

INSENERIGRAAFIKA

Teine, täiendatud trükk

FELIKS ANGELSTOK

Sisekaitseakadeemia päästeteenistuse eriala rakenduskõrghariduse õppekavas on inseneriainetel oluline koht. See on tingitud tulekustutus- ja päästetööde iseloomust, mis nõuavad teadmisi mitmetest inseneritöö valdkondadest – ehitusest, keemiast, elektrist, mehaanikast, sidest jne. Kõigis neis valdkondades kasutatakse graafilisi konstruktsiooni-dokumente – jooniseid ja skeeme. Seetõttu on insenerigraafika üks esimesi õppeaineid, millega üliõpilased tutvust teevad.

Insenerigraafika on õppeaine, milles käsitletakse jooniste valmistamise eeskirju ja õpetatakse jooniseid lugema. Ta koosneb kahest osast – kujutavast geometriast ja tehnilisest joonestamisest. Mõlemad osad esinevad insenere koolitavate tehnikaülikoolide õppekavades iseseisvate õppeainetena, kuid paljudes tehnikakõrgkoolides on nad ühendatud ühte ainesse.

Kujutav geometria tegeleb objektidest tasandiliste graafiliste kujutiste loomisega.

Tehniline joonestamine vormib graafilisest kujutisest dokumendi, millest selguvad üheselt objekti kuju, mõõtmed, valmistamisandmed ja vajaduse korral ka objekti seos teiste objektidega.

Võrreldes 2001. aastal ilmunud esmatrükiga on õppematerjali täiendatud Päästeameti peadirektori käskkirjaga kehtestatud tehniliste objektide tingmärkidega, mida kasutatakse operatiivkaartide koostamisel.

Õppeaine kogumaht on 2 ainepunkti. Mõlema aineosa täpsem sisu, teemade loetelu ja neile eraldatud auditoorsete tundide arv ning omandamise tase on toodud aineprogrammis. Aine lõpeb arvestusega, mille saamiseks tuleb edukalt sooritada kontrolltööd, esitada kõik nõutud graafilised tööd ja saada nende eest positiivsed hinded.

© Autoriõigused Feliks Angelstok ja Sisekaitseakadeemia, 2001

SISUKORD

1. Jooniste vormistamine	5
1.1. Formaadid	
1.2. Mõõtkava	
1.3. Jooned	
1.4. Normkiri	
1. Graafiline töö "NORMKIRI "	
1.5. Kirjanurk	
1.6. Lõikepindade viirutamine	
2. Projektsiooni mõiste ja liigid	12
3. Monge`i meetod	13
3.1. Meetodi olemus, punkti kaksvaade	
3.2. Punkti kolmvaade	
4. Punkti, sirge ja tasandi käsitus	15
4.1. Punkti koordinaadid	
2. Graafiline töö "PUNKTI KOORDINAADID "	
4.2. Koordinaatide süsteemid	
4.3. Sirglõigu kaks- ja kolmvaade	
4.4. Eriasendilised sirged	
4.5. Sirglõigu pikkus ja kaldenurgad	
4.6. Kahe sirge vastastikused asendid	
4.7. Tasandi kujutamine	
4.8. Punkt sirgel	
4.9. Punkt ja sirge tasandil	
4.10. Tasandi nivoosirged	
3. Graafiline töö " SIRGE JA TASAND "	
5. Aksonomeetria	33
5.1. Ristisomeetria	
5.2. Kabinetprojektsioon	
6. Lisaprojektsioonid	35
6.1. Lisaprojektsioonide tuletamise viisid	
6.2. Üldistatud kolmvaade	
6.3. Lisaekraani kasutamine	
6.4. Objekti pööramine ümber ekraani normaali	
7. Hulktahukad	39
7.1. Tahuka projektsioonide konstrueerimine	
7.2. Tahuka lõikumine tasandiga	
4. Graafiline töö " HULKTAHK "	
8. Kõverjooned ja kõverpinnad	44
8.1. Joonte liigitus	
8.2. Kõverjooned	
8.3. Pindade liigitus	
8.4. Kõverpinnad	
8.5. Kõverpinna ja tasandi lõikumine	
8.6. Pöördkehad	
8.7. Pöördkehade lõikamine tasapinnaga	

9. Konstruksioonidokumentatsioon	56
9.1. Toodete liigid	
9.2. Konstruksioonidokumentatsiooni liigid	
9.3. Tootmise staadiumid	
9.4. Dokumentide liigid	
10. Kujutised	58
10.1. Vaated	
10.2. Lõiked	
11. Lihtsustatud ja tinglikud kujutised	66
11.1. Katkestused	
11.2. Korduvad elemendid	
11.3. Sümmeetrilised kujutised	
11.4. Pindade lõikejooned	
11.5. Tasapinnaliste osade eristamine pöördpindadest	
11.6. Rihveldus	
11.7. Laotatud kujutised	
11.8. Piirnevad elemendid	
11.9. Õhukeseseinaliste detailide kujutamine	
11.10. Läbipaistvast materjalist esemete kujutamine	
11.11. "Keelatud" lõiked	
11.12. Keermete kujutamine	
12. Joonise mõõtmestamine	73
12.1. Joon- ja nurgamõõtmed	
12.2. Kujumärgid	
12.3. Korduvad elemendid	
12.4. Keermete tähistamine	
12.5. Keevisõmbluste tähistamine	
13. Detailijoonis	81
13.1. Detailide tööjoonistele esitatavad nõuded	
13.2. Tolerantsid ja istud ning nende märkimine joonistel	
13.3. Pinnakaredus ja selle märkimine joonistel	
5. Graafiline töö " PÖÖRDKEHA TÖÖJOONIS "	
6. Graafiline töö " DETAILI TÖÖJOONIS "	
14. Koostejoonis ja tükitabel	84
14.1. Koostejoonis	
14.2. Lihtsustused koostejoonistel	
14.3. Tükitabel	
14.4. Koostejoonise lugemine	
15. Skeemid	87
16. Ehitusjoonised	89
16.1. Kujutised ehitusjoonistel	
16.2. Mõõtmete kandmine ehitusjoonistele	
7. Graafiline töö " ELUASEME PLAAN "	
16.3 Operatiivkaart	93
Kasutatud kirjanduse loetelu	97

1. JOONISTE VORMISTAMINE

1.1. Formaadid

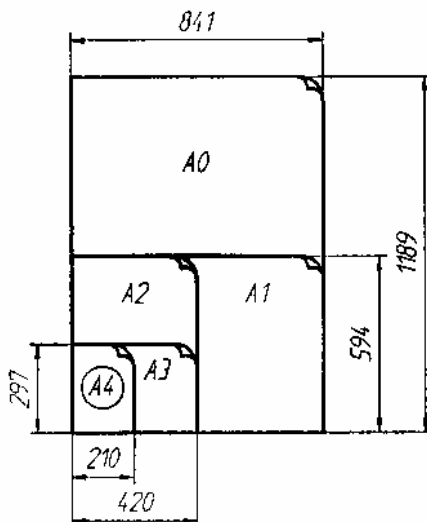
Joonised ja teised konstruktsioonidokumendid tehakse kindla suurusega ehk *formaadiga* paberile. *Formaat* tuleb valida nii, et kujutiste, mõõtmete ja tekstiga oleks hõlmatud vähemalt 60% paberi pinnast. Standardi ISO 5457 kohaselt saadakse *põhiformaadid* 1 m² suuruse pindalaga, mõõtmetega 841 x 1189 mm paberi järkjärgulisel jaotamisel lühema servaga paralleelse lõikejoone abil pooleks (joonis 1.1).

Põhiformaatide tähised on A0, A1, A2, A3 ja A4. Lisaformaadid moodustatakse põhiformaatide lühema serva täisarvkorde suurendamisega. Kõiki formaate võib kasutada horisontaalsetena või vertikaalsetena.

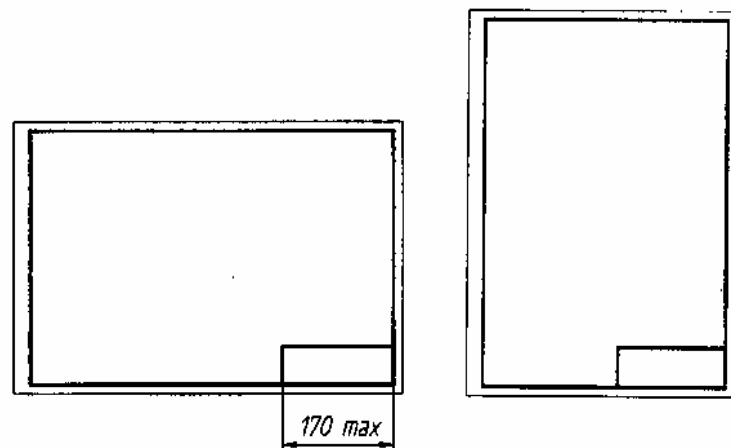
Igale joonisele tehakse raamjooned ja kirjanurk. *Raamjoon* on vähemalt 0,5 mm paksune pidev jämejoon. Selle kaugus formaati A4, A3 ja A2 lõigatud paberi servadest on vähemalt 10 mm.

Kõiteriba asub kirjanurga suhtes joonise vasakpoolsel äärel. Selle moodustamiseks tõmmatakse raamjoon vähemalt 20 mm kaugusele formaadi vasakust servast.

Kirjanurk asub joonise alumises parempoolses nurgas, toetudes pikema küljega vastu alumist ja lühema küljega vastu parempoolset raamjoont (joonis 1.2).



Joonis 1.1



Joonis 1.2

1.2. Mõõtkava

Parima ülevaate objektist annab joonis, millel kujutised on mõõtmelst sama suured kui objekt ise. Kui objekt on liiga suur võrreldes paberi põhiformaatidega, tuleb tema kujutisi joonisel vähendada. Liiga väikesest objektist loovad selgema pildi tema suurendatud kujutised.

Objekti ja temast joonisel tehtud kujutiste suuruse vahekorda selgitab *mõõtkava* ehk *mastaap*. Mõõtkava väljendatakse kahe suhtena kirjutatud numbriga. Mõõtmete loomulikku suurust väljendab mõõtkava 1 : 1. Vähenduse korral seisab number 1 esimesel kohal, suurenduse korral teisel kohal. Näiteks mõõtkavast 1 : 5 selgub, et objekti kujutised on tema tegelikust suurusest 5 korda väiksemad. Mõõtkava 2 : 1 näitab, et kujutised on objektist 2 korda suuremad. Masinaehituslikel joonistel kasutatakse vähendavaid mõõtkavasid 1 : 2, 1 : 5, 1 : 10 ja suurendavaid

mõõtkavasid 2 : 1, 5 : 1, 10 : 1. Standard ISO 5455 lubab kasutada ka teistsuguseid mõõtkavasid.




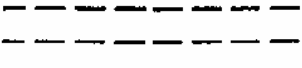



Mõõtkava kirjutatakse joonise kirjanurga vastavasse lahtrisse. Vajaduse korral võib joonisel kasutada ka mitut erinevat mõõtkava. Sel juhul kirjutatakse neist põhiline kirjanurka, sellest erinevad mõõtkavad aga ümarsulgudes vastava kujutise pealkirja juurde.

Suurendamisel või vähendamisel muudetakse vaid objekti kujutise suurust, mitte aga objekti ennast. Seepärast kirjutatakse *joonisele tingimata objekti tegelikud mõõtmed*, olenemata mõõtkavast, mida objekti kujutamisel kasutati.

1.3. Jooned

Joonte kasutamine nende liigile vastavas tähenduses lubab jooniseid täpselt vormistada ja valmisjooniseid üheselt lugeda, nende sisust ühtmoodi õigesti aru saada. Standard ISO 128 määrab kindlaks joonte liigid ja nende kasutusala (tabel 1.1).

Tabel 1.1

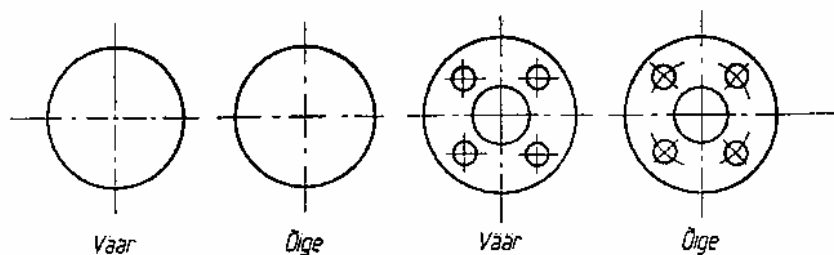
Joone liik	Nimetus	Kasutusala
	Pidev jämejoon	Nähtavad kontuurid Nähtavad ülemineku- ja servajooned
	Peenjoon	Mõõtjooned Distantajooned Viitejooned Viirutusjooned Keerme põhjajooned Kujutletavad pindade üleminekujooned Vaate peale joonestatud ristlõike kontuurid Lühikesed tsentrijooned Väljatoodud elemendi eraldusjoon
	Pidev vabakäepeenjoon Murretega peenjoon	Katkestusjooned; vaate ja lõike eraldusjooned
	Jäme kriipsjoon* Peen kriipsjoon*	Varjatud kontuurjooned, varjatud ülemineku- ja servajooned
	Kriipspunktpeenjoon	Pikad tsentrijooned, sümmeetriateljed
	Kriipspunktpeenjoon, otstest ja murdekohtadest jäme	Lõikepinna kulgemist näitavad jooned
	Kriipskakspunkt- peenjoon	Liikuvate osade äärmisi asendeid märkivad jooned Eseme kontuur enne painutust Painutusjooned pinnalaotusel

* Samal joonisel kasutada vaid ühte nendest

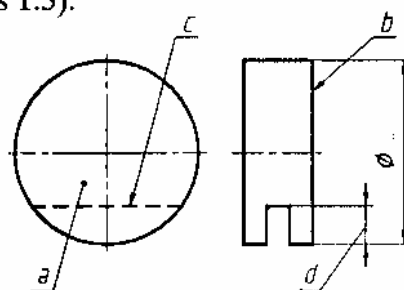
Joonistel kasutatakse kahte jämeduse poolest erinevat joont – *jämejoont* ja *peenjoont*. Nende jämeduste suhe peab olema vähemalt 2 : 1. Joonejämeduse valikul juhendatakse joonise suuruselt ja kujutiste keerukusastmest. Standardiga on määratud järgmine *joonejämeduste rida*: 0,18; 0,25; 0,35; 0,5; 0,7; 1,0; 1,4; 2,0 mm. Selle rea kõige peenemat, s.o 0,18 mm jämedust joont tuleks võimaluse korral vältida, kuna seda on tehniliselt raske kopeerida. Objekti kõigil ühes ja samas mõõtkavas tehtud kujutistel peaksid samatähenduslikud jooned olema ühesuguse jämedusega.

