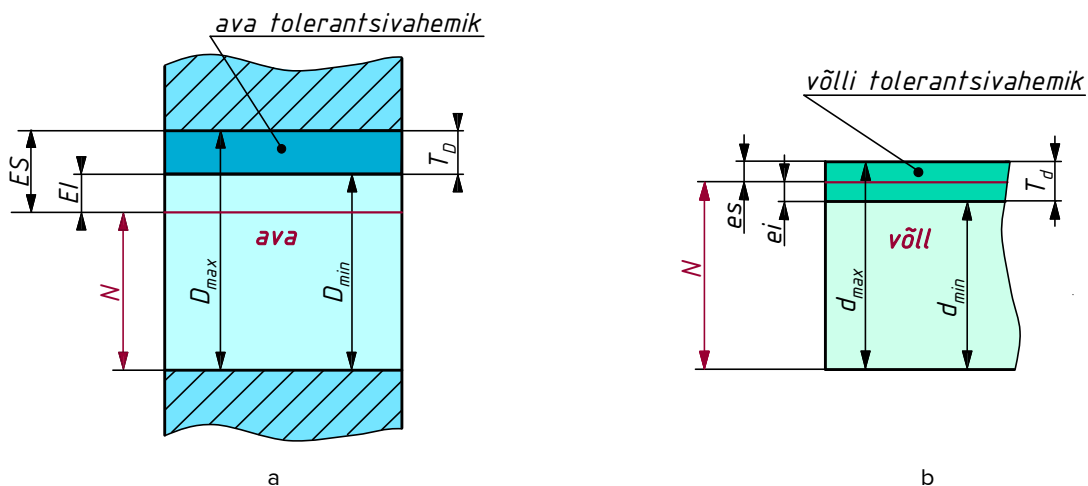
Vahet suurima ja väikseima piirmõõtmest või piirhälvete vahel nimetatakse **tolerantsiks T** ( $T_D$  – ava tolerants,  $T_d$  – völli tolerants). Tolerants on märgita suurus (positiivne).

$$T_D = ES - EI$$

$$T_d = es - ei;$$

$$T_D = D_{\max} - D_{\min}$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min}.$$



**Joonis 4.148.** Liite detailide mõistete selgitus: a – ava; b – völli.

## 26.2 ISTUD

Ist määrab kahe ühendatava detaili koostu iseloomu, s.t kuidas nad üksteise suhtes liiguvad.

Istud liigitatakse:

- **lõtkistud** ehk **liikuvad istud** (*clearance fit*) (joonis 4.149.a). Lõtkistu korral tekib liites alati lõtk. Ava alumine piirmõõde  $D_{\min}$  on suurem völli suurimast piirmõõtmest  $d_{\max}$  või erijuhul sellega võrdne.

$$\text{Suurim lõtk } F_{C\max} = D_{\max} - d_{\min};$$

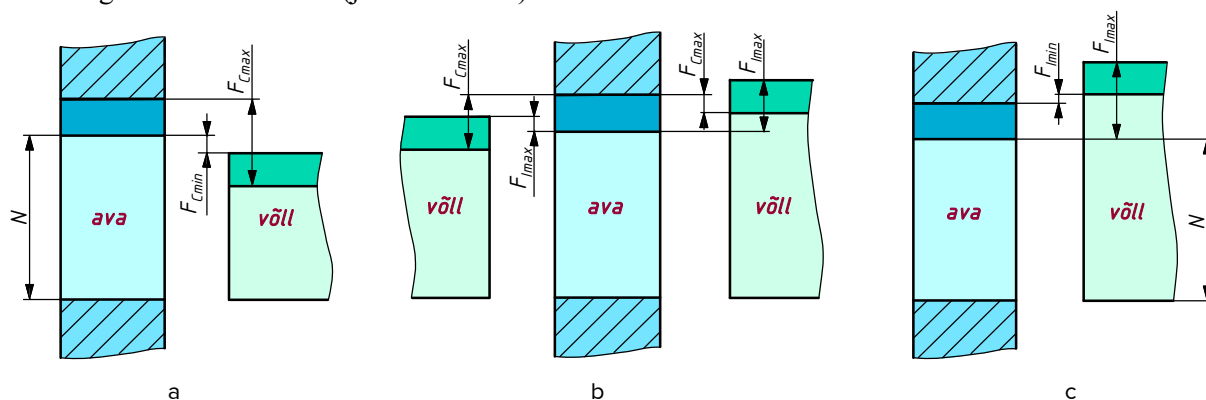
$$\text{vähim lõtk } F_{C\min} = D_{\min} - d_{\max};$$

- **pingistud** ehk **liikumatud istud** (*interference fit*) (joonis 4.149.c). Pingistu korral tekib liites alati ping. Ava suurim piirmõõde  $D_{\max}$  on väiksem völli vähimast piirmõõtmest  $d_{\min}$  või erijuhul sellega võrdne.

$$\text{Suurim ping } F_{I\max} = D_{\min} - d_{\max};$$

$$\text{vähim ping } F_{I\min} = D_{\min} - d_{\min};$$

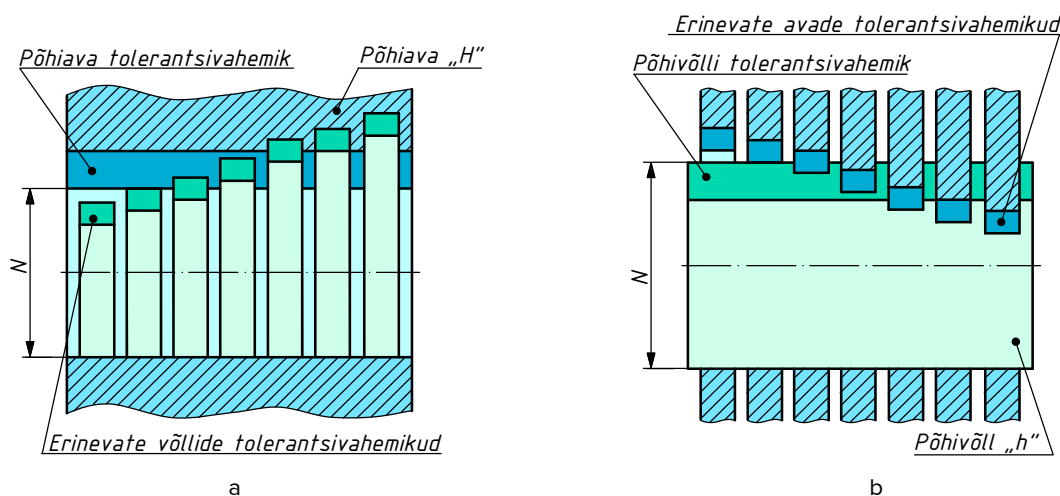
- **siirdeistud.** Siirdeistu puhul võib koostus tekkida kas lõtk või ping ava ja võlli vahel. See sõltub detailide tegelikest mõõtmetest (joonis 4.149.b).



**Joonis 4.149.** Istude määratluste selgitused: a – lõtkist; b – siirdeist; c – pingist.

Iga istu on võimalik moodustada kahes tolerantside süsteemis, kas ava- või völli süsteemis (joonis 4.150). Avasüsteemi korral jäävad samade nimimõõtmega detailide liite moodustamisel ava piirmõõtmed muutmatusks. Ava ülemine hälve on „+“ märgiga ja alumine piirhälve on null. ISO koodsüsteemis nimetatakse sellist ava põhivõlli. Nõutavad istud saadakse völli piirmõõtmete muutmise teel.

Völli süsteemi korral jäävad samade nimimõõtmega detailide liite moodustamisel völli piirmõõtmed muutmatusks. Völli ülemine piirhälve on null ja alumine hälve on „-“ märgiga. ISO koodsüsteemis nimetatakse sellist völli põhivõlli. Nõutavad istud saadakse ava piirmõõtmete muutmise teel.



**Joonis 4.150.** Istude süsteemid: a – avasüsteem; b – völli süsteem.

Nendest kahest süsteemist eelistatakse põhiliselt avasüsteemi. Seda põhjusel, et vajalik ist saadakse völli sobitamise teel. Völli on lihtsam töödelda ja ka mõõta. Völli süsteemi kasutatakse juhul, kui avasüsteemi pole otstarbekas kasutada. Näiteks kui on vaja ühele völli monteerida mitu avaga detaili erineva hälbega.

ISO standard määrab 20 standardtolerantsi järku, mida tähistatakse tähisega IT (*International Tolerance*) ja millele lisatakse numbrid 01, 0, 1, 2, ... 18. Numbriga suurenedes tolerantsi väärtus suureneb, s.t et täpsus väheneb. Tolerantsijärk IT01, IT0 IT1 ... IT18 määratleb mõõtme tolerantsi väärtused.

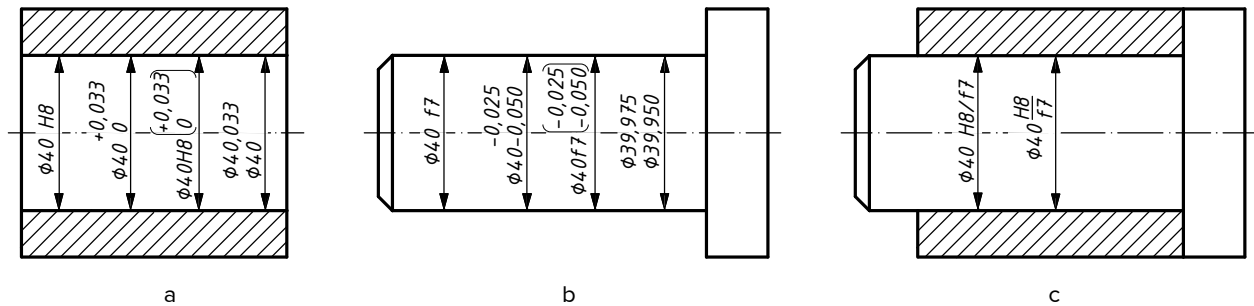
Standard esitab 28 erinevat põhihälvet nii avadele kui ka völli jaoks. Põhihälve on see piirhälve, mis on defineeritud kui nimimõõtmele lähim. Põhihälbeid tähistatakse ladina tähestiku tähtedega:

- suurtähtedega avade põhihälbed (A, B, C, ..., ZA, ZB, ZC);
- väiketähtedega völli põhihälbed (a, b, c, ..., za, zb, zc).

Segaduste vältimiseks ei kasutata järgmisi tähti: I, i; L, l; O, o; Q, q; W, w.

Tolerantsiklassi tähis koosneb tähe ja numbri kombinatsioonist, kus täht näitab põhihälvet ja number tolerantsijärku. Põhihälbed ei ole määratud igale nimimõõtme väärtusele, vaid mõõtmevahemike kohta. Põhihälvete arvvaartused on esitatud standardi tabelites.

Lubatud piirhälbed võib joonisel määrata kas standardtolerantsi klassiga, arvulise väärtusega või kombineeritult. Kombineeritud tähistamisega kirjutatakse arvuline väärtus tähise järele sulgudesse. Joonisel 4.151 on piirhälvete joonisele kandmise võimalused.



**Joonis 4.151.** Tolerantside ja istude märkimine joonisele: a – avale; b – võllile, c – koostule.

Väga suurest istude hulgast on standardiga määratud soovitatavad tolerantsiklassid. Tabelites 4.3 ja 4.4 on toodud soovitatavad eelisistude kombinatsioonid ava- ja võllisüsteemi jaoks. Esmase valiku võiks teha raamitud tolerantsiklassidest.

**Tabel 4.3.** Eelisistud avasüsteemis.

| Põhiava    | Tolerantsiklassid võllidele |            |           |           |    |           |             |            |           |    |           |    |           |           |           |    |
|------------|-----------------------------|------------|-----------|-----------|----|-----------|-------------|------------|-----------|----|-----------|----|-----------|-----------|-----------|----|
|            | Lõtkistud                   |            |           |           |    |           | Siirdeistud |            |           |    | Pingistud |    |           |           |           |    |
| H6         |                             |            |           |           |    | g5        | h5          | js5        | k5        | m5 |           | n5 | p5        |           |           |    |
| <b>H7</b>  |                             |            |           |           | f6 | <b>g6</b> | <b>h6</b>   | <b>js6</b> | <b>k6</b> | m6 | <b>n6</b> |    | <b>p6</b> | <b>r6</b> | <b>s6</b> | t6 |
| <b>H8</b>  |                             |            | E7        | <b>f7</b> |    |           | <b>h7</b>   | js7        | k7        | m7 |           |    |           | s7        |           | u7 |
|            |                             | d8         | <b>e8</b> | f8        |    |           | h8          |            |           |    |           |    |           |           |           |    |
| <b>H9</b>  |                             | d8         | <b>e8</b> | f8        |    |           | h8          |            |           |    |           |    |           |           |           |    |
| H10        | b9                          | c9         | <b>d9</b> | e9        |    |           | <b>h9</b>   |            |           |    |           |    |           |           |           |    |
| <b>H11</b> | <b>b11</b>                  | <b>c11</b> | d10       |           |    |           | h10         |            |           |    |           |    |           |           |           |    |

**Tabel 4.4.** Eelisistud võllisüsteemis.

| Põhivõll  | Tolerantsiklassid avadele |            |            |           |           |           |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |
|-----------|---------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|----|
|           | Lõtkistud                 |            |            |           |           |           | Siirdeistud |           |    |           | Pingistud |           |           |           |    |    |
| h5        |                           |            |            |           |           | G6        | H6          | Js6       | K6 | M6        |           | N6        | P6        |           |    |    |
| <b>h6</b> |                           |            |            | F7        | <b>G7</b> | <b>H7</b> | <b>Js7</b>  | <b>K7</b> | M7 | <b>N7</b> |           | <b>P7</b> | <b>R7</b> | <b>S7</b> | T7 | U7 |
| <b>h7</b> |                           |            | E8         | <b>F8</b> |           | <b>H8</b> |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |
| h8        |                           | D9         | <b>E9</b>  | F9        |           | <b>H9</b> |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |
| <b>h9</b> |                           |            | <b>E8</b>  | <b>F8</b> |           | <b>H8</b> |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |
|           | b9                        |            | <b>D9</b>  | <b>E9</b> | F9        | <b>H9</b> |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |
|           | <b>B11</b>                | <b>C10</b> | <b>D10</b> |           |           | H10       |             |           |    |           |           |           |           |           |    |    |

Detailide liitesse minevate osade mõõtmeid nimetatakse talituslikeks mõõtmeks. Need mõõtmed tolereeritakse esitatud nõuete järgi, lähtudes standardsetest tolerantsidest ja istudest. Liitesse mitteminevaid mõõtmeid ja mõõtmeid, mille täpsus otseselt ei mõjuta toote talitusliku ülesande täitmist, nimetatakse liitumatuteks ehk talitusvabadeks mõõtmeks. Talitusvabade mõõtmete vajalik täpsus on oluliselt väiksem talituslike mõõtmete täpsusest.

Standard EVS-EN 22768-1 määrab talitusvabadele mõõtmetele neli tolerantsiklassi: täpne – f (*fine*), keskmine – m (*medium*), räme – c (*coarse*), väga räme – v (*very coarse*). Lubatud hälbed on toodud joonmõõtmetele (v.a servad lõikes), servadele lõikes (välisraadiused ja faasid) ning nurkmõõtmetele. Tabelis 4.5 on näitena toodud joonmõõtmete lubatud hälbed.

**Tabel 4.5.** Joonmõõtmete lubatud hälbed.

| Tolerantsiklass |       | Lubatud hälbed põhimõõtmete tasemel |                  |                   |                     |                      |                       |                        |                        |
|-----------------|-------|-------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Nimetus         | Tähis | $>0,5$<br>$\leq 3$                  | $>3$<br>$\leq 6$ | $>6$<br>$\leq 30$ | $>30$<br>$\leq 120$ | $>120$<br>$\leq 400$ | $>400$<br>$\leq 1000$ | $>1000$<br>$\leq 2000$ | $>2000$<br>$\leq 4000$ |
| täpne           | f     | $\pm 0,05$                          | $\pm 0,05$       | $\pm 0,1$         | $\pm 0,15$          | $\pm 0,2$            | $\pm 0,3$             | $\pm 0,5$              | -                      |
| keskmine        | m     | $\pm 0,1$                           | $\pm 0,1$        | $\pm 0,2$         | $\pm 0,3$           | $\pm 0,5$            | $\pm 0,8$             | $\pm 1,2$              | $\pm 2$                |
| räme            | c     | $\pm 0,2$                           | $\pm 0,3$        | $\pm 0,5$         | $\pm 0,8$           | $\pm 1,2$            | $\pm 2$               | $\pm 3$                | $\pm 4$                |
| väga räme       | v     | -                                   | $\pm 0,5$        | $\pm 1$           | $\pm 1,5$           | $\pm 2,5$            | $\pm 4$               | $\pm 6$                | $\pm 8$                |

Talitusvabade mõõtmete põhitolerantse ei kirjutata iga mõõtme juurde, vaid ühise märkusega kirjanurgas (märkimata piirhälbed). Märgitakse ära standard ja tolerantsiklass. Näiteks: EVS-EN 22768 - m.

## 26.3 PINNA KUJU JA ASENDI TOLERANTSID

Detailide ja sõlmede täpsus sõltub peale mõõtmete täpsuse ka nende pindade kuju ja vastastikuse asendi täpsusest. See tähendab, et lisaks mõõtmeterolerantsidele tuleb joonisele kanda ka pinna kuju- ja asendi tolerantsid. Pinna kujukhälve on tegeliku pinna või profiili kuju erinevus geomeetrilise pinna või profiili kujust.

Geomeetrilised hälbed on määratletud standardiga EVS-EN ISO 1101.

**Kujutolerantsid** on (joonisel 4.152 on toodud kasutatavad tingmärgid):

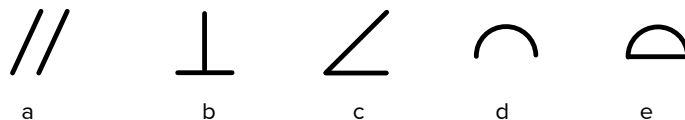
- sirgsus (joonis 4.152.a);
- tasapinnalisus (joonis 4.152.b);
- ümarus (joonis 4.152.c);
- silindrilisus (joonis 4.152.d);
- joonprofiil (joonis 4.152.e);
- pinnaprofiil (joonis 4.152.f).



**Joonis 4.152.** Kujutolerantside tingmärgid.

**Suunatolerantsid** on (joonisel 4.153 on toodud kasutatavad tingmärgid):

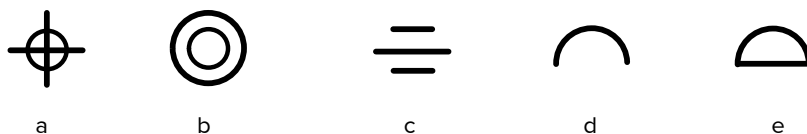
- rööpsus (joonis 4.153.a);
- ristisus (joonis 4.153.b);
- nurksus (joonis 4.153.c);
- joonprofiil (joonis 4.153.d);
- pinnaprofiil (joonis 4.153.e).