Järgnevalt mõned reeglid joonte kasutamiseks:

- Paralleeljoonte vaheline kaugus ei tohiks olla väiksem kui kahest kõrvutiolevast joonest jämedama joone kahekordne jämedus. On soovitatav, et see vahe ei oleks vähem kui 0,7 mm.
- Kriipspunktjoon algab ja lõpeb kriipsuosaga.
- Ringjoone tsentrit tähistatakse lõikuvate kriipsudega (joonis 1.3).



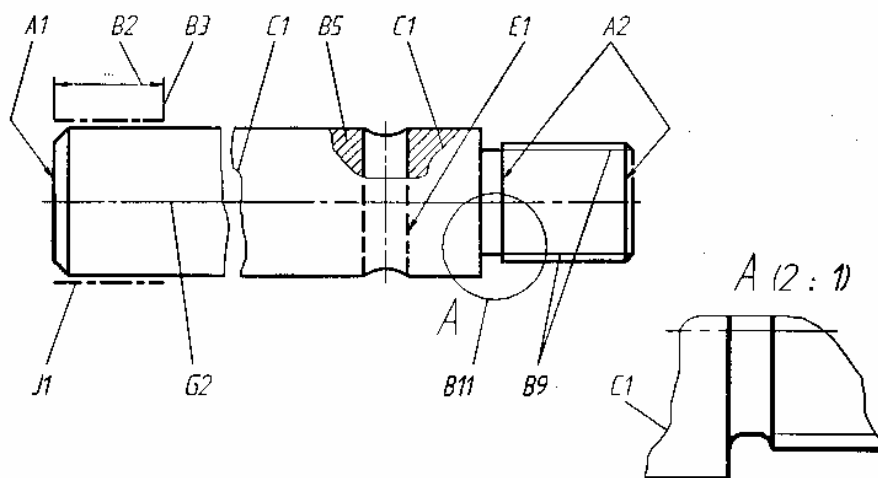
Joonis 1.3



Joonis 1.4

- Kui ringjoone läbimõõt on alla 12 mm, tõmmatakse sellele lühikesed pidevad, s.t ilma katkestuseta tsentrijooned (joonis 1.3).
- Ümaräärikul, silindri otspinnal jms kohtades asuvate avade tsentrid määrab detaili tsentrist tõmmatud ringjoone ja sellesse tsesntrisse suunduva kriipsu lõikepunkt (joonis 1.3).
- Joonise teatud elemendile (pind, joon) osutamiseks kasutatakse viitejooni. Viitejoon, mis osutab kujutise pinnale, lõpetatakse punktiga (viide *a* joonisel 1.4). Viitejoon, mis on suunatud nähtavale või varjatud kontuurile, lõpetatakse noole otsaga (viited *b* ja *c* joonisel 1.4). Teistele jooneliikidele osutavad viitejooned on ilma punkti või nooleta (viide *d* joonisel 1.4).
- Jooned ei tohi joonisel olevaid tähiseid lõigata. Kui ruumi on vähe, tuleb mingi olulise tähise paigutamiseks abijoon katkestada. Kontuurjooni tähise või mõõtarvu kohal ei katkestata. Vastav mäрге kantakse lihtsalt teise kohta, tarvidusel ka viitejoone laudile.
- Punkte märgitakse joonisel tavaliselt nullikestega (läbimõõt mitte üle 1 mm). Nullikesed peavad olema kõik ühesuurused, tehtud peenjoonega nullsirkli või sablooni abil ja seest puhtad.
- Jooniste lõplikul vormistamisel tuleb jooni kasutada järgmiselt
 - nähtavad kontuurid – pideva jämejoonega $S = 0,5$ mm;
 - varjatud kontuurid – kriipsjoonega (jämedus $S/2$), kusjuures kriipsukese pikkus on 3...4 mm ja kriipsuvahe on 1 mm;
 - kujutise telgjooned kriipspunkt-peenjoonega (jämedusega $S/3$);
 - sidejooned, viirusjooned, konstruktsioonijooned ja koordinaatteljed kaks- ja kolmvaatel ning aksionomeetrias – pideva peenjoonega (jämedusega $S/3$);
 - raamjoon ja kirjanurga piirjoon – pideva jämejoonega.

Erinevate jooneliikide kasutusnäiteid on toodud joonisel 1.5: *A1* – nähtav kontuurjoon; *A2* – nähtav ülemineku- ja servajoon; *B2* – mõõtjoon; *B3* – distantsoon; *B5* – viirutusjoon; *B9* – keeme põhjajoon; *B11* – väljatoodud elemendi eraldusjoon; *C1* – katkestusjoon, vaate ja löike eraldusjoon; *E1* – varjatud kontuur; *G2* – sümmeetriatelg; *J1* – termiliselt töödeldud pinna märgistusjoon.



Joonis 1.5

1.4. Normkiri

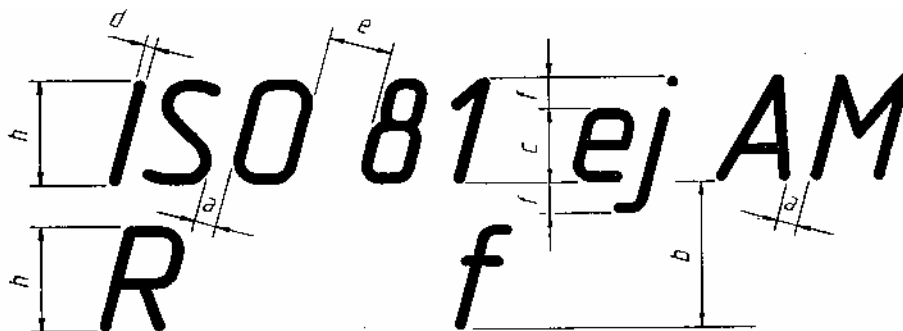
Joonistele ja eskiisidele kirjutatakse tekst *normkirjas*. Kirja suuruseks loetakse suurtähtede kõrgust h mm-tes. Kehtestatud on järgmised kirja suurused: 2,5; 3,5; 5,0; 7,0; 10,0; 14,0; 20,0 mm. Väiketähtede kõrgus c ei tohi olla vähem kui 2,5 mm. Seega saab kirja suurusega 2,5 kirjutada vaid suurtähtedega.

Ladina tähestik ja numbrid kirjutatuna normkirjas, B-tüüpi kaldkirjas ISO 3098/1 järgi, on näha esimese graafilise töö "NORMKIRI" kirjelduses. See on ka selle töö sisuks. Tähtede täpne kuju on välja loetav kirja taustaks oleva ruudustiku järgi.

Erinevate kirjade põhimõõtmed on toodud tabelis 1.2 ja näha joonisel 1.6.

Tabel 1.2

Parameeter	Suhteline mõõde	Mõõtmed mm						
		2,5	3,5	5	7	10	14	20
Suurtähe kõrgus h	10/10 h	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Väiketähe kõrgus c	7/10 h	-	2,5	3,5	5	7	10	14
Väiketähtede üla- ja alapikendused f	3/10 h	0,75	1,05	1,5	2,1	3	4,2	6
Tähtede vahe a	2/10 h	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
Ridade alusjoonte vahe min b	14/10 h	3,5	5	7	10	14	20	28
Sõnade vahe min e	6/10 h	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12
Joone jämedus d	1/10 h	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

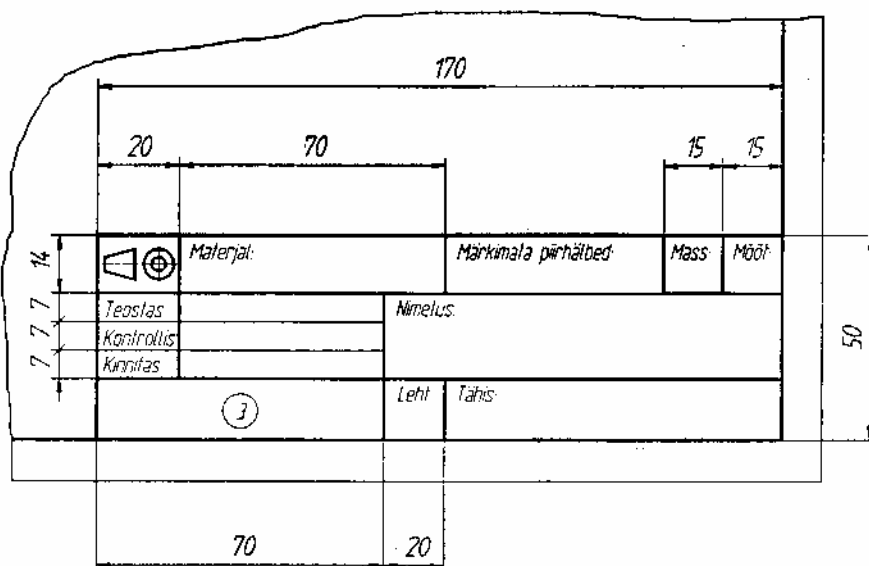


Joonis 1.6

1.5. Kirjanurk

Kirjanurk on tabel, kuhu kantakse andmed ja allkirjad dokumendiga käsitletava toote kohta. Kirjanurk asub joonise alumises parempoolses nurgas, toetudes pikema küljega vastu alumist ja lühema küljega vastu paremat raamjoont.

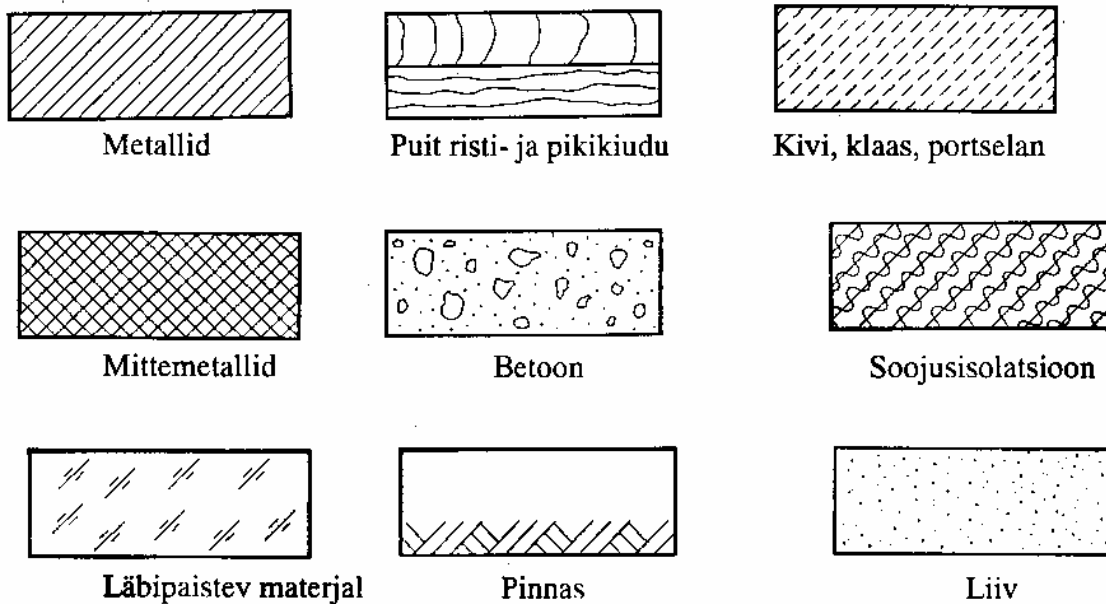
Standardid annavad kirjanurga koostamiseks vaid üldisi põhimõtteid ja soovitusi. Seepärast peab iga asutus leidma ise enda jaoks kõige sobivama kirjanurga vormi. Sisekaitseakadeemias võiks tarvitada Tallinna Tehnikaülikoolis välja töötatud ja üliõpilastele kursuse- ja diplomitöodes kasutamiseks mõeldud kirjanurka (joonis 1.7). Selles kirjanurgas tuleb lahtrisse "3" kirjutada asutuse nimi "Sisekaitseakadeemia", lahtrisse "Teostas" ja "Kontrollis" vastavalt üliõpilase ja õppejõu nimi, lahtrisse "Nimetus" – töö pealkiri, lahtrisse "Tähis" – töö number (näiteks – "Nr 1"). Lahtrid "Materjal" ja "Märkimata piirhälbed" täidetakse vaid detailide tööjoonistel. Lahtrid "Kinnitas" ja "Mass" jäävad tühjaks. Lahtrisse "Leht" kirjutatud "1" näitab, et dokument on vormistatud ühele lehele. Kui dokument on mitmel lehel, tuleb kirjutada sellesse lahtrisse lisaks lehe numbrile kaldkriipsu järele ka lehtede üldarv, näiteks "1/6".



Joonis 1.7

1.6 Lõikepindade viirutamine

Materjalide eristamiseks joonistel, detailide lõigetel antakse nende lõikepindadele erinev "muster". Riikide standardid ei ole "mustrite" valikus ühel meelel. Enamkasutatavad materjalide viirutused on toodud joonisel 1.8.