**Joonis 4.153.** Suunatolerantside tingmärgid.

**Asenditolerantsid** on (joonisel 4.154 on toodud kasutatavad tingmärgid):

- koht (joonis 4.154.a);
- kontsentrilisus (joonis 4.154.b);
- samatelgsus (joonis 4.154.b);
- sümmeetria (joonis 4.154.c);
- joonprofiil (joonis 4.154.d);
- pinnaprofiil (joonis 4.154.e).



**Joonis 4.154.** Asenditolerantside tingmärgid.

**Viskumistolerantsid** on (joonisel 4.155 on toodud kasutatavad tingmärgid):

- ringviskumine (joonis 4.155.a);
- täisviskumine (joonis 4.155.b).

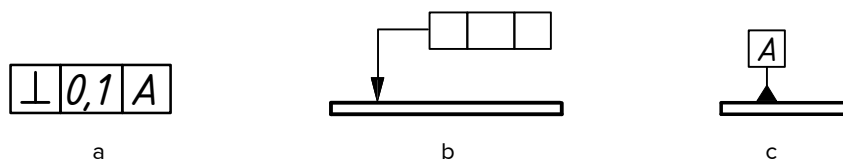


**Joonis 4.155.** Viskumistolerantside tingmärgid.

Pindade kuju- ja asenditolerantsid kantakse joonisele ristkülikusse, mis koosneb kahest või enam osast (joonis 4.156.a). Ristkülik joonestatakse kitsa pidevjoonega. Kirja kõrguseks on joonisel kasutatav mõõtarvude kõrgus. Esimesse ossa märgitakse tolerantsi tingtähis, teise tolerantsi arvvärtus, kolmandasse ja järgmistesse lähtepinna või lähtetelje tähis.

Raam paigutatakse joonisele rõhtsalt ning ühendatakse kitsa joone ja noole abil normitava pinna kontuurjoone või selle pikendusega (joonis 4.156.b). Noole siht vastab tolerantsi mõõtmise sihile.

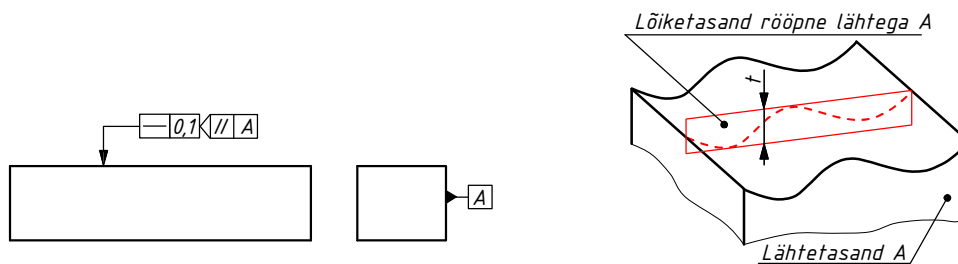
Elementi, mille suhtes asendihälve määratakse, nimetatakse lähteks. Lähe märgitakse musta võrdkülgse kolmnurgaga kontuurjoonel või selle pikendusel (joonis 4.156.c).



**Joonis 4.156.** Kuju- ja asenditolerantside tähistamine joonisel.

Joonistel 4.157 kuni 4.173 on toodud näiteid pindade kuju- asenditolerantside kandmisest joonisele koos selgitustega.

**Sirgsus.** Pinna sirgjoonelisuse tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset sirget vahekaugusega  $t$ . Näide (joonis 4.157): tolereeritud pind peab igal lähtetasandiga  $A$  paralleelsel lõiketasandil jääma kahe paralleelse piirsirgjoone vahele, mille vahekaugus on  $t = 0,1$  mm.



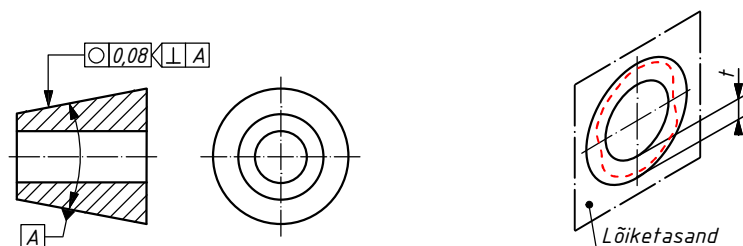
Joonis 4.157. Sirgsuse tähistamine joonisel.

**Tasapinnalisus.** Tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset tasandit vahekaugusega  $t$ . Näide (joonis 4.158): tolereeritud pind peab olema kahe paralleelse tasandi vahel, mille vahekaugus on  $t = 0,03$  mm.



Joonis 4.158. Tasapinnalisuse tähistamine joonisel.

**Ümarus.** Tolerantsitsooni piiravad kaks samal tasandil olevat kontsentrist ringjoont, mille raadiusesuunaline vahekaugus on  $t$ . Näide (joonis 4.159): tolereeritud koonuse pinna kontuur peab igal lähtetelgjoonega  $A$  ristuvil lõiketasapinnal asuma kahe kontsentrilise piirringjoone vahel, mille vahekaugus on  $t = 0,08$  mm.



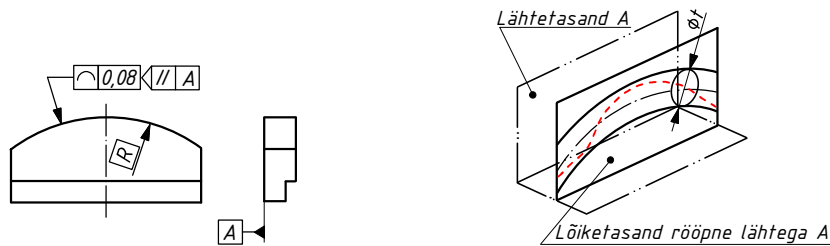
Joonis 4.159. Ümaruse tähistamine joonisel.

**Silindrilisus.** Tolerantsitsooni piiravad kaks samateljest silindrit raadiusesuunalise vahekaugusega  $t$ . Näide (joonis 4.160): silindri pind peab olema kahe samatelgse silindri vahel, mille vahekaugus on  $t = 0,05$  mm.



Joonis 4.160. Silindrilisuse tähistamine joonisel.

**Jooneprofiil** on joone hälve teoreetilisest täpsest joonest, mis on piiratud ringjoone diameetriga  $t$ . Näide (joonis 4.161): tolereeritud pinna kontuur peab igal lähtetasandiga  $A$  paralleelsel lõiketasandil jääma kahe piirjoone vahel, mille vahekaugus on määratud ringjoontega, mille läbimõõt on  $t = 0,08$  mm. Nende ringjoonte keskmed asuvad geomeetriselt ideaalsel joonel.



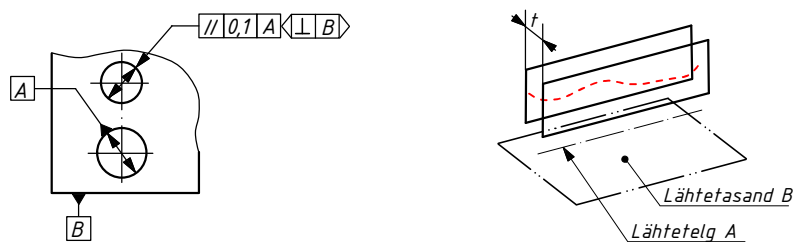
Joonis 4.161. Jooneprofiili tähistamine joonisel.

**Pinnaprofiil** on pinna hälve teoreetilisest täpsest pinnast, mis on piiratud kahe paralleelse tasandiga, mille vahekaugus on määratud sfääriga läbimõõduga  $t$ . Näide (joonis 4.162): tolereeritud kera pind peab jääma kahe paralleelse pinna vahel, mille vahekaugus on määratud sfääriga, mille läbimõõt on  $t = 0,1$  mm. Nende sfääride tsentrid asuvad geomeetriselt ideaalsel pinnal.



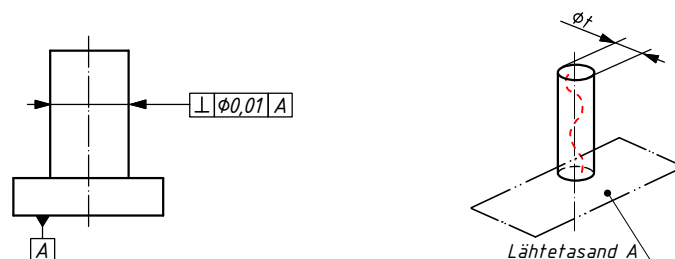
Joonis 4.162. Pinnaprofiili tähistamine joonisel.

**Rööpsus.** Tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset tasandit vahekaugusega  $t$  või silinder läbimõõduga  $t$ , mis peavad olema paralleelsed kas lähtetasandiga või lähteteljega. Näide (joonis 4.163): tolereeritud ava mediaanjoon peab jääma kahe paralleelse tasandi vahele, mille vahekaugus on  $t = 0,1$  mm. Need tasandid on paralleelsed lähteteljega  $A$  ja risti lähtetasandiga  $B$ .



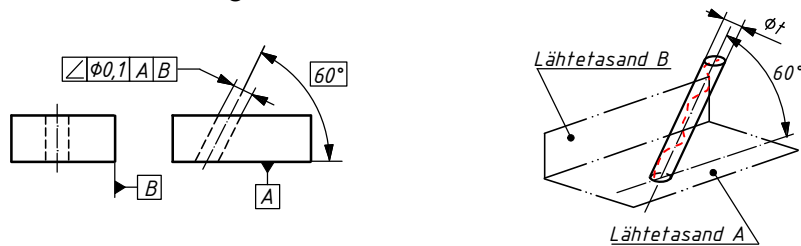
Joonis 4.163. Rööpsuse tähistamine joonisel.