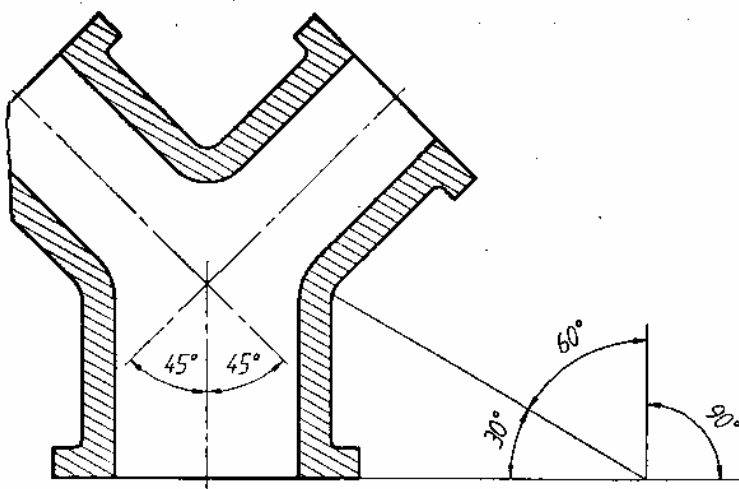


Joonis 1.8

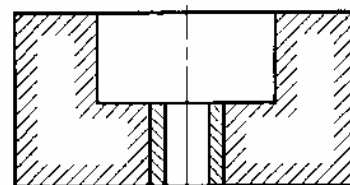
Paralleelsed viirutusjooned tõmmatakse joonise raamjoone suhtes 45° kaldega. Kui ilmneb, et viirutusjoonte kalle ühtib telgjoonte või kontuurjoonte suunaga, tuleb valida viirutusjoonte kaldenurgaks 30° või 60° (joonis 1.9).

Viirutusjooned võivad olla kaldu nii paremale kui ka vasakule. Peab jälgima seda, et ühe detaili joonise kõikidel kujutistel (lõigetel) oleks viirutus ühesuunaline ja ühesuguse tihedusega. Viirutusjoonte vahekaugus võib ulatuda 1 kuni 10 millimeetrini olenevalt viirutatava pinna suurusest. Suuri pindu ei pruugi viirutada üleni, vaid ainult lõikepinna kontuurjoonte läheduses (joonis 1.10).

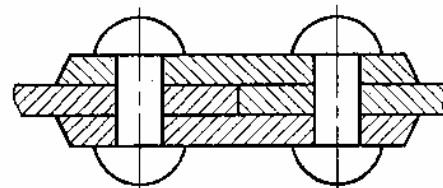
Kokkupuutuvate detailide eristamiseks valitakse nende lõigetel erinev viirutuse suund või muudetakse viirutusjoonte vahekaugust (joonis 1.11).



Joonis 1.9



Joonis 1.10



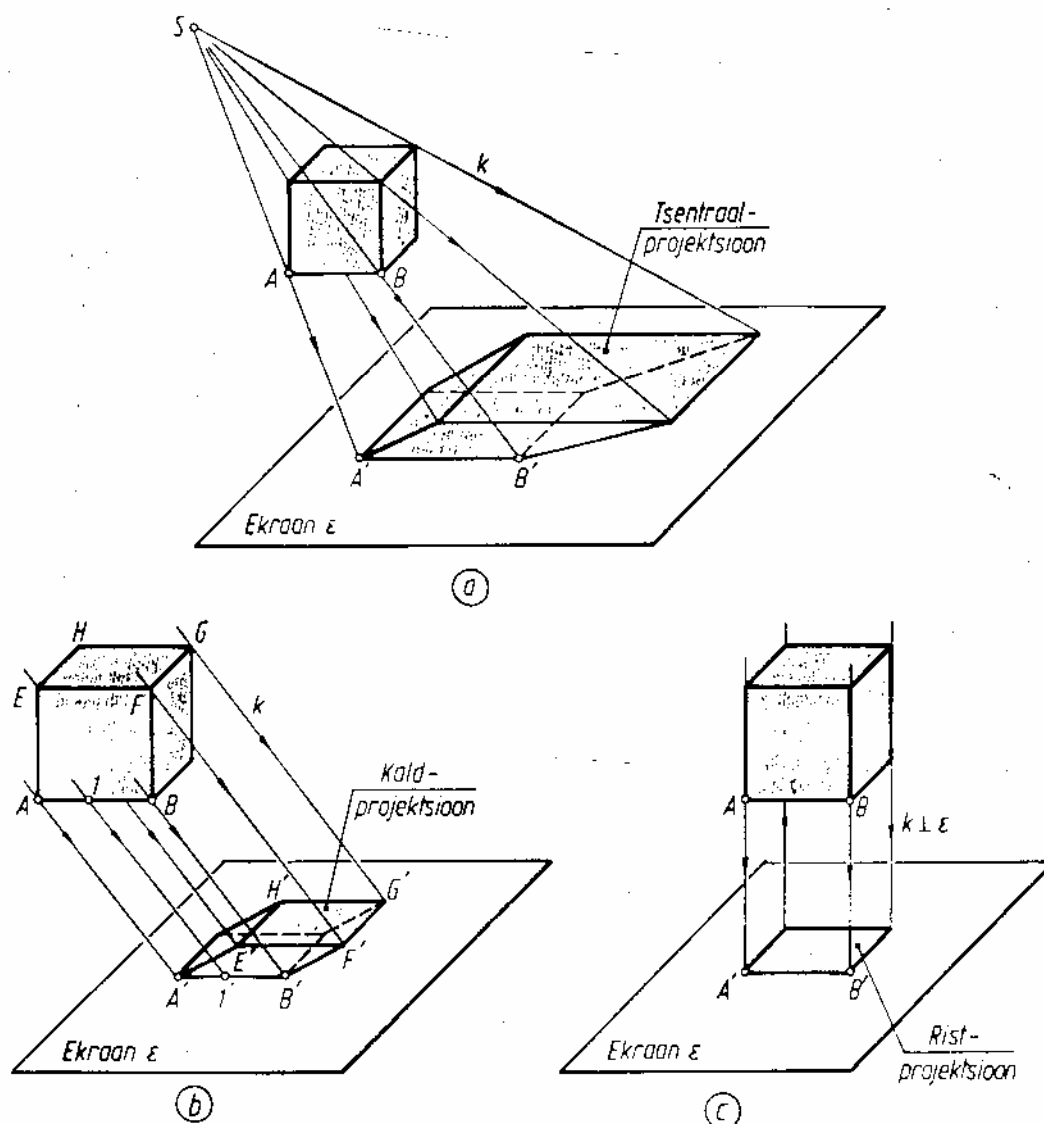
Joonis 1.11

2. PROJEKTSIOONI MÕISTE JA LIIGID

Valguskiirte teele jäänud objektist tekib vari. Analoogselt saadakse projekteerimiskiirte abil tasapinnal objektist *projektsioon* ehk *kujutis*. Kujutise saamise protsessi nimetatakse *projekteerimiseks*. Tasapinda, kuhu kujutis tekib, nimetatakse *ekraaniks*.

Ühest punktist S lähtuvad projekteerimiskiired k tekitavad ekraanile ϵ *tsentraalprojektsiooni* ehk *perspektiivi* (joonis 2.1 a). Oluline on suunata kiired läbi objekti kuju iseloomulike punktide A, B jne. Kujutis on objekti punkte läbivate kiirte ja ekraani lõikepunktide kogum.

Kui punkt S , millest lähtuvad projekteerimiskiired, asub lõpmata kaugel, siis jõuavad kiired objektini paralleelsetena ja saadavat kujutist nimetatakse *paraleelprojektsiooniks*. Kui kiired on paraleelprojekteerimisel ekraani suhtes kaldu (joonis 2.1 b), siis saame *kaldprojektsiooni*, kui aga kiired on ekraaniga risti (joonis 2.1 c), siis saame *ristprojektsiooni*.



Joonis 2.1

3. MONGE`I MEETOD

3.1. Meetodi olemus, punkti kaksvaade

Objekti üksainus kujutis ühel ekraanil ilma lisaandmeteta ei määra seda objekti üheselt. Et saada objektist täielikku ettekujutust projekteeritakse tema ristprojektsioon kahele või enamale risti olevale ekraanile. Seejärel pööratakse ekraanid koos kujutistega ühele tasandile – joonise pinnale.

Võtame kaks teineteisega ristuvat tasandit-horisontaalse ϵ_1 (joonis 3.1 a), mille nimetame *põhiekraaniks* ja vertikaalse ϵ_2 , mille nimetame *esiekraaniks*. Piirame mõlemad tasandid sirgetega nii, et tekiks sobiva suurusega lõikuvad ekraanid. Lõikejoone, kaksvaate telje nimetame *x* teljeks.

Projekteerime punkti *A* mõlemale ekraanile. Selleks suuname läbi punkti *A* kaks projekteerivat kiirt: ühe AA' risti põhiekraaniga ϵ_1 ja teise AA'' risti esiekraaniga ϵ_2 . Esimese kiire lõikepunkt põhiekraaniga ϵ_1 annab punkti *A* pealtvaate A' . Teise kiire lõikepunkt esiekraaniga ϵ_2 annab punkti *A* eestvaate A'' . Punkti *A* kaugust põhiekraanist AA' nimetatakse selle punkti *põhikvoodiks* ja kaugust esiekraanist AA'' *esikvoodiks*. Seejuures on põhikvood võrdne punkti *A* eestvaate A'' kaugusega *x*-teljest $AA' = A''A_x$ ja esikvood võrdne punkti *A* pealtvaate kaugusega *x*-teljest $AA'' = A'A_x$.

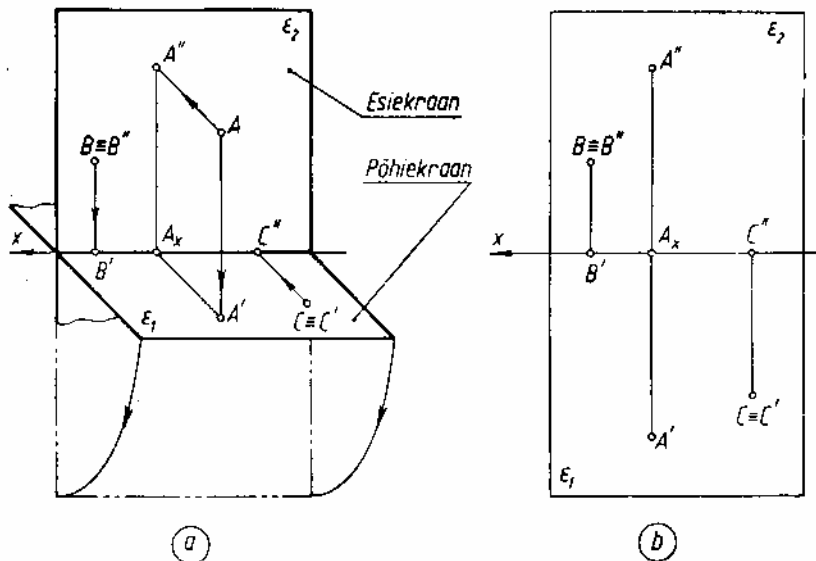
Pöörates põhiekraani ϵ_1 kaarnooltega näidatud suunas kuni esiekraanini ϵ_2 , saame kaks teineteisega seotud ristprojektsiooni ühel tasandil – joonise pinnal. Saadud ristprojektsioonide paari nimetatakse *kaksvaateks* (joonis 3.1 b).

Esiekraanil asuva punkti *B* eestvaade langeb kokku punkti endaga ($B=B''$), pealtvaade aga projekteerub *x*-teljele. Põhiekraanil asuva punkti *C* pealtvaade langeb kokku punkti endaga ($C=C'$), eestvaade projekteerub samuti *x*-teljele.

Punkti projektsioone ühendavat sirget nimetatakse *sidejooneks*. Sidejooned on joonisel 3.1 b $A'A''$, $B'B''$ ja $C'C''$. Sidejoon on alati risti kaksvaate teljega ja tema kaudu avaldub kujutistevaheline projektsiooniline seos.

Punkti kaksvaade määrab punkti asukoha ekraanide suhtes üheselt.

Kujutamist kaksvaate abil rakendas esmakordselt prantsuse matemaatik Gaspard Monge, mistõttu sellist kujutamiskiimet nimetatakse Monge`i meetodiks.



Joonis 3.1

3.2. Punkti kolmvaade

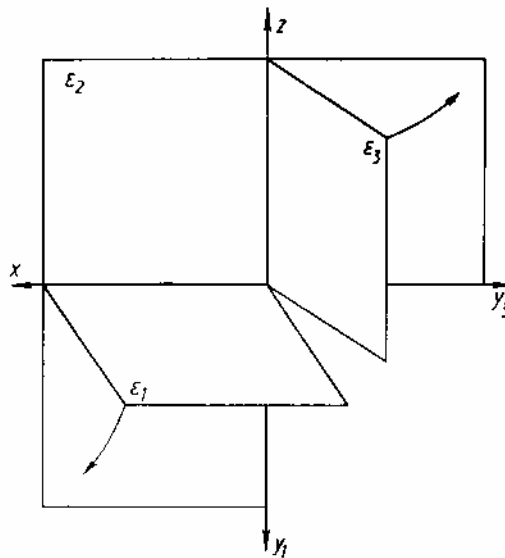
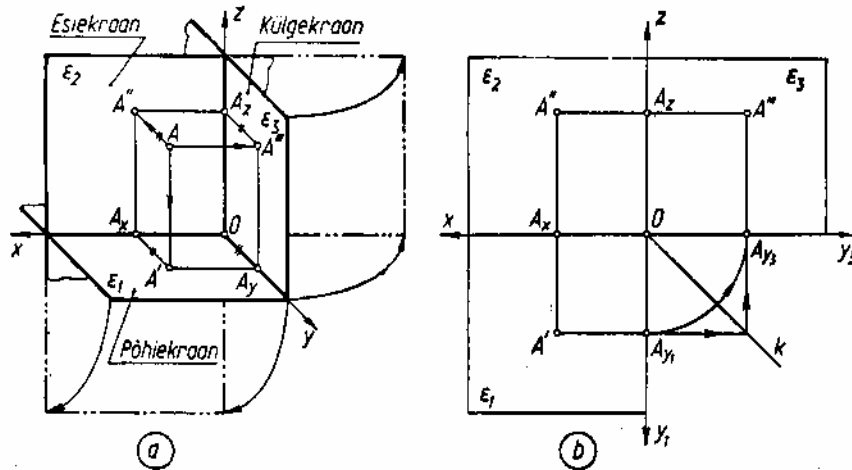
Kaksvaade määrab küll punkti asukoha ekraanide suhtes, kuid ei suuda ära määrata keerukamaid objekte. Nendest ülevaate saamiseks tuleb lisaks kahele ristprojektsioonile võtta kasutusele veel kolmaski. See saadakse põhi- ja esiekraaniga ristuvale tasandil – külgekraanil ε_3 (joonis 3.2). Ekraanide ε_1 ja ε_3 pööramisega esiekraani ε_2 tasandile saamegi kolmvaate.