**Ristisus.** Tolerantsitsooni piiravad kas kaks omavahel paralleelset tasandit vahekaugusega  $t$  või silinder läbimõõduga  $t$ , mis on risti lähtetasandiga. Näide (joonis 4.164): tolereeritud silindri mediaanjoon peab jääma silindri sisse, mis on risti lähtetasandiga  $A$  ja mille läbimõõt on  $t = 0,01$  mm.



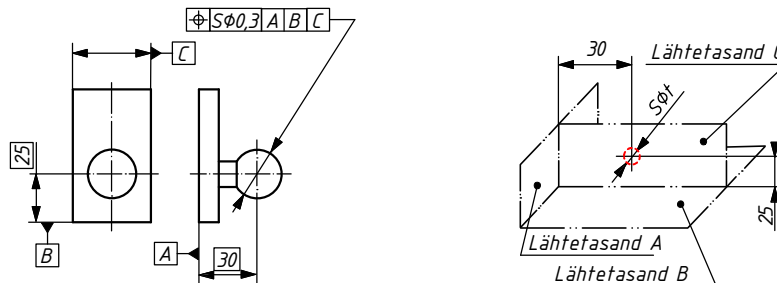
Joonis 4.164. Ristisuse tähistamine joonisel.

**Nurksus.** Tolerantsitsooni piiravad kas kaks omavahel paralleelset tasandit vahekaugusega  $t$  või silinder läbimõõduga  $t$ , mis on lähtetasandi suhtes kaldu nurga  $\alpha$  võrra. Näide (joonis 4.165): tolereeritud ava mediaanjoon peab jääma silindri sisse, mille läbimõõt on  $t = 0,1$  mm. Silindri telg on paralleelne lähtetasandiga  $B$  ja lähtetasandi  $A$  suhtes kaldu  $45^\circ$  nurga võrra.



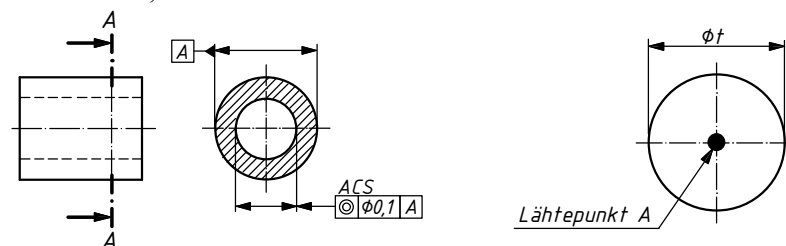
Joonis 4.165. Nurksuse tähistamine joonisel.

**Koht.** Tolerantsitsooni piiravad kas kaks omavahel paralleelset tasandit vahekaugusega  $t$  või silinder läbimõõduga  $t$ . Näide (joonis 4.166): tolereeritud sfääri tšenter peab jääma läbimõõduga  $0,3$  mm sfääri sisse, mille keskpunkt on fikseeritud teoreetiliselt täpsete kaugusmõõtmetega lähtetasanditest  $A$ ,  $B$  ja  $C$ .



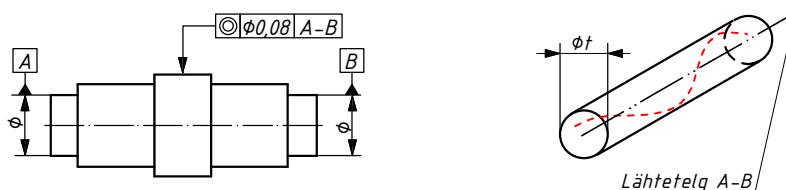
Joonis 4.166. Koha tähistamine joonisel.

**Kontsentrisus.** Tolereeritud elemendi olemus ja kuju on punkt, punktide võrk või sirgjoon. Kontsentrisuse tolerants on mõõdetud tegeliku telje lubatud varieeruvus võrdlustelje suhtes. Näide (joonis 4.1167): igal ristlõikepinnal peab tolereeritud ava ringi mediaanpunkt asuma ringjoone sees, mille kese on lähtepunkt  $A$  ja läbimõõt on  $t = 0,1$  mm.



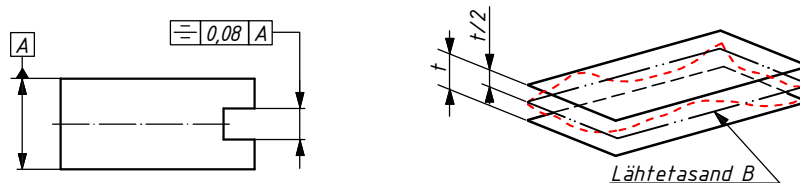
Joonis 4.167. Kontsentrisuse tähistamine joonisel.

**Samatelgsus.** Tolerantsitsooni piirab silinder läbimõõduga  $t$ . Selle silindri telg ühtib lähtesirgega. Näide (joonis 4.168): tolereeritud silindri mediaanjoon peab asuma silindri sees, mille läbimõõt on  $t = 0,08$  mm. Selle silindri telg peab ühtima lähteteljega  $A-B$ .



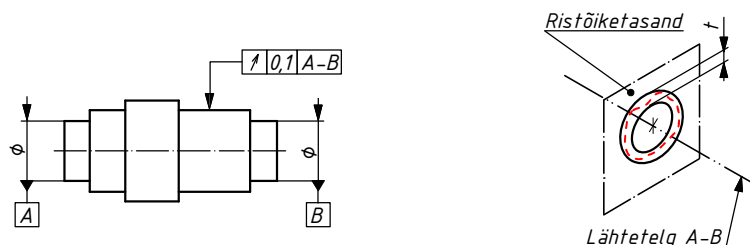
Joonis 4.168. Samatelgsuse tähistamine joonisel.

**Sümmeetrilisus.** Tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset tasandit, mille vahekaugus on  $t$  ja mis on sümmeetrilised lähtesirge või lähtetasandi suhtes. Näide (joonis 4.169): tolereeritud soone mediaanpind peab asuma kahe paralleelse tasandi vahel, mis on paralleelsed ja sümmeetrilised lähtetasandi  $A$  suhtes ning mille vahekaugus on  $t = 0,08$  mm.



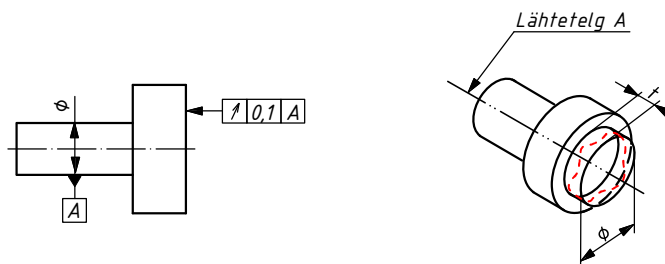
Joonis 4.169. Sümmeetrilisuse tähistamine joonisel.

**Radiaalne ringviskumine.** Tolerantsitsooni piiravad lähtesirgega mistahes kohas võetud ristuv tasandil olevad kaks kontsentrilist ringjoont raadiusesuunalise vahekaugusega  $t$  ja tsentri lähtesirgel. Näide (joonis 4.170): tolereeritud silindri ringviskumine ei või olla suurem kui  $t=0,1$  mm mistahes lähteteljega  $A-B$  ristuv alõiketasandil.



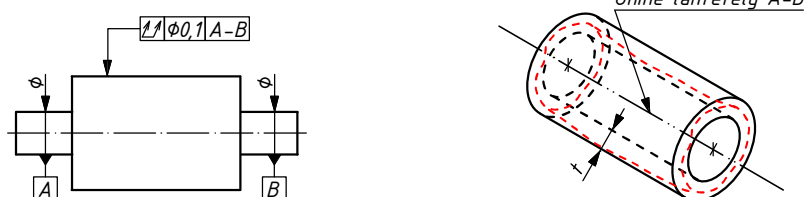
Joonis 4.170. Radiaalse ringviskumise tähistamine joonisel.

**Teljesuunaline ringviskumine.** Tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset tasandit, mille vahekaugus on  $t$  ja mis on risti lähteteljega. Näide (joonis 4.171): tolerantsitsoon on määratud silindrilises seksioonis kahe ringiga, mille vahekaugus on  $t = 0,1$  mm. Silindri telg on samane lähteteljega  $A$ .



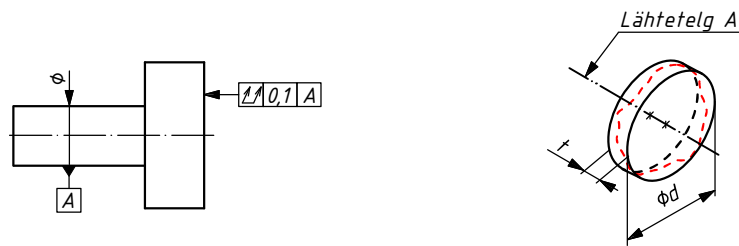
Joonis 4.171. Teljesuunalise ringviskumise tähistamine joonisel.

**Radiaalne täisviskumine.** Tolerantsitsooni piiravad kaks samatelgset silindrit raadiuste erinevusega  $t$ . Teljed peavad kattuma ühise lähteteljega. Näide (joonis 4.172): tolereeritud silinder peab jääma kahe samatelgse silindri vahele, mille raadiuste erinevus on  $t = 0,1$  mm. Mõlemad silindrid on samatelgsed ühis-lähteteljega  $A - B$ .



Joonis 4.172. Radiaalse täisviskumise tähistamine joonisel.