Kolmvaade koosneb kahest kaksvaatest, mille moodustavad ekraanipaarid $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2$ ja $\varepsilon_2 \perp \varepsilon_3$. Et esiekraan esineb mõlemas kaksvaates, siis nimetatakse esiekraani *peaekraaniks*, eestvaadet aga *peakujutiseks*.

Joonis 3.2 selgitab punkti A projekteerimist kolmele ristiolevale ekraanile. Külgekraanil ε_3 saadud punkti ristprojektsiooni A''' nimetatakse punkti *külgvaateks*. Punkti A kaugust külgekraanist AA''' nimetatakse *külgkvoodiks*.

Esi-, põhi- ja külgekraan lõikuvad omavahel paarikaupa mööda telgi x , y ja z , moodustades ristteljestiku keskpunktiga O . Ekraanide ε_1 ja ε_3 pööramisel esiekraanile ε_2 on telg y nähtav kahes kohas: z -telje pikendusena koos ekraaniga ε_1 , kus ta on tähistatud y_1 , ning x -telje pikendusena koos ekraaniga ε_3 , kus ta tähis on y_3 .

Eeltoodust tingituna esineb punkti esikvoot ehk peakvoot kolmvaates kaks korda – pealtvaate kaugusena x -teljest ja külgvaate kaugusena z -teljest $A'A_x = A'''A_z = AA''$. Seda seost nimetatakse *kolmvaate peaomaduseks* ja ta on aluseks objekti kolmanda kujutise tuletamisel antud kaksvaate põhjal.



Joonis 3.2

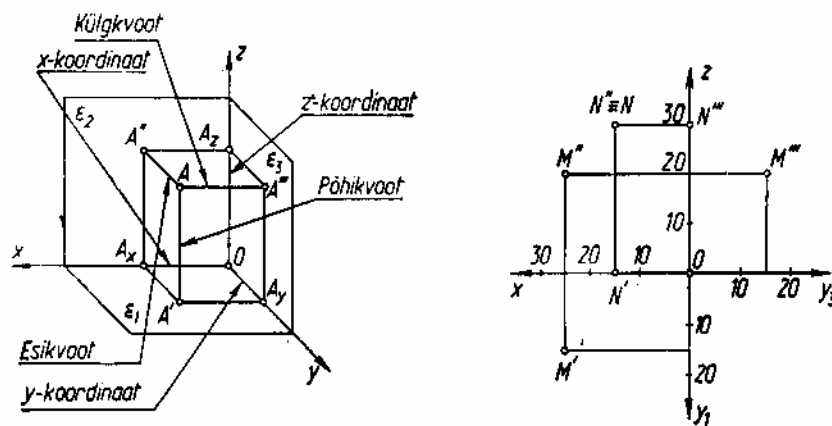
4. PUNKTI, SIRGE JA TASANDI KÄSITLUS

4.1 Punkti koordinaadid

Punkti koordinaadiks nimetatakse tema kvooti ehk kaugust ekraanist mõõdetuna mööda telge. Punkti z -koordinaat on määratud põhikvoodiga, y -koordinaat esikvoodiga ja x -koordinaat külgekvoodiga (joonis 4.1). Kuna ekraanid on omavahel risti on tegemist *ristkoordinaadistikuga*.

x , y ja z on *koordinaatteljed*, nende lõikepunkt O on *koordinaatide alguspunkt*.

Mistahes ruumpunkti asukohta teljestiku suhtes võib väljendada koordinaatidega. Nii on joonisel 4.1 punkti M (25; 15; 20) koordinaadid: x -koordinaat ehk *abstsiss* 25 pikkusühikut (näiteks mm), y -koordinaat ehk *ordinaat* 15 ühikut ja z -koordinaat ehk *aplikaat* 20 ühikut. Punkti N koordinaadid (15; 0; 30).



Joonis 4.1

Koordinaatide alguspunkt jaotab kõik teljed positiivseteks ja negatiivseteks suundadeks. Seega võivad koordinaadid olla nii positiivsed kui ka negatiivsed suurused. Punkti kujutiste märkimisel igale ekraanile tuleb seepärast hoolikalt jälgida telgede suundi.

2. Graafiline töö – “PUNKTI KOORDINAADID”

Märgime punkti A , mille koordinaadid annab õppejõud, koordinaatteljestikele x, y, z .

Kõigepealt kujutame punkti kolmvaatel. Seejärel määrame punkti A asukoha kujutades koordinaattelgedel lõike OA_x , OA_y , OA_z ja esi-, põhi- ja külgekraanil punkti projektsioone A' , A'' , A''' .

Kujutame punkti aksonomeetriliselt kahes teljestikus, milleks on ristsomeetria ja kabinetprojektsioon (vt 5. peatükk “Aksonomeetria”).

4.2 Koordinaatide süsteemid

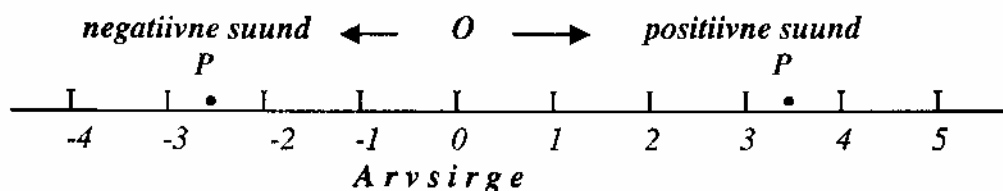
Kõiki jooni võib lugeda koosnevateks punktidest. Seega on iga sirge või kõverjoon punktide hulk. Iga punkti iseloomustab arvväärus, mis teda teistest punktidest eristab.

Ühe joone kõikide punktide arvvaartuste vahel on matemaatiline seos, mida nimetatakse selle joone võrrandiks. Lineaarne kahe muutujaga võrrand on sirgjoon, ruutvõrrand on koonuse lõige jne. Igatahes on seos punkti ja arvu vahel ühetähenduslik. Sellel tõsiasjal baseerub matemaatika haru, mida nimetatakse analüütiliseks geometriaks.

Et sirgel asuvat punkti üheselt kindlaks määrata, piisab ühest arvust. Tasandil asuva punkti üheseks määramiseks vajame kahte arvu, ruumipunkti üheseks määramiseks vajame kolme arvu. Neid arve nimetatakse punkti koordinaatideks. Koordinaate võib valida mitut moodi. Tulemuseks on erinevad koordinaatide süsteemid, mida järgnevalt vaatleme.

Arvsirge.

Punkti asukoht sirgel on üheselt määratud, kui on antud nullpunkti O (ladina keeles *origo* – lähtekoht, algus) asukoht sellel sirgel ja pikkusühik e . Pikkusühikut nullpunktist mõlemale poole kandes saadakse arvsirge, millel punkti P asukohta määrab üheselt lõigu OP pikkus (joonis 4.2). See on kas positiivne või negatiivne arv, olenevalt sellest kummale poole nullpunkti vaadeldav punkt jääb. Arvu väärtuse määrab nullpunkti ja vaadeldava punkti vahele jääv ühikute hulk ($OP = x e$). See arvu ongi punkti P koordinaat x .



Joonis 4.2

Paralleelkoordinaatide süsteemid.

Punkti asukoha määramiseks tasapinnal on vaja kahte arvsirget. Nende nullpunktid ühitatakse ja saadud ühist nullpunkti O nimetatakse koordinaatide alguspunktiks. Arvsirgeid nimetatakse koordinaattelgedeks, kusjuures ühele neist omistatakse tähis x ja nimi abstsissitelg ning teisele omistatakse tähis y ja nimi ordinaattelg. Paremakäeline on selline teljestik, kus x telje positiivset suunda vastupäeva pöörates langeb ta kokku y telje positiivse suunaga. Vastasel juhul on tegemist vasakukäelise teljestikuga.

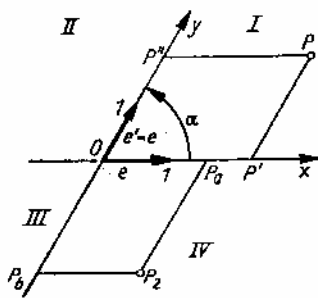
Koordinaatteljed jagavad tasandi neljaks veerandiks I, II, III ja IV. Igas veerandis on koordinaatidel x ja y kas "+" või "-" märgid.

Punkti koordinaadid esitatakse kujul $P(x, y)$, kus esimesel kohal on x -koordinaat ehk abstsiss ja teisel kohal y -koordinaat ehk ordinaat. Koordinaatteljel asuvatel punktidel on ühe koordinaadi väärtus null, abstsissiteljel x asuvatel punktidel $y = 0, P_a(x, 0)$ (joonis 4.3) ja ordinaatteljel y asuvatel punktidel $x = 0, P_b(0, y)$ (joonis 4.3). Koordinaatide alguspunkti O enda koordinaadid on $(0, 0)$.

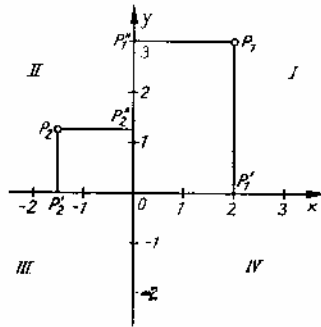
Kui koordinaattelgede vahel on täisnurk - 90° , siis on tegemist ristkoordinaadistikuga (joonis 4.4). Teiste nurkade puhul on tegemist kaldkoordinaadistikuga (joonis 4.3).

Polaarkoordinaadid.

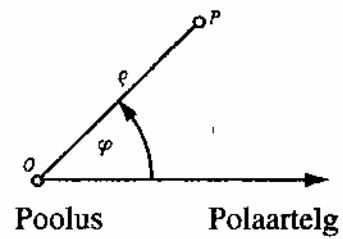
Polaarkoordinaatsüsteemi moodustavad lähtepunkt ehk poolus O ja sellest lähtuv telg ehk nullsuund. Suvalise punkti P asukoha tasandil määravad nurk φ , mille võrra tuleb telge pöörata nullsuunast vastupäeva, kuni ta läbib punkti P , ja punkti P kaugus ρ poolusest O ($OP = \rho$) (joonis 4.5).



Joonis 4.3



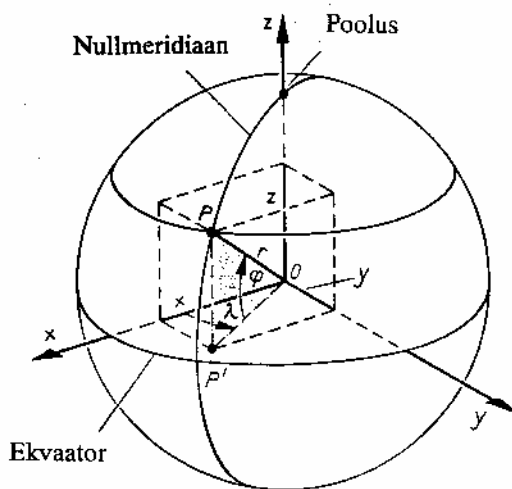
Joonis 4.4



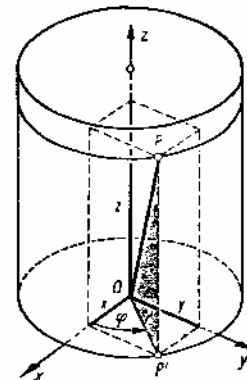
Joonis 4.5

Sfäärkoordinaadid.

Punkti asukohta ruumis võib määrata sfäärkoordinaatidega, mida võib käsitleda ka polaarkoordinaatidena ruumis. Selleks tuleb võtta appi veel üks polaarnurk λ (joonis 4.6). Punkti P sfäärkoordinaadid oleksid seega polaarraadius r , pikkus φ ja laius λ .



Joonis 4.6



Joonis 4.7

Silinderkoordinaadid.

Punkti asukohta ruumis võib määrata kujutades punkti asuvana teatud silindri välispinnal. Punkti P asukoha üheseks määramiseks (joonis 4.7) on vaja anda silindri raadius r , nurk φ , mida loetakse x -telje positiivsest suunast raadiusvektori projektsioonini xy -tasapinnal ja punkti P kaugus z xy -tasapinnast.

Kirjeldatud koordinaatide süsteemid on enamkasutatavad, kuid kaugelki mitte ainuvõimalikud. Ühe punkti asukohta võib kirjeldada erinevate koordinaatide abil. Alati on võimalik tuletada üleminekuvalemid ühest koordinaatide süsteemist teise.