**Telgsuunaline täisviskumine.** Tolerantsitsooni piiravad kaks paralleelset tasandit, mille vahekaugus on  $t$ , ja mis on risti lähteteljega. Näide (joonis 4.173): tolereeritud pinna kõik punktid peavad jääma kahe paralleelse tasandi vahele, mille vahekaugus on  $t = 0,1$  mm ja mis on risti lähteteljega  $A$ .



**Joonis 4.173.** Telgsuunalise täisviskumise tähistamine joonisel.

## 27 DETAILI ESKIIS

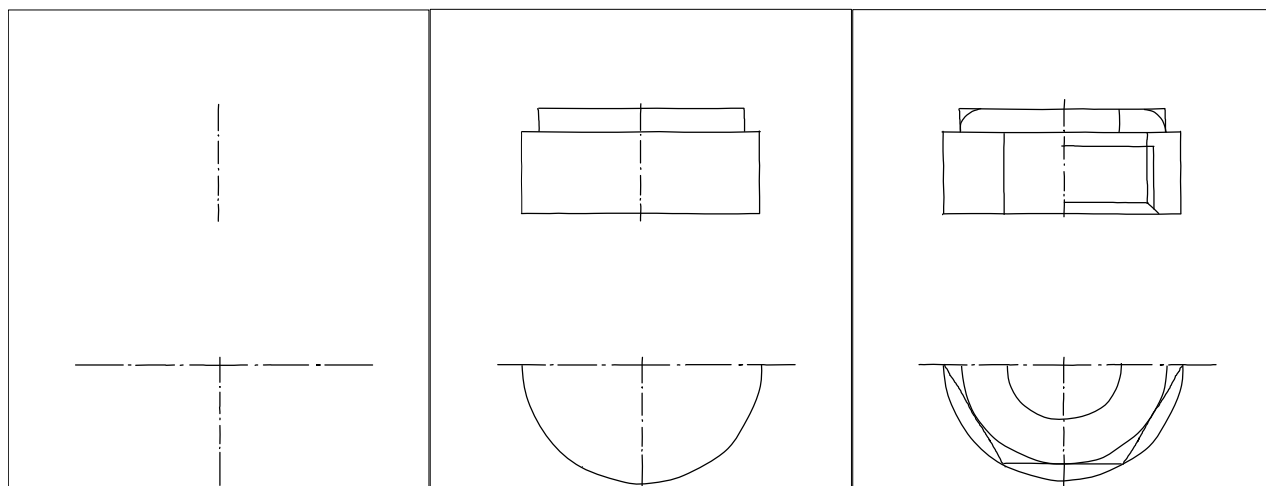
Kuna korraliku ja mõõtkavas tööjoonise tegemine on aeganõudev, eriti keerulisemate detailide korral, siis võib algul joonestada eskiisi. Eskiisi võib kasutada dokumendina detaili enda või detaili tööjoonise valmistamiseks. Seetõttu peab detaili eskiis sisaldama kogu teavet detaili kuju, mõõtmete, materjali jm kohta.

**Eskiis on niisugune joonis, mis valmistatakse ilma joonlaua ja sirklita silma järgi valitud mõõtkavas.** Seejuures peetakse kinni detaili üksikosade proportsioonidest. Eskiis tehakse kõikide joonestamisnormide kohaselt.

### Detaili eskiisi joonestamisel tuleb läbida järgmised etapid:

- tutvuda detailiga ning määrata selle nimetus ja otstarve; detailiga tutvumisel määrata kindlaks tema kuju ja selle põhielemendid;
- määrata peakujutis, mis iseloomustab detaili kõige ilmekamalt;
- määrata teised vajalikud vaated, lõiked ja ristlõiked;
- valida sobiv formaat, tõmmata raamjoon ja paigutada kirjanurk;
- määrata kindlaks kujutiste paigutus lehel ning tõmmata kõigi kujutiste jaoks telg- ja tsentrijooned (joonis 4.174.a);
- joonestada kõigi kujutiste puhul õrna kitsa pidevjoonega välja detaili koostiselementideks olevate geomeetriliste elementide piirjooned, säilitades detaili üksikute osade proportsioonid (joonis 4.174.b);
- joonestada detaili üksikelemendid (augud, ümarused, faasid jne) (joonis 4.174.c);
- teha lõiked ja ristlõiked. Enne lõikepindade viirutamist kustutada abijooned (joonis 4.174.d);
- joonestada kontuurjooned üle laia pidevjoonega (joonis 4.174.d);
- tõmmata distant- ja mõõtjooned (joonis 4.174.e);
- mõõta detail ja kirjutada mõõtarvud (joonis 4.174.f);
- kanda eskiisile pinnakareduse tähised ja tolerantsid;
- täita kirjanurk (joonis 4.175.a).

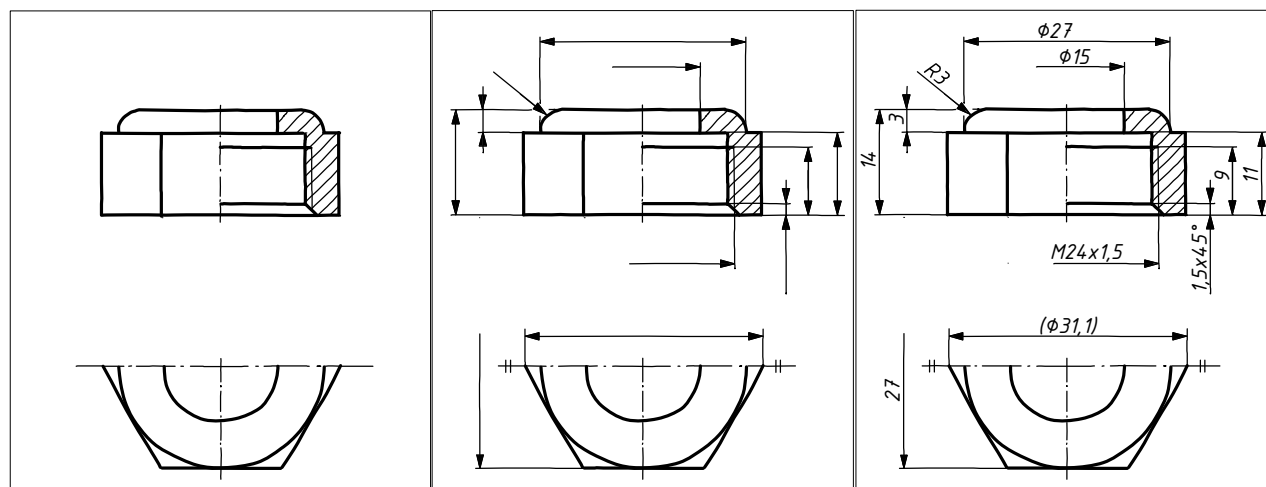
Olenevalt eskiisitava detaili keerukusest võib etappide järjekorda muuta.



a

b

c

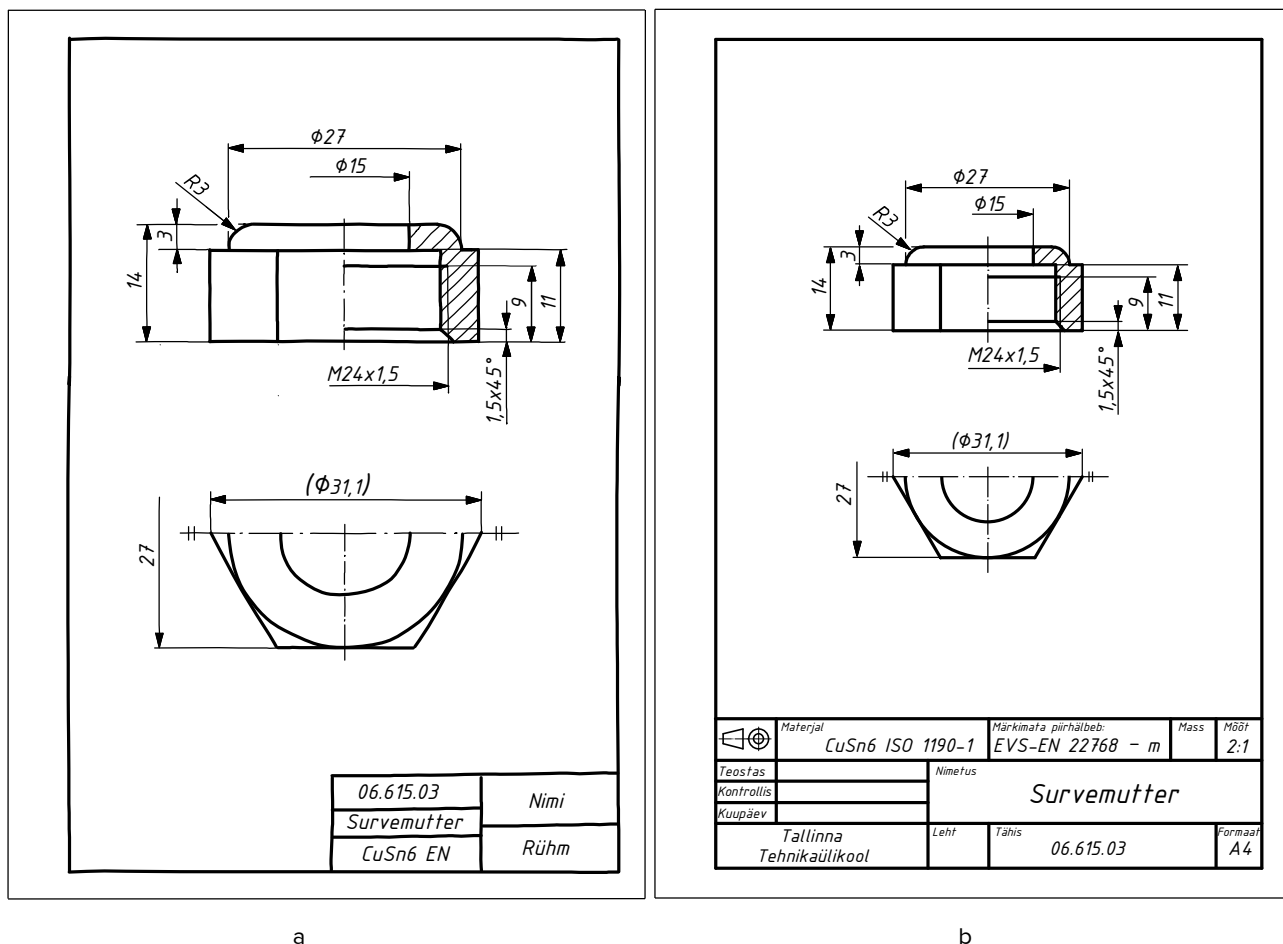


d

e

f

**Joonis 4.174.** Detaili eskiisimise etapid.



Joonis 4.175. Survemutri eskiis (a); tööjoonis (b).