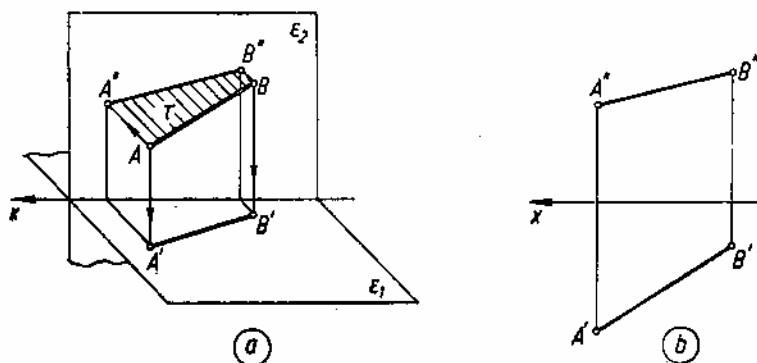
4.3 Sirglõigu kaks- ja kolmvaade

Sirglõigu määravad kaks punkti. Sirglõigu kaksvaate saamiseks tuleb leida nende punktide ristprojektsioonid kahel ekraanil. Punktide samanimeliste projektsioonide ühendamisel tekivad ekraanidel sirglõigu projektsioonid ehk vaated.

Joonisel 4.8 kujutatud sirglõik on määratud oma otspunktidega A ja B . Lõigu otspunktide ristprojektsioonid esiekraanil ε_2 on A'' ja B'' ning põhiekraanil ε_1 on A' ja B' . Samanimeliste projektsioonide ühendamisel tekib ekraanil ε_1 lõigu AB pealtvaade $A'B'$ ja ekraanil ε_2 eestvaade $A''B''$.

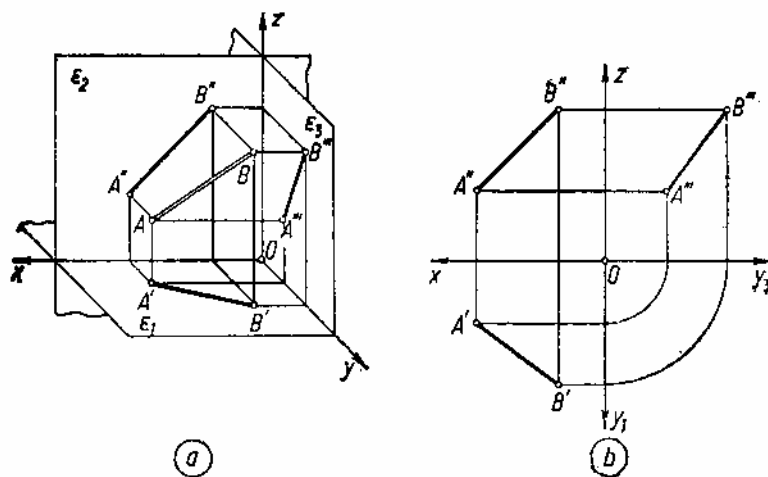
Punkte ekraanile projekteerivad kiired moodustavad projekteeriva tasandi. Näiteks lõigu AB esiekraanile projekteerivad kiired moodustavad tasandi τ .

Pöörates põhiekraani ε_1 koos temal asuva kujutisega esiekraanile ε_2 , saame sirglõigu AB kaksvaate (joonis 4.8 b).



Joonis 4.8

Sirglõigu AB kolmvaate saamiseks leiame tema otspunktide A ja B ristprojektsioonid kolmel ekraanil $A', A'', A''', B', B'', B'''$ (joonis 4.9 a). Ühendades samanimelised projektsioonid saame lõigu kolm vaadet $A'B', A''B'', A'''B'''$. Pöörates põhi- ja külgekraanid esiekraani tasandisse, saame sirglõigu kolmvaate (joonis 4.9 b).



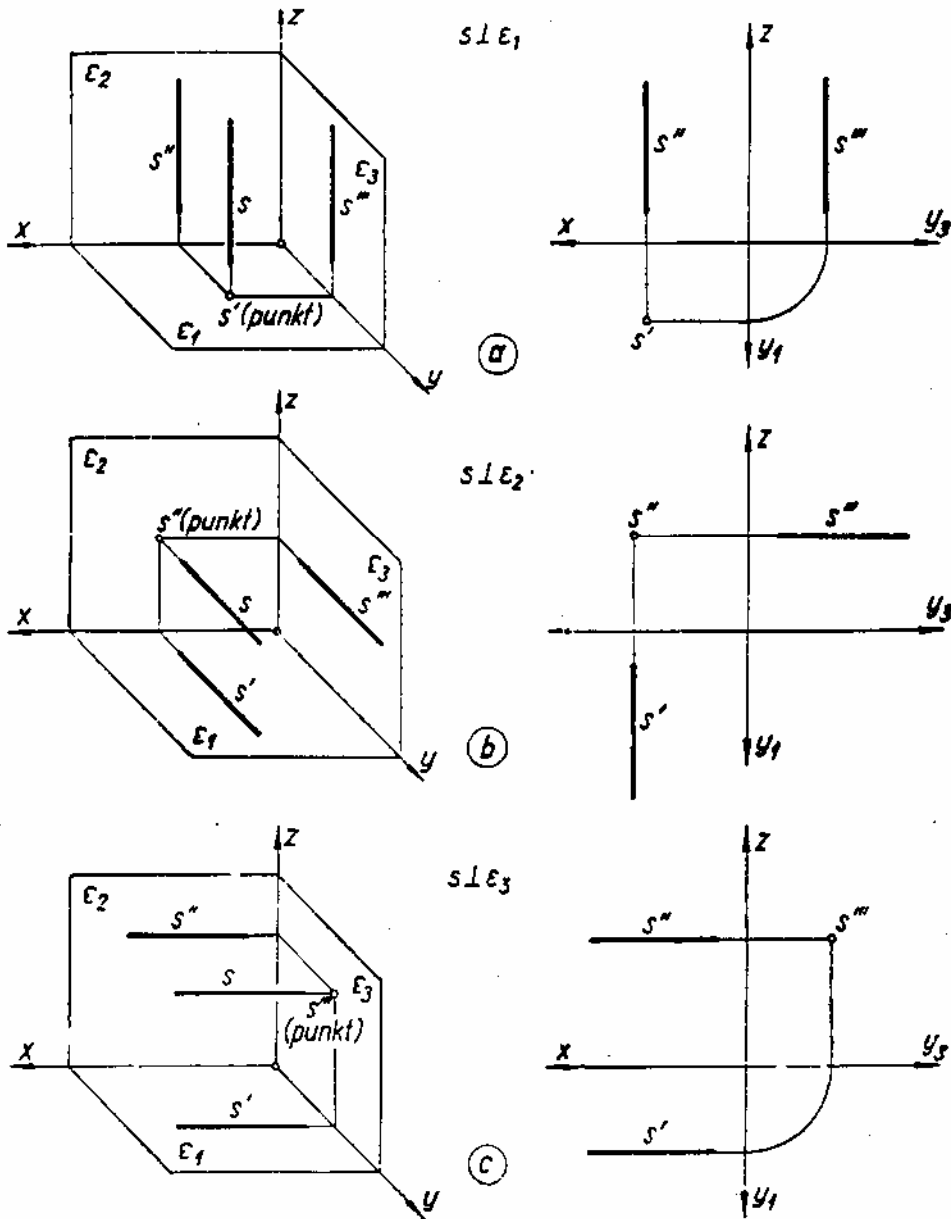
Joonis 4.9

4.4 Eriasendilised sirged

Vaadeldud sirglõigud on *üldasendilised*, sest nad on kõigi ekraanide suhtes kaldu. Kui sirge on mõne ekraaniga risti või paralleelne, on tegemist *eriasendilise* sirreaga.

Ekraaniga ristiolevat sirget nimetatakse *projekteerivaks sirreks* selle ekraani suhtes. Joonisel 4.10 *a, b* ja *c* näeme projekteerivaid sirgeid vastavalt põhi-, esi- ja külgekraani suhtes. Samas on toodud nende sirgete projektsioonid kolmel ekraanil ja eraldi joonisena kolmvaated.

Esimesel joonisel *a* on sirge *s* projekteerivaks sirreks põhiekraani suhtes, sest ta on sellega risti $s \perp \epsilon_1$. Tema pealtvaade s' on punkt, eest- ja külgsuhtes on paralleelsed z -teljega. Teisel joonisel *b* on *s* projekteerivaks sirreks esiekraani suhtes ($s \perp \epsilon_2$) ja kolmandal joonisel *c* on *s* projekteerivaks sirreks külgekraani suhtes ($s \perp \epsilon_3$).



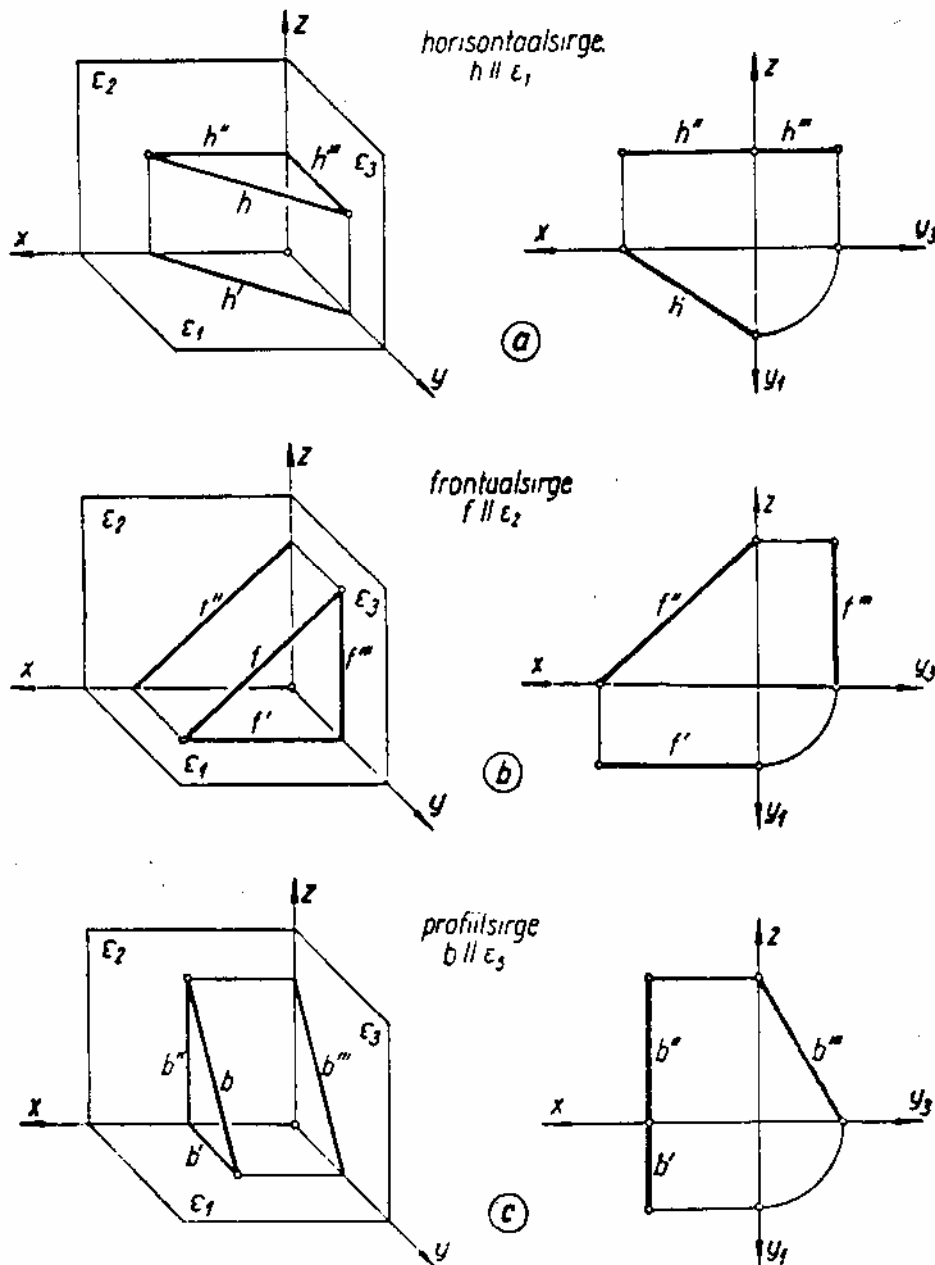
Joonis 4.10

Ekraaniga paralleelset sirget nimetatakse *nivoosirgeks*. Joonisel 4.11 a on sirge h paralleelne põhiekraaniga ϵ_1 . Sellist sirget nimetatakse *horisontaalsirgeks*. Tema eestvaade h'' on paralleelne x -teljega ja külgsuuna h''' y -teljega.

Esiekraaniga paralleelne sirge f (joonis 4.11 b) on esiekraani nivoosirge ja seda nimetatakse *frontaalsirgeks*. Tema pealtvaade f'' on paralleelne x -teljega ja külgsuuna f''' z -teljega.

Külgekraani nivoosirge b (joonis 4.11 c) kannab nime *profilsirge* ja tema eestvaade on paralleelne z -teljega ning pealtvaade y -teljega.

Kui sirge asetseb ekraani pinnal, siis on ta selle ekraani nivoosirge, mille kaugus ekraanist on null. Tema kujutised ülejäänud ekraanidel projekteeruvad telgedele.

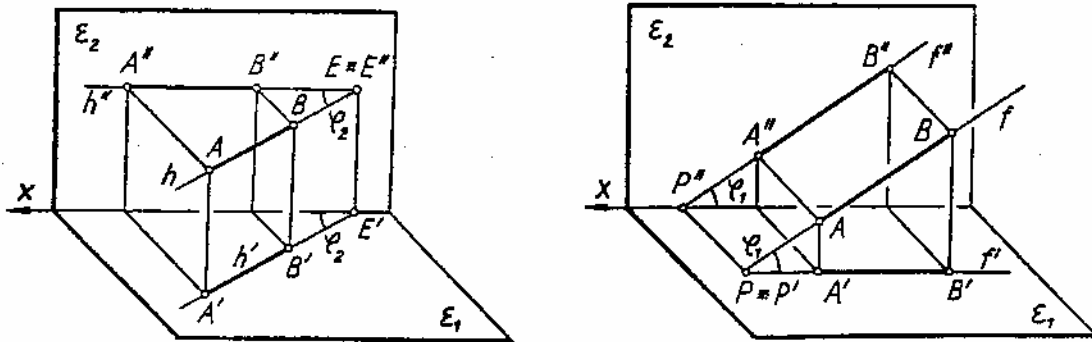


Joonis 4.11

4.5 Sirglõigu pikkus ja kaldenurgad

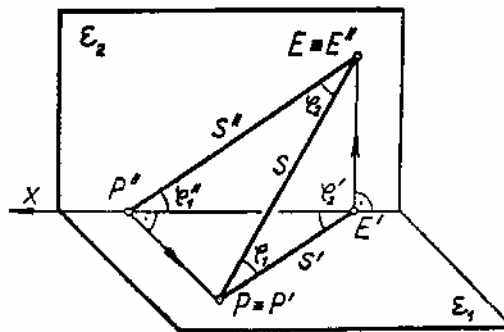
Eriasendilise sirglõigu pikkus ja kaldenurgad ekraanide suhtes esinevad kolmvaates oma tõelises suurus. Nii projekteerub horisontaalil h tähistatud lõik AB (joonis 4.12) põhiekraanile ε_1 tõelises pikkuses $A'B' = AB$. Kaldenurk esiekraani suhtes φ_2 projekteerub põhiekraanile tõelises suurus φ_2 .