## 28 DETAILI TÖÖJOONIS

Detaili tööjoonis on dokument, mille järgi valmistatakse tööprotsessis konkreetne detail (joonis 4.175.b). Tööjoonise tegemisel vormistatakse iga detaili joonis eraldi lehele. Iga joonis varustatakse nõuetekohase raamjoone ja kirjanurgaga. Kui on tegemist keerukamate detailidega, mille kujutised ei mahu ühele lehele, siis tehakse joonised mitmele lehele. Igal lehel peab olema kirjanurk.

### Detaili tööjoonistele esitatavad nõuded:

- detaili tööjoonis peab olema vormistatud korrektselt standardite järgi;
- detaili tööjoonis peab määrama detaili täpse kuju ja suuruse üheselt, s.t et joonis peab olema tehtud nii, et seda saab tõlgendada ainult ühte moodi. Selleks joonestatakse detaili tööjoonisel kõik vajalikud kujutised – vaated, lõiked, ristlõiked jne;
- detaili tööjoonisele kantakse kõik tema valmistamiseks vajalikud mõõtmed koos nende tolerantsidega;
- joonisele kantakse kõikide detailide pindade kvaliteediandmed – pinnakaredusmärgid;
- tööjoonisel peavad olema andmed detaili materjali, termilise töötlemise ja lõpliku viimistlemise kohta (pinnakatted jm);
- vajaduse korral lisatakse kirjanurga kohal märkustes nõuded joonisel näitamata ümardusraadiuste, valukallete ja muude tehniliste nõuete kohta;
- tööjooniseid ei tehta standardsetest (kruvid, mutrid, poldid, seibid jne) ja ostetavatest toodetest.

## 29 KOOSTEJOONIS

**Koostejoonis** on tehniline dokument, mis annab üksikdetailidest koostatava toote kokku panemiseks, kontrollimiseks ja katsetamiseks vajalikud kujutised ja tehnilised andmed. Seetõttu valitakse koostu kujutised nii, et joonise järgi selguks toote kõigi üksikute detailide vastastikune asend, seadme tööpõhimõte, gabariidid (pikkus, laius, kõrgus) ja ühenduse viis ning mõõdud külgnevate koostudega. Koostejoonise vormistamisel tuleb arvestada, et kõige ülevaatlikum peab olema peakujutis.

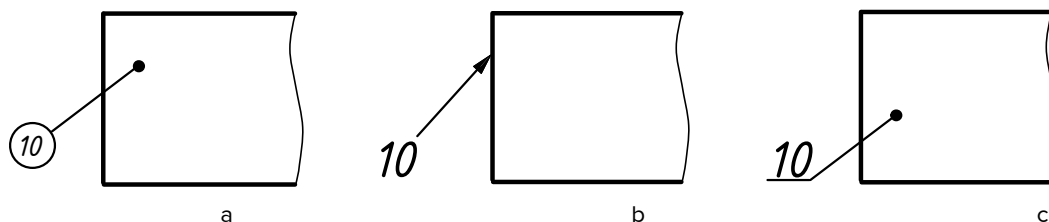
Tuleb jälgida, et koostejoonisel oleks ühe ja sama detaili viirutuse kalle kõikides lõigetes ja ristlõigetes ühesuunaline ja ühesuguse tihedusega, kokku puutuvad detailid viirutatakse aga erinevas suunas. Kui see ei ole võimalik, tuleb muuta viirutusjoonte vahekaugust või nihutada neid kõrvalseisva viirutuse suhtes.

Koostejoonisel antakse igale detailile oma positsiooni number (osa viide), mis on vastavuses tükitabelisse kantavate detailide osanumbritega. Standard EVS-EN ISO 6433:2012 sätestab reeglid detailide viidete esitamiseks koostejoonistel. Eelistatavalt peaksid osa viited koosnema numbritest (vajaduse korral võib lisada suured tähed). Positsiooni numbrid (viited) peaksid sisaldama kõige rohkem kolme märki. Esmalt tuleks nummerdada koostu koosseisu kuuluvad alamkoostud, seejärel detailid, standardsed tooted, materjalid ja komplektid.

Ühel ja samal joonisel peavad detailide viited olema ühtemoodi vormistatud ja selgelt eristatavad teistest tähistustest. Osanumbrid peavad olema mõõtarvudest ühe kuni kahe kirjakõrguse astme võrra suuremad. Parema loetavuse huvides paigutatakse osanumbrid joonise kontuuridest väljapoole, grupeerides nad kas vertikaalselt tulpa või horisontaalselt ritta. Viitejooned ei tohi omavahel lõikuda ja ega olla detaili pinnal viirutusjoontega paralleelsed. Nii viitejoon kui ka laudi joonestatakse pideva kitsasjoonega teineteise suhtes nurga all.

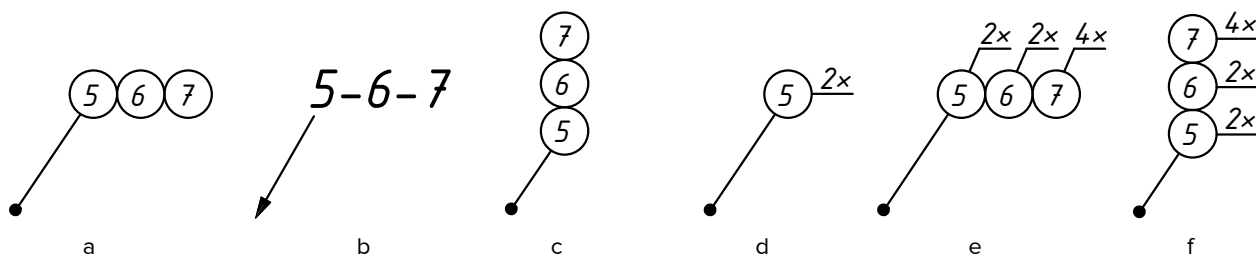
Joonisel 4.176 toodud detailide osanumbrite kandmise võimalused on järgmised:

- osanumber ümbritsetakse ringjoonega. Ringjooned peavad olema ühesuguse läbimõõduga ja joonestatud kitsa pidevjoonega (joonis 4.176.a). Viitejoon peab olema suunatud ringjoone tsentrisse;
- kasutatakse joonisel olevast kirjakõrgusest kaks korda kõrgemat tähist (joonis 4.176.b ja c).



**Joonis 4.176.** Osanumbrite joonisele kandmise võimalused.

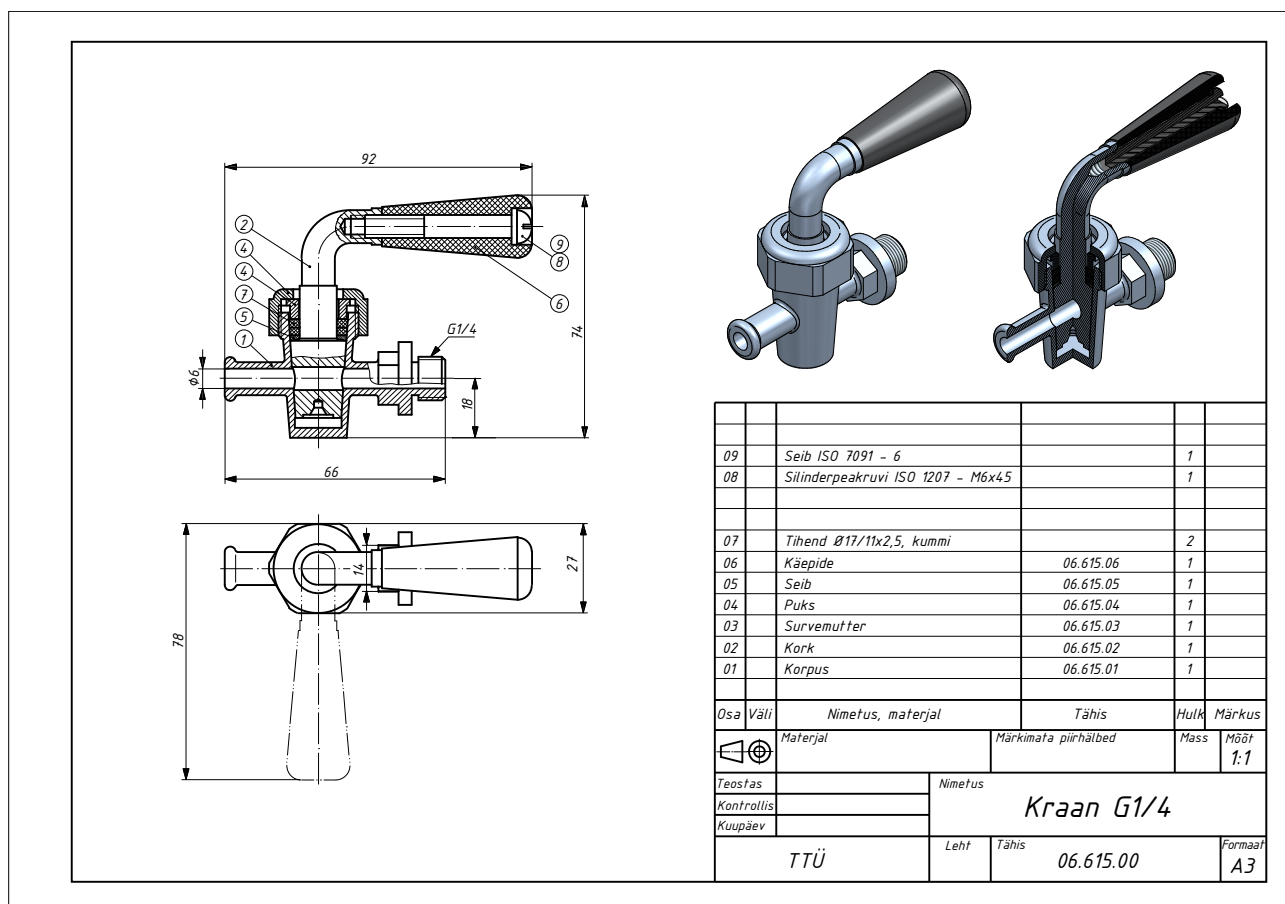
Kui mitu osaviidet tuuakse välja ühise viitejoonega, võib need paigutada kas horisontaalselt (joonis 4.177. a ja b) või vertikaalselt (joonis 4.177. c). Detailide arvud näidatakse tükitabelites, joonisel tuleks nende näitamist vältida. Vajaduse korral, kui joonise lugemise selguse huvides on vaja sama viitenumbrit ja detaili arvu näidata eri kohtades, näidatakse osade arvud viitenumbri juures. Sellisel juhul kasutatakse ringjoonega ümbritsetud viidet ja sümbolit „x“. Joonisel 4.177.d on näidatud ühe detaili osaviide koos arvuga, joonisel 4.177. e ja f ühise viitejoonega mitme detaili viited koos arvudega.



**Joonis 4.177.** Ühise viitejoonega osaviidete kujutamine joonisel ja detailide arvu näitamine.

- gabariitmõõtmed (pikkus, laius, kõrgus);
- mõõtmed, millega tuleb arvestada koostu kokkupanemisel;
- ühendusmõõtmed (ühendamiseks teiste, piirnevate detailide või koostudega, näiteks äärikul antakse ava läbimõõt ja avade jaotusringjoone läbimõõt), antud joonisel mõõt G1/4;
- ekspluatatsiooniks vajalikud mõõtmed, ava Ø6 mm.

Joonisel 4.178 on näidatud kraani koostejoonis.



**Joonis 4.178.** Kraani koostejoonis.

## 30 TÜKITABEL

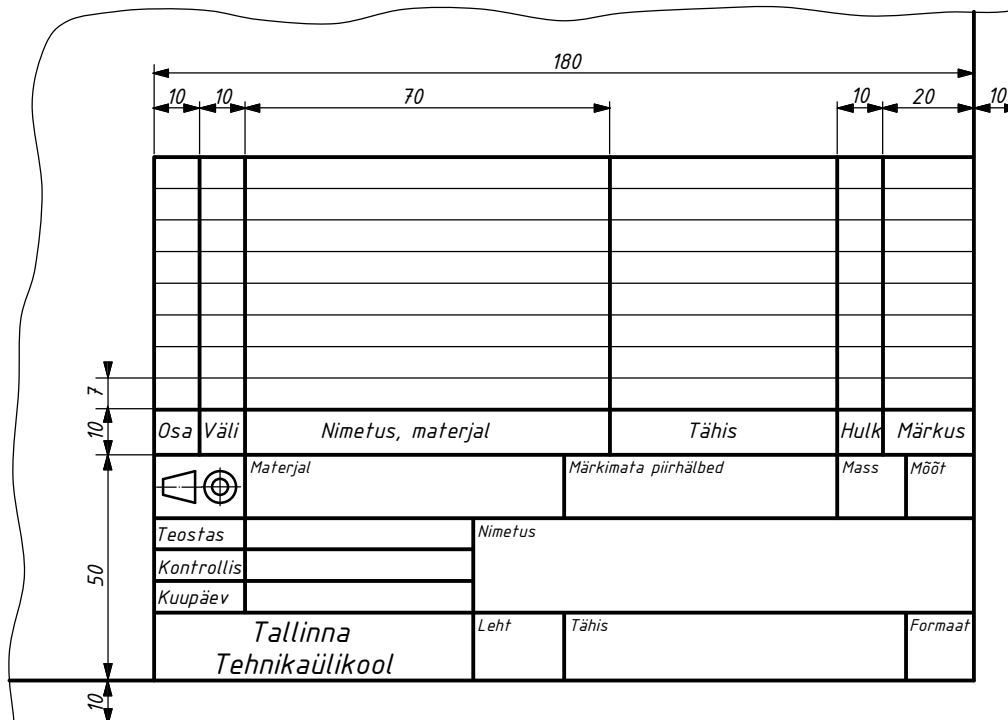
Standardis ISO 7573 sätestatakse tükitabeli vormistamise nõuded. Tükitabel on koostu juurde kuuluv dokument, mis sisaldab koostu koostisosade loetelu (järjekorras: alamkoostud, detailid, standardsed tooted, materjalid ja komplektid), nende arvu koostus jm andmed. Tükitabeli võib vormistada eraldi formaadil A4 suure arvu detailide korral (joonis 4.179) või ühildada koostejoonisega (joonis 4.180). Väikese osanumbrite arvu korral joonestatakse tükitabel võimaluse korral kirjanurga peale. Kui tükitabel ühildatakse koostetabeliga, siis alustatakse tabeli täitmist alumistest ridadest suunaga üles, kui aga tükitabel on eraldi lehel, siis vastupidi, ülevalt alla.

Lahtrise „**Osa**“ kirjutatakse koostisosa (alamkoostu või detaili) osanumber, mis vastab selle koostisosa numbrile koostejoonisel.

Lahtrisse „**Hulk**“ kirjutatakse toodete hulk, mis on vajalik ühe koostu valmistamiseks.

Technical drawing of a form for a technical drawing course. The form is divided into two main sections. The top section is a table with 5 columns: Osa, Väli, Nimetus, materjal, Tähis, Hulk, and Märkus. The bottom section is a table with 3 columns: Teostas, Kontrollis, Kuupäev, and Nimetus. The form is labeled 'Tallinna Tehnikaülikool' and 'Leht' and 'Tähis'.

**Joonis 4.179.** Tükitabel eraldi formaadil A4.



Joonis 4.180. Koostejoonisega ühildatud tükitabel.

## KORDAMISKÜSIMUSED

1. Missugused on peamised kujutiste liigid?
2. Mida nimetatakse vaateks?
3. Nimetage põhilised vaated.
4. Kuidas vormistatakse joonisel lisavaateid, osalisi vaateid ja kohtvaateid?
5. Millal kasutatakse väljatoodud elementi?
6. Kuidas vormistatakse joonisel väljatoodud elemente?
7. Kuidas näidatakse esialgne kontuur enne painutamist?
8. Mida nimetatakse lõikeks?
9. Milleks kasutatakse joonistel lõikeid?
10. Milline erinevus on lõikel ja ristlõikel?
11. Mille põhjal jaotatakse lõiked vertikaalseteks, horisontaalseteks ja kaldlõigeteks?
12. Millise detaili elemente, mis satuvad lõikavale tasandile, ei viirutata?
13. Mille poolest erineb liitlõige lihtlõikest?
14. Mis erinevus on astmelisel ja murdlõikel?
15. Kuidas võib esitada ristlõikeid?
16. Kui laia joonega joonestatakse väljatoodud ristlõige ja pealejoonestatud ristlõige?
17. Kuidas kujutatakse ristlõike puhul ava kontuurid, kui lõikav tasand läbib pöördkeha telge?
18. Millistel juhtudel võib kasutada poolvaatlõiget?
19. Milline joon eraldab poolvaadet ja poollõiget?
20. Millal kasutatakse kohtlõiget?
21. Nimetage mõõtmestamise elemendid.
22. Milliseid kujumärke ja tähiseid kasutatakse mõõtmestamisel?
23. Kuidas paigutatakse mõõtarvud mõõtjoone suhtes?
24. Millisel juhul kasutatakse raadiuse R või läbimõõdu  $\varnothing$  tähist?
25. Kuidas tähistatakse joonisel sfäärilist pinda?
26. Millised on kolm erinevat faasi mõõtmestamise viisi?