Frontaalil f märgitud sirglõik AB projekteerub esiekraanile ε_2 oma tõelises pikkuses $A''B'' = AB$ ja kaldenurk põhiekraani suhtes φ_1 projekteerub esiekraanile tõelises suurus φ_1 .



Joonis 4.12

Üldasendilise sirglõigu pikkus ja kaldenurgad projekteeruvad ekraanidele moonutatult. Üldasendiline sirge (joonis 4.13) lõikub põhiekraaniga punktis P ja esiekraaniga punktis E . Sirge ja ekraani lõikepunkte nimetatakse selle sirge *jälgpunktideks* ehk *jälgedeks*. Sirglõigu PE projektsioon põhiekraanil $P'E'$ ja projektsioon esiekraanil $P''E''$ ei võrdu sirglõigu pikkusega s ega ole võrdsed omavahel $s \neq s' \neq s''$. Kaldenurk põhiekraani suhtes φ_1 ei võrdu oma projektsiooniga esiekraanil $\varphi_1' \neq \varphi_1$ ja kaldenurk esiekraani suhtes φ_2 ei võrdu oma projektsiooniga põhiekraanil $\varphi_2' \neq \varphi_2$.



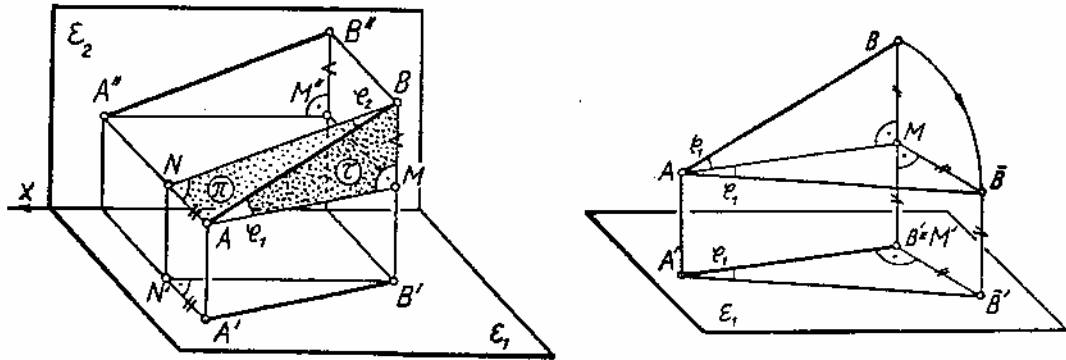
Joonis 4.13

Üldasendilise sirglõigu tegeliku pikkuse ja kaldenurgad võib määrata täisnurkse kolmnurga võttega. Selleks tuleb sirglõiku AB (joonis 4.14) esiekraanile projekteerival tasandil π vaadelda täisnurkset kolmnurka ANB ja põhiekraanile projekteerival tasandil τ vaadelda täisnurkset kolmnurka AMB . Sirglõik AB esineb mõlemas kolmnurgas ühise hüpotenuusina. Tema tegeliku pikkuse võib määrata seega mõlemast kolmnurgast kui joonestada välja nende kolmnurkade tõeline kuju. Seda on võimalik teha, sest kolmnurkade kaatetid on sirglõigu AB kaksvaatelt otseselt mõõdetavad.

Lõigu AB kaldenurgad ekraanide suhtes esinevad aga ainult vastava ekraani ristasandis olevas kolmnurgas. Kaldenurk põhiekraani suhtes φ_1 tasandis τ ja kaldenurk esiekraani suhtes φ_2 tasandis π .

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.

Kolmnurga tõeline kuju saadakse joonisel pöörates kujundi ekraani paralleeltasandile $AM\bar{B}$ ja projekteerides seejärel ekraanile $A'M'\bar{B}'$ (joonis 4.14). Sirglõigu kaldenurka ekraani suhtes φ_1 näitab joonisel nurk sirglõigu pöörendi AB ja vastava projektsiooni vahel.



Joonis 4.14

4.6 Kahe sirge vastastikused asendid

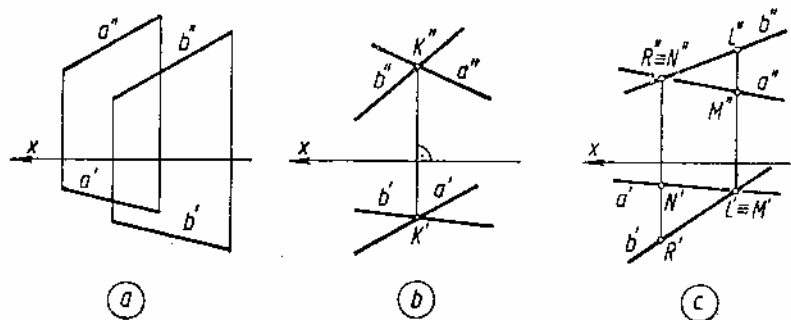
Kaks sirget võivad olla teineteise suhtes paralleelsed, lõikuvad või kiivsed.

Sirged on **paralleelsed** kui nende samanimelised projektsioonid on omavahel paralleelsed. Sirged a ja b on paralleelsed kui $a' \parallel b'$ ja $a'' \parallel b''$ (joonis 4.15 a).

Sirged on **lõikuvad** kui nende sirgete samanimeliste projektsioonide lõikepunktid asuvad asetsevad ühel ja samal x -teljega ristuvul sidejoonel (joonisel 4.15 b). Sirged a ja b on lõikuvad kui $a' \cap b' = K'$ ning $a'' \cap b'' = K''$, nii et $K'K''$ on risti x -teljega.

Sirged on **kiivsed** kui nad ei ole ei paralleelsed ega lõikuvad (joonis 4.15 c). Jooniselt on näha, et kummaski vaates ei ole sirgete a ja b projektsioonid paralleelsed. Seega ei ole sirged paralleelsed. Sirgete samanimeliste projektsioonide lõikepunktid ei asetse ühel sidejoonel, mis oleks risti x -teljega. Järelikult on sirged a ja b kiivsed.

Kiivsirged asetsevad ruumis alati nii, et üks sirge läheb teise pealt või eest läbi varjates teist. Seda, nn. *varjumise probleemi* lahendatakse kaksvaatel ühisel kujutamiskiirel asetsevate punktide kvootide võrdlemise teel. Suurema kvoodiga punkt määrab varjava sirge. Et punkti L'' põhikvoot on suurem kui punkti M'' põhikvoot (punkt L'' on kõrgemal kui punkt M''), siis varjab pealtvaates projektsioon b'' projektsiooni a'' ära. Joonisel on a'' katkestatud. Samuti on näha, et punkti R' esikvoot on suurem kui punkti N' esikvoot (punkt R' on eespool punkti N'). Seetõttu jääb eestvaates projektsioon a' projektsiooni b' taha varju ja a' on katkestatud.



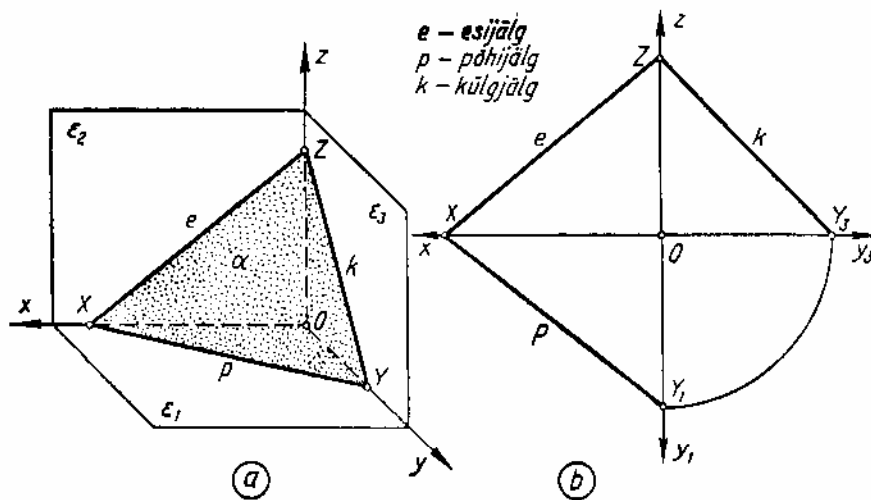
Joonis 4.15

4.7 Tasandi kujutamine

Tasandi määravad:

- kolm punkti, mis ei asetse ühel sirgel;
- punkt ja sirge, mis ei läbi seda punkti;
- kaks lõikuvat sirget;
- kaks paralleelset sirget.

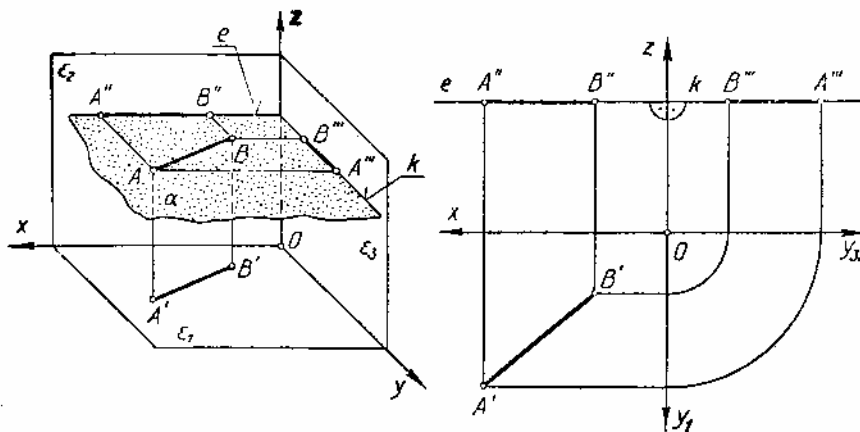
Kõige olulisem on esimene määramisviis, sest kõik ülejäänud on sellele taandatavad. Kui tasand pole ühegi ekraaniga risti, siis on ta *üldasendiline*, vastasel juhul *eriasendiline*. Üldasendiline tasand lõikub kõigi kolme ekraaniga. Tasandi ja ekraani lõikesirget nimetatakse selle tasandi *jälgsirgeks* ehk *jäljeks*. Seega on üldasendilisel tasandil α (joonis 4.16 a) kolm jälgsirget – põhijalg p , esijalg e , küljajalg k ja kolm telgpunkti X, Y ja Z . Telgpunktides lõikub tasand koordinaattelgedega. Pöörates kõik ekraanid ühte tasandisse – esiekraanile, saame tasandi α jälgede kolmvaate (joonis 4.16 b).



Joonis 4.16

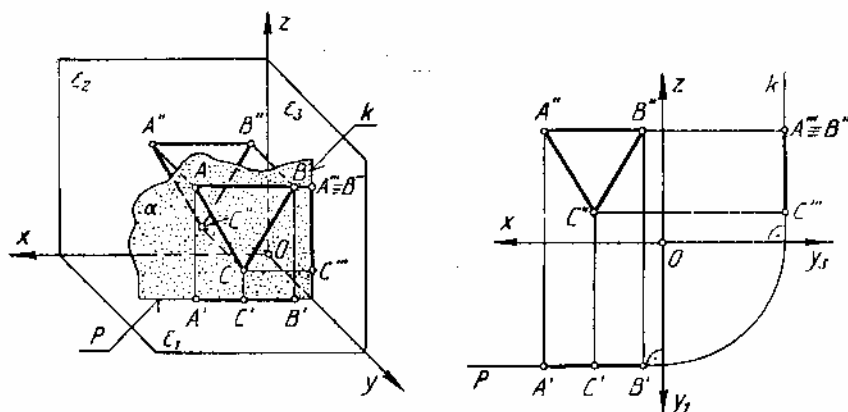
Eriasendilise tasandi tunneme ära sellest, et tema projektsioon mõnel ekraanil on sirgjoon. Ekraaniga paralleelset tasandit nimetatakse selle tasandi *nivoopinnaks*. Kahe ülejäänud ekraaniga on nivootasand risti. Nivootasandil on ainult kaks jälge. Ekraanil, millega ta on paralleelne, jälge ei ole.

Põhiekraani nivootasandit nimetatakse horisontaalpinnaks. Selle esijalg e ja küljajalg k on z -teljega risti (joonis 4.17). Horisontaalpinnal asuv sirglõik AB on oma pealtvaatega kongruentne. Tema eest- ja küljvaade projekteeruvad vastavalt tasandi esi- ja küljajäljele.



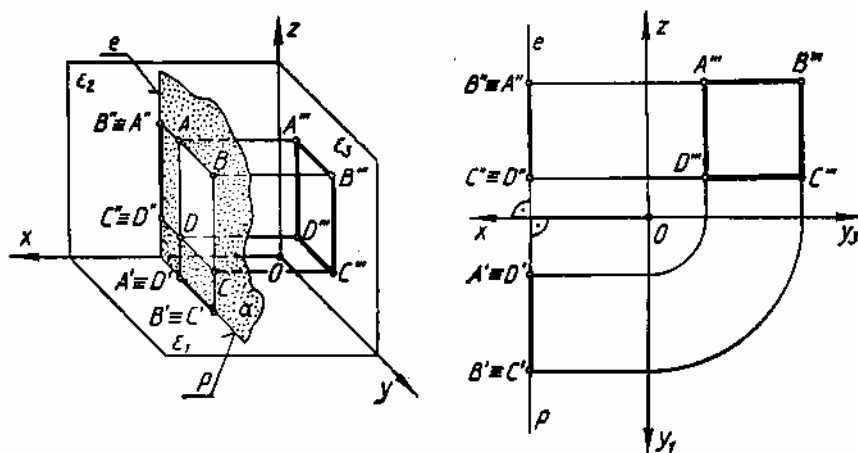
Joonis 4.17

Esiekraani nivootasandit nimetatakse *frontaalpinnaks*. Selle põhijalg p ja küljalg k on y -teljega risti (joonis 4.18). Frontalpinnal olev kolmnurk ABC on oma eestvaatega kongruentne. Kolmnurga pealt- ja külgvaade projekteeruvad sirglõikudena vastavalt tasandi põhi- ja küljäljele.



Joonis 4.18

Külgekraani nivootasandit nimetatakse *profiilpinnaks*. Selle põhijalg p ja esijalg e on x -teljega risti (joonis 4.19). Profiilpinnal asuv nelinurk $ABCD$ on oma külgvaatega kongruentne. Tema pealt- ja eestvaade projekteeruvad sirglõikudena vastavalt tasandi põhi- ja esijäljele.

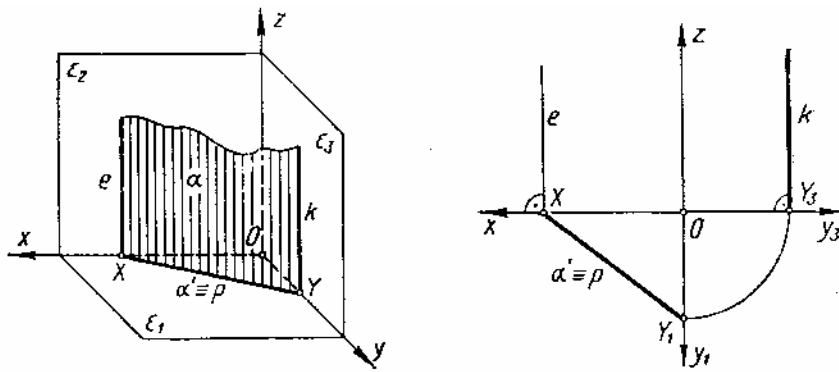


Joonis 4.19

Ekraaniga risti olevat tasandit nimetatakse *projekteerivaks pinnaks* selle ekraani suhtes. Projekteeriva tasandi jälg langeb kokku tasandi enda joonkujutisega sellel ekraanil. Tänu sellele projekteeruvad ka kõik tasandil olevad kujundid tasandi jälgsirgega ühtivaks punktide hulgaks.

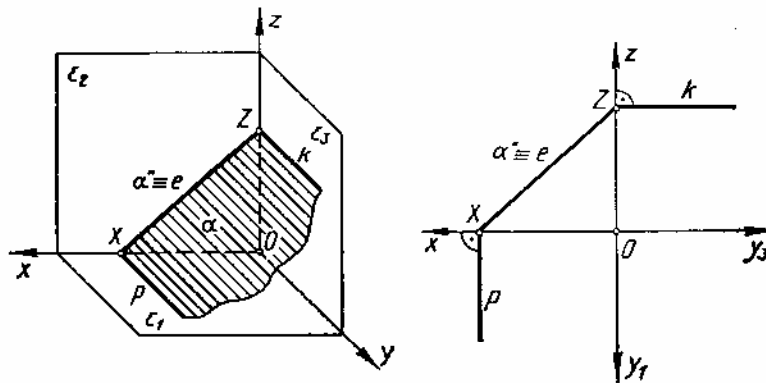
Põhiekraani risttasand projekteerub põhijäljega ühtivaks jooneks $\alpha' \equiv p$ (joonis 4.20). Selle tasandi esi- ja küljälj on risti vastavalt x - ja y -teljega.

Põhijälje ja x -telje vaheline nurk φ_2 on kongruentne tasandi α ja esiekraani ε_2 vahelise nurgaga ning põhijälje ja y -telje vaheline nurk φ_3 on kongruentne tasandi α ja külgekraani vahelise nurgaga.



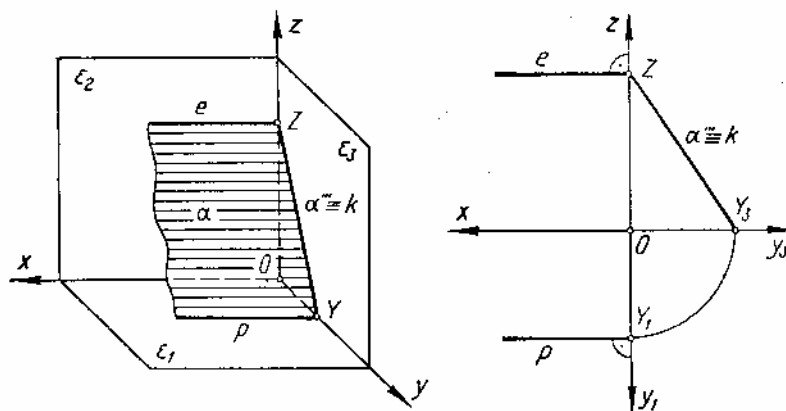
Joonis 4.20

Esiekraani ristasand projekteerub esijäljega ühtivaks jooneks $\alpha'' \equiv e$ (joonis 4.21). Selle tasandi põhi- ja küljälg on risti vastavalt x - ja z -teljega. Esijälje ja x -telje vaheline nurk φ_1 on kongruentne tasandi α ja põhiekraani ε_1 vahelise nurgaga ning esijälje ja z -telje vaheline nurk φ_3 on kongruentne tasandi α ja külgekraani ε_3 vahelise nurgaga.



Joonis 4.21

Külgekraani ristasand projekteerub küljäljega ühtivaks jooneks $\alpha''' \equiv k$ (joonis 4.22). Selle tasandi põhi- ja esijalg on risti vastavalt y - ja z -teljega. Küljälje ja z -telje vaheline nurk φ on kongruentne tasandi α ja esiekraani ε_2 vahelise nurgaga ning küljälje ja y -telje vaheline nurk φ_1 on kongruentne tasandi α ja põhiekraani ε_1 vahelise nurgaga.



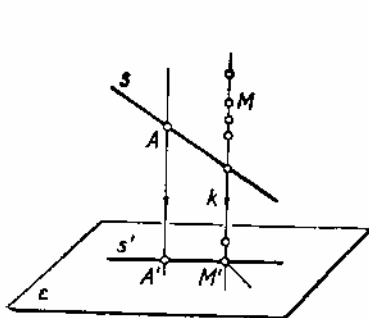
Joonis 4.22

4.8 Punkt sirgel

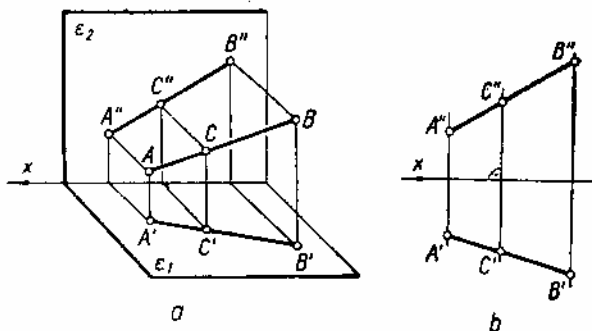
Sirgel asetseva punkti projektsioon asetseb alati selle sirge projektsioonil.

Asetsegu punkt A (joonis 4.23) sirgel s . Projekteerime nad ekraanile ε . Saame sirge projektsiooni s' ja sellel asetseva punkti projektsiooni A' .

Vastupidine väide ei tarvitse olla õige. Näiteks asetseb punkti M projektsioon M' sirge projektsioonil s' , kuid punkt M ise ei pruugi olla sirgel s . Kujutamiskiirel k võib selliseid punkte M olla lõpmata palju. Üheainsa projektsiooni abil ei saa punkti asetsemist sirgel üheselt väita.



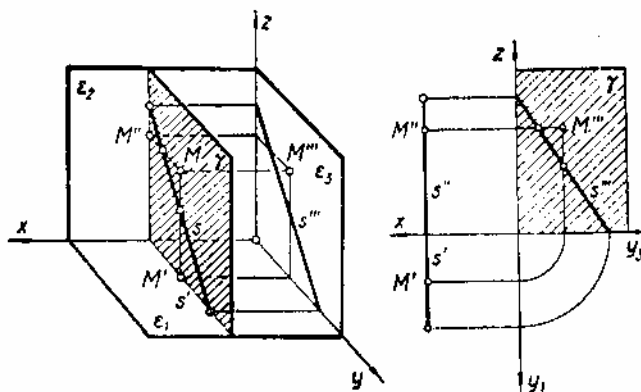
Joonis 4.23



Joonis 4.24

Kahe projektsiooni kasutamisel on võimalik täpsemalt vastata. Kui punkt C (joonis 4.24 a) asetseb sirglõigul AB , siis on tema pealtvaade C' sirglõigu pealtvaatel $A'B'$ ja eestvaade C'' sirglõigu eestvaatel $A''B''$. Kaksvaatel (joonis 4.24 b) on projektsioonid C' ja C'' ühel sidejoonel. Nüüd võib väita, et punkt asetseb sirgel kui tema pealtvaade asetseb sirge pealtvaatel ja eestvaade sirge eestvaatel.

Sellest reeglist erandiks on sirged, mis on paralleelsed külgekraaniga ja põhiekraani suhtes kaldu. Joonisel 4.25 on kujutatud punkt M , mille projektsioonid rahuldavad eeltoodud reeglit, kuid mis sellele vaatamata ei asu sirgel s .



Joonis 4.25

Punkt C lõigul AB (joonis 4.24 a) jaotab lõigu kaheks osaks. Osalõikude AC ja CB pikkuste suhet $AC : CB$ nimetatakse lõigu jaotussuhteks. Et osalõigud on võrdelised oma paralleelprojektsioonidega, siis

$$AC / CB = A'C' / C'B' = A''C'' / C''B''.$$

Kui punkt jaotab lõigu teatud suhtes, siis jaotab punkti projektsioon lõigu samanimelise projektsiooni samas suhtes.

4.9 Punkt ja sirge tasandil

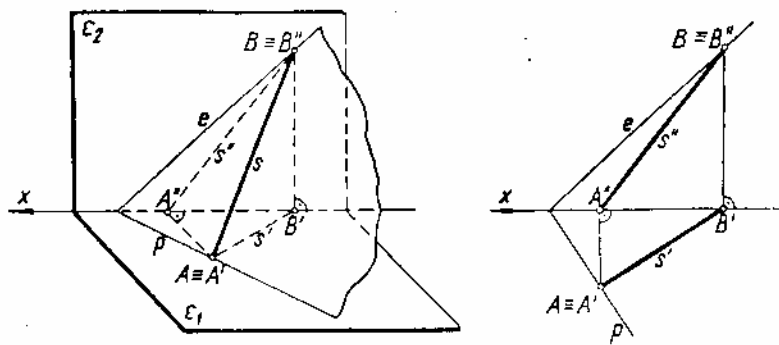
Punkti või sirge asetsemist tasandil aitavad määrata järgmised laused.

Punkt on tasandil kui ta asetseb selle tasandi mingil sirgel.

Sirge on tasandil kui tema kaks punkti on sellel tasandil.

Olgu antud üldasendiline tasand oma kahe jälgsirgega (joonis 4.26) – põhijälje p ja esijälje e –ga. Sirge AB on antud oma kahe jälgpunktiga - põhijälg A ja esijalg B . Et sirge jälgpunktid asuvad tasandi vastavatel jälgsirgetel, siis kuuluvad need punktid ka tasandile. Seega asub sirge AB tasandil.

Tasandil asuva sirge jälgpunktid asetsevad selle tasandi vastavatel jälgsirgetel.

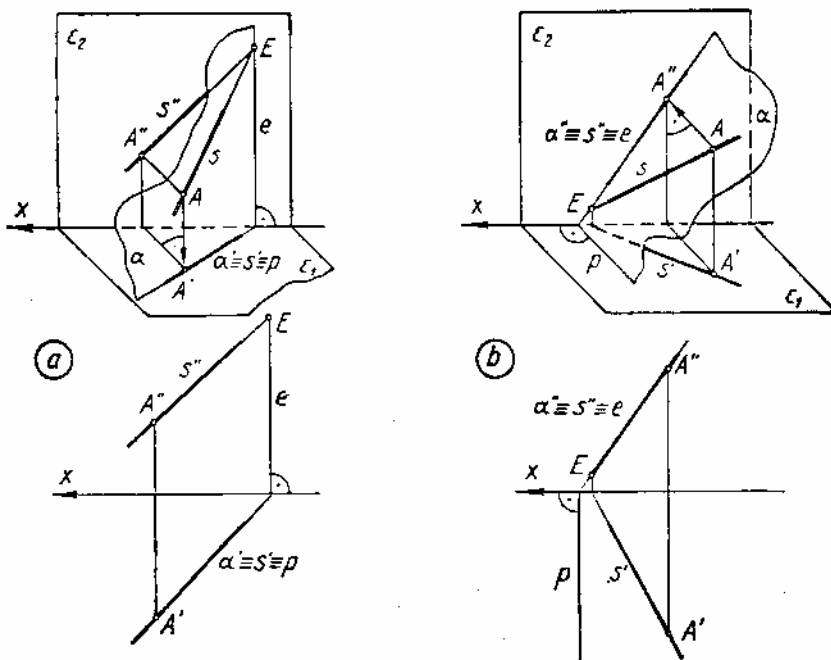


Joonis 4.26

Jälgpunktide A ja B projektsioonid x -teljel on A'' ja B' ning sirge AB projektsioonid saame punktide samanimeliste projektsioonide ühendamisel: pealtvaade $s' \equiv A'B'$ ja eestvaade $s'' \equiv A''B''$.