27. Milliseid keermeprofiile eristatakse?
28. Kuidas kujutatakse joonistel välis- ja sisekeeret?
29. Kuidas kujutatakse keermesliidet?
30. Mis on keeme samm ja keeme käik?
31. Kuidas tähistatakse ja mõõtmestatakse standardset meeterkeeret?
32. Kuidas tähistatakse ja mõõtmestatakse standardset tollkeeret?
33. Kuidas tähistatakse ja mõõtmestatakse standardset torukeeret?
34. Kuidas tähistatakse ja mõõtmestatakse standardset trapetskeeret?
35. Millega iseloomustatakse pinnakaredust?
36. Milliseid sümboleid kasutatakse pinnakareduse märkimisel joonisele?
37. Mis on detaili tegelik mõõde?
38. Mis on piirmõõtmed?
39. Mida nimetatakse piirhälbeks?
40. Mida nimetatakse tolerantsiks?
41. Mis on ist?
42. Nimetage istude liigid.
43. Milliseid mõõtmeid nimetatakse talituslikeks mõõtmeks?
44. Milliseid mõõtmeid nimetatakse talitusvabadeks mõõtmeks?
45. Nimetage kujutolerantsid.
46. Nimetage suunatolerantsid.
47. Nimetage asenditolerantsid.
48. Mis on eskiis?
49. Kirjeldage eskiisi valmistamise etappe.
50. Mis on detaili tööjoonis?
50. Millistest detailidest ei tehta tööjooniseid?
51. Mis on koostejoonis?
52. Millised mõõtmed kantakse koostejoonisele?
53. Mis on tükitabel?
54. Kuidas võib vormisatada tükitabelit?

## KASUTATUD MATERJALID

1. Asi U., Tehniline joonestamine. Õpik. Kirjastus Argo, 2009.
2. Fischer U., Gomeringer R., Kilgus R., ... Mehaanikainseneri käsiraamat. Teine väljaanne – Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2021.
3. Giesecke F. E., Lockhart S., Goodman M., Johnson C., Technical Drawing with Engineering Graphics, 16th Edition, Pearson, 2023.
4. Kogermann E., Kujutav geomeetria. Abimaterjal loengute kuulamiseks, Tln., TTÜ, 1998.
5. Purde M., Tolereerimine. Tallinn, Tallinna Tehnikakõrgkool, 2002.
6. Riives J., Teaste A., Mägi. R., Tehniline joonis. Õppeotstarbeline käsiraamat. Tallinn, „Valgus“, 1996.
7. Rünk, O., Paluver, N., Talvik, A. Kujutav geomeetria - Tln., „Valgus“, 1986.
8. Colin H. Simmons, Dennis E. Maguire, Manual of Engineering Drawing (3rd ed.), Technical Product Specification and Documentation to British and International Standards, Butterworth-Heinemann, 2009.
9. Säarak J., Insenerigraafika, Õppematerjal, Tallinna Tehnikakõrgkool, 2015.
10. Säarak J., Kujutav geomeetria. Õppematerjal, Tallinna Tehnikakõrgkool, 2008.
11. Taras I., Descriptive Geometry, engineering and Computer graphics. Part I, Descriptive Geometry. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2013.
12. Новичихина Л. И., Справочник по техническому черчению. 3-е изд., Минск: Книжный Дом, 2008.
13. Балягин С. Н., Черчение: справочное пособие. 4-е изд., Москва: Астерль, 2005.
14. Бродский А. М., Фазлулин Э. М., Халдинов В. А. Инженерная графика (металлообработка) Учебник 4-е изд., Москва: Издательский центр "Академия" 2007.
15. EVS-ISO 7-1:2004/ AC:2007, Torukeermed kohtades, kus keermetel on survekindlad liitekohad - Osa 1: Mõõtmed, tolerantsid ja tähistus.
16. ISO 68-1:2023, ISO general purpose screw threads - Basic and design profiles - Part 1: Metric screw threads.
17. EVS-EN ISO 128-2:2022, Technical product documentation (TPD) - General principles of representation - Part 2: Basic conventions for lines (ISO 128-2:2022).
18. EVS-EN ISO 128-3:2022, Technical product documentation (TPD) - General principles of representation - Part 3: Views, sections and cuts (ISO 128-3:2022).
19. EVS-EN ISO 129-1:2019+A1:2021, Technical product documentation (TPD) - Presentation of dimensions and tolerances - Part 1: General principles (ISO 129-1:2018 + ISO 129-1:2018/Amd 1:2020).
20. EVS-EN ISO 216:2007, Writing paper and certain classes of printed matter - Trimmed sizes - A and B series, and indication of machine direction(ISO 216:2007).
21. EVS-EN ISO 228-1:2003, Pipe threads where pressure-tight joints are not made on the threads - Part 1: Dimensions, tolerances and designation.
22. ISO 261:1998, ISO general purpose metric screw threads - General plan.
23. ISO 263:1973, ISO inch screw threads -- General plan and selection for screws, bolts and nuts -- Diameter range 0,06 to 6 in.
24. EVS-EN ISO 286-1:2010, Toote geomeetrilised spetsifikatsioonid (GPS). Joonmõõtmete tolerantside ISO koodsüsteem. Osa 1: Tolerantside põhimõisted, hälbed ja istud.
25. EVS-EN ISO 286-2:2010, Toote geomeetrilised spetsifikatsioonid (GPS). Joonmõõtmete tolerantside ISO koodsüsteem. Osa 2: Standardtolerantsi klasside ja piirhälvete tabelid avadele ja völliudele.
26. ISO 724:2023, ISO general purpose metric screw threads - Basic dimensions.

27. ISO 725:2009, ISO inch screw threads -- Basic dimensions.
28. ISO 965-1:2013/Amd 1:2021, ISO general purpose metric screw threads - Tolerances - Part 1: Principles and basic data - Amendment 1.
29. EVS-EN ISO 1101:2017, Toote geomeetrilised spetsifikatsioonid (GPS). Geomeetiline tolereerimine. Kuju-, suuna-, asendi- ja viskumistolerantsid.
30. EVS-EN 1412:2016, Copper and Copper alloys – European numbering system.
31. ISO 2901:2016, ISO metric trapezoidal screw threads - Basic and design profiles.
32. ISO 2902:2016, ISO metric trapezoidal screw threads - General plan.
33. ISO 2903:2016, ISO metric trapezoidal screw threads – Tolerances.
34. ISO 2904:2020, ISO metric trapezoidal screw threads - Basic dimensions.
35. EVS-EN ISO 3098-1:2015 Technical product documentation - Lettering - Part 1: General requirements (ISO 3098-1:2015).
36. EVS-EN ISO 3098-2:2000 Technical product documentation - Lettering - Part 2: Latin alphabet, numeraal and marks (ISO 3098-2:2000).
37. EVS-EN ISO 3098-3:2000 Technical product documentation - Lettering - Part 3: Greek alphabet (ISO 3098-3:2000).
38. EVS-EN ISO 3098-5:1999, Technical product documentation - Lettering - Part 5: CAD lettering of the Latin alphabet, numeraal and marks (ISO 3098-5:1997).
39. ISO 5408:2009, Screw threads – Vocabulary.
40. EVS-EN ISO 5455:1999, Tehnilised joonised. Mõõtkavad (ISI 5455:1979).
41. EVS-EN ISO 5456-2:2000, Technical drawings - Projection methods - Part 2: Orthographic representation (ISO 5456-2:1996).
42. EVS-EN ISO 5457:2001/A1:2010, Technical product documentation - Sizes and layout of drawing sheets - Amendment 1 (ISO 5457:1999/Amd 1:2010).
43. ISO 5864:1993, ISO inch screw threads -- Allowances and tolerances.
44. EVS-EN ISO 6410-1:1999, Tehnilised joonised. Kruvikeermed ja keermestatud detailid. Osa 1: Üldpõhimõtted (ISO 1993-1:1993).
45. EVS-EN ISO 6410-3:2021, Technical drawings - Screw threads and threaded parts - Part 3: Simplified representation (ISO 6410-3:2021).
46. EVS-EN ISO 6433:2012 Technical product documentation - Part references (ISO 6433:2012).
47. EVS-EN ISO 7083:2021, Technical product documentation - Symbols used in technical product documentation - Proportions and dimensions (ISO 7083:2021).
48. EVS-EN ISO 7200:2004, Technical product documentation - Data fields in title blocks and document headers (ISO 7200:2004).
49. ISO 7573:2008 Technical product documentation - Parts lists.
50. EVS-EN ISO 9431:2000, Construction drawings - Spaces for drawing and for text, and title blocks on drawing sheets (ISO 9431:1990).
51. ISO 15786:2008, Technical drawings - Simplified representation and dimensioning of holes.
52. EVS-EN ISO 21920-1:2022, Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile - Part 1: Indication of surface texture (ISO 21920-1:2021).
53. EVS-EN ISO 21920-2:2022, Surface texture: Profile - Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters (ISO 21920-2:2021, Corrected version 2022-06).
54. EVS-EN ISO 21920-3:2022, Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile - Part 3: Specification operators (ISO 21920-3:2021).

55. EVS-EN 22768-1:1999, Üldtolerantsid. Osa 1: Tolerantsid joon- ja nurkmõõtmetele tolerantse vahetult näitamata.
56. EVS-EN ISO 80000-1:2022, Suurused ja ühikud. Osa 1: Üldine (ISO 80000-1:2022).
57. EVS-EN ISO 80000-2:2019, Quantities and units - Part 2: Mathematics (ISO 80000-2:2019, Corrected version 2021-11).

Insenerigraafika on universaalne keel, mis võimaldab ideid, konstruktsioone ja mehhanisme täpselt ja üheselt mõistetavalt edasi anda. Selle õpiku eesmärk on toetada ning anda süsteemne ülevaade kujutava geomeetria ja tehnilise joonestamise alustest.

Õpik aitab õppijal omandada nii teoreetilised teadmised kui ka praktilised oskused, mis on vajalikud edukaks tegutsemiseks tehnika- ja insenerivaldkonnas. See on abiks nii iseseisval õppimisel kui ka juhendatud tegevuses, nii valdkonnas alles alustavatele kui ka juba kogenumatele tegijatele.

**TALLINNA  
TEHNIKAÜLIKOO**