Kõik sirgel AB asuvad punktid asetsevad samaaegselt ka tasandil.

Eriasendilistel tasanditel α (joonis 4.27 a- põhiekraani ristasandil ja joonis 4.27 b- esiekraani ristasandil) asetsevate sirgete s ja punktide A projektsioonid tasanditega ristiolevatele ekraanidele langevad nende tasandite jälgsirgetele.



Joonis 4.27

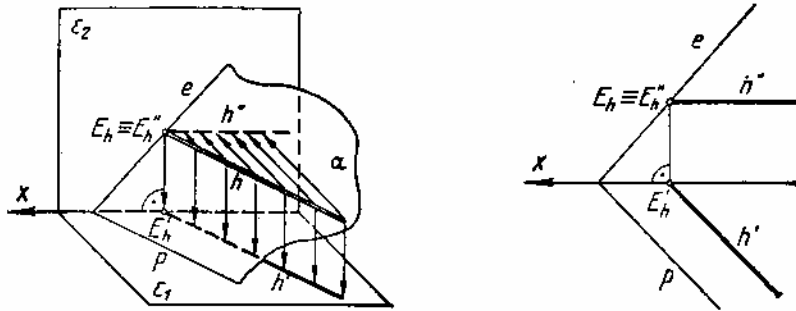
4.10 Tasandi nivoosirged

Nivoosirged tekivad tasandi lõikumisel vastavate nivoopindadega.

Tasapinnale kuuluvat nivoosirget, mis on paralleelne põhiekraaniga, nimetatakse selle tasapinna *horisontaaliks*.

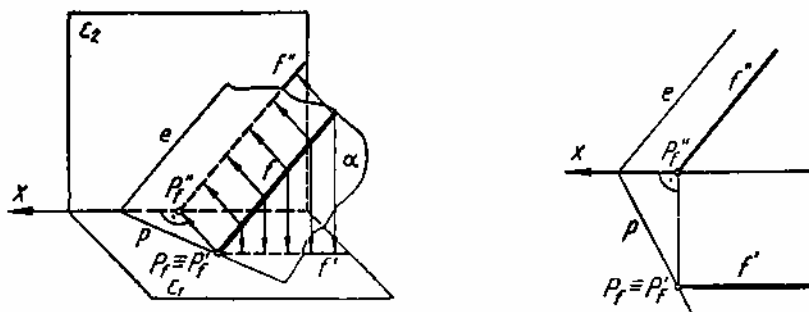
Tasapinnale kuuluvat nivoosirget, mis on paralleelne esiekraaniga, nimetatakse selle tasapinna *frontaaliks*.

Seega on üldasendilise tasapinna α , mis on antud oma jälgedega e ja p , lõikumisel horisontaalpinnaga tekkiv sirge h tasandi α horisontaal (joonis 4.28) ja lõikumisel frontaalpinnaga tekkiv sirge f tasandi α frontaal (joonis 4.29).



Joonis 4.28

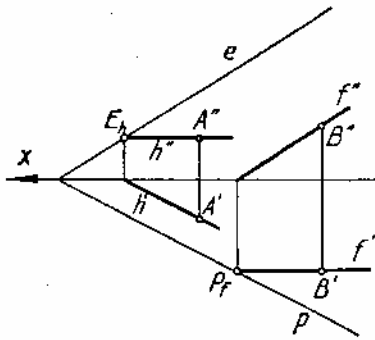
Projekteerides horisontaali esiekraanile, saame tema eestvaate h'' ja projekteerides põhiekraanile, saame horisontaali pealtvaate h' . Näeme, et tasandi horisontaali pealtvaade on paralleelne tasandi põhijäljega p ja eestvaade on paralleelne x -teljega. Tasandi horisontaalil puudub esijälgpunkt. Horisontaali esijälgpunkt E asub tasandi esijäljel e .



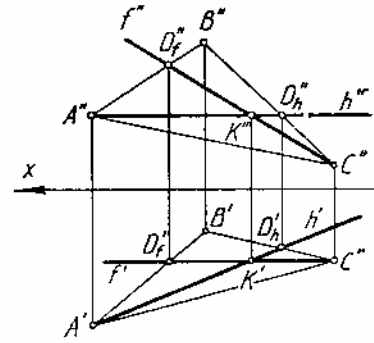
Joonis 4.29

Projekteerides frontaali esiekraanile, saame tema eestvaate f'' (joonis 4.29) ja projekteerides põhiekraanile, saame frontaali pealtvaate f' . Näeme, et tasandi frontaali eestvaade on paralleelne tasandi esijäljega e ja pealtvaade on paralleelne x -teljega. Tasandi frontaalil puudub esijälgpunkt. Frontaali põhijälgpunkt P asub tasandi põhijäljel p .

Horisontaal ja frontaal on tasandile kuuluvad sirged. Nende vaadete leidmise eeskirjad aitavad leida samal tasandil asuva mistahes punkti ühe projektsiooni järgi teist projektsiooni. Näiteks on joonisel 4.30 punkti A projektsioonide leidmiseks tõmmatud temast läbi horisontaal ja punkti B projektsioonide leidmiseks on kasutatud frontaali.



Joonis 4.30



Joonis 4.31

Kui tasand on antud oma kolme punktiga ABC , mille kaksvaated on kujutatud joonisel 4.31, siis esitab kolmnurk $A'B'C'$ tasandi pealtvaadet ja kolmnurk $A''B''C''$ tasandi eestvaadet. Tasandi jäljed puuduvad. Et leida selle tasandi mingi horisontaali projektsioonid, tuleks alustada eestvaatest. Näiteks võib läbi punkti A'' tõmmata x -teljega paralleelse horisontaali eestvaate h'' . See lõikab eestvaates kolmnurga külge $B''C''$ punktis D_h'' . Sidejoone abil leiame selle punkti pealtvaate D_h' . Läbi punktide A' ja D_h' tõmbame horisontaali pealtvaate h' .

Analoogselt toimime frontaali projektsioonide konstrueerimisel. Ainult et nüüd tuleb alustada frontaali pealtvaatest. Näiteks võib läbi punkti C' tõmmata x -teljega paralleelse frontaali pealtvaate f' . See lõikab pealtvaates kolmnurga külge $A'B'$ punktis D_f' . Sidejoone abil leiame selle punkti eestvaate D_f'' . Läbi punktide C'' ja D_f'' tõmbame frontaali eestvaate f'' .

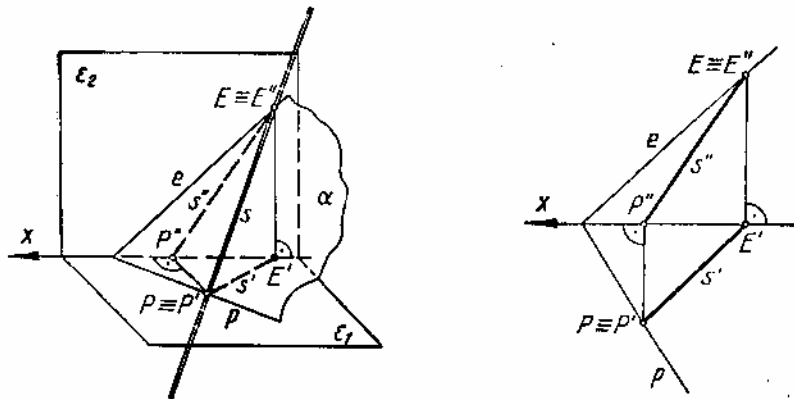
Frontaal ja horisontaal lõikuvad punktis K , mille projektsioonid K' ja K'' asuvad ühel ning samal sidejoonel.

3. Graafiline töö “SIRGE JA TASAND”

Töö lähteandmeteks on nelja punkti koordinaadid, mille annab õppejõud. Kolm neist punktidest A , B ja C määravad tasandi α (A , B , C), mille jälgsirged ehk jäljed p ja e tuleb ülesande lahendamisele asudes kõigepealt leida. Selles toetume väitele, mille kohaselt tasandil asuva sirge jälgpunktid asetsevad selle tasandi vastavatel jälgsirgetel.

Tasand on antud kõige üldisemal viisil – kolme punkti abil. Need punktid määravad kolmnurga, mille küljed on tasandil asuvad sirglõigud. Iga lõik asetseb sirgel.

Sirge jälgpunktide leidmist vaatleme joonisel 4.32.



Joonis 4.32

Sirge s jälgpunktide P ja E leidmiseks kaksvaatel s' , s'' lähtume tõsiasiast, et põhijälgpunkt P kui sirgjoone ja põhiekraani lõikepunkt asetseb põhiekraanil. Tema eestvaade P'' peab olema x -teljel. Loomulikult peab see eestvaade asuma ka sirgjoone enda eestvaatel s'' . Seega põhijälgpunkti eestvaade P'' peab olema seal, kus s'' lõikub x -teljega. Sealt tõmmatud sidejoone abil leiame sirgjoone pealtvaatel s' põhijälgpunkti pealtvaate P' . See muidugi ühtib põhijälgpunkti P endaga: $P \equiv P'$.

Analoogselt leiame esijälgpunkti E projektsioonid. Sirgjoone pealtvaate s' lõikepunkt x -teljega E' on esijälgpunkti pealtvaade. Sealt tõmmatud sidejoon annab lõikumisel sirgjoone eestvaatega s'' esijälgpunkti eestvaate E'' , mis muidugi ühtib esijälgpunkti endaga: $E \equiv E''$.

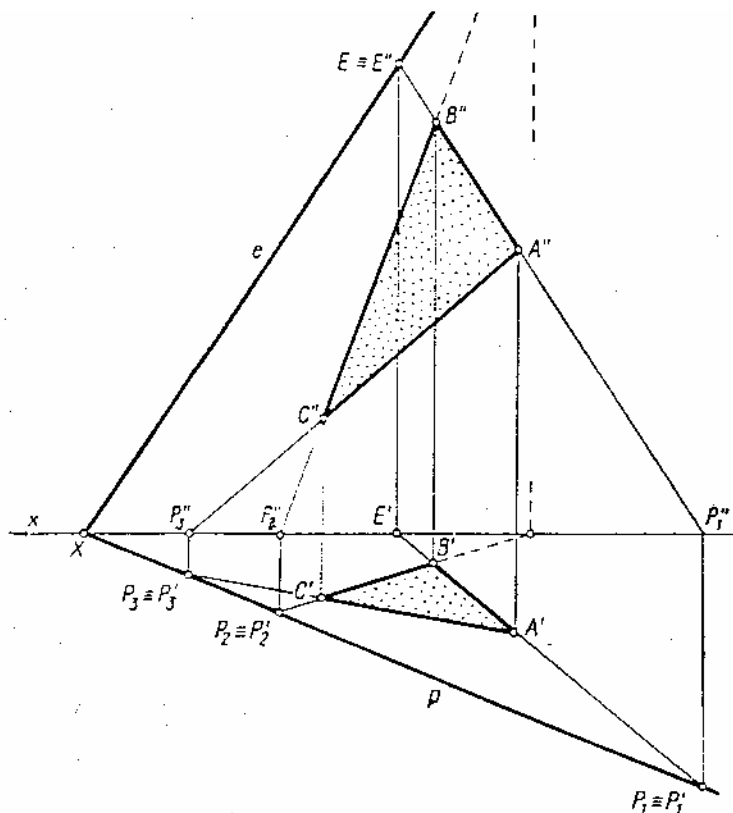
Kirjeldatud viisil võib kolmnurga kaksvaatel leida kahe külje jälgpunktid. Nende külgede põhijälgpunktidest tõmbame läbi sirge kuni lõikumiseni x -teljega. Saame tasandi põhijälje p . Tõmmates sirge läbi esijälgpunktide lõikumiseni x -teljega saame tasandi esijälje e . Mõlemad jäljed peavad lõikama x -telge ühes punktis.

Tehtu kontrollimiseks võib leida ka kolmnurga kolmanda servaga määratud sirge jälgpunktid. Need peavad langema leitud jälgsirgetele.

Leiame nüüd tasandi α (A , B , C) jälgsirged kaksvaatel (joonis 4.33) eeltoodud juhiseid järgides.

Sirge AB põhijälgpunkt P_1 on sirge lõikepunkt põhiekraaniga. Selle leidmiseks pikendame sirge eestvaadet $A''B''$ kuni lõikumiseni x -teljega punktis P_1'' . Pikendame ka sirge pealtvaadet $A'B'$ kuni lõikumiseni punktist P_1'' tõmmatud sidejooneni. Saame sirge AB põhijälgpunkti P_1 , mis ühtib oma pealtvaatega P_1' ($P_1 \equiv P_1'$).

Tasandi põhijälje p väljajoonestamiseks vajame veel ühte punkti. Selle leidmiseks pikendame sirge BC eestvaadet $B''C''$ kuni lõikumiseni x -teljega punktis P_2'' . Pikendame ka sirge pealtvaadet $B'C'$ kuni lõikumiseni punktist P_2'' tõmmatud



Joonis 4.33

sidejooneni. Saame sirge BC põhijälgpunkti P_2 , mis ühtib oma pealtvaatega P_2' ($P_2 = P_2'$).

Tasandi põhijälje p saame kui tõmbame sirge läbi punktide P_1 ja P_2 kuni x -teljeni.

Ka kolmanda sirge AC põhijälgpunkt P_3 peab tulema sellele jälgsirgele. See on ühtlasi senitehtu kontrolliks. Joonisel 4.33 esitatud konstruktsioonid näitavad, et nii see ongi. Seega on kolme punktiga A , B ja C määratud tasandi põhijälg õigesti leitud.

Ühtlasi on leitud ka sama tasandi esijälje e üks punkt. Selleks on põhijälje p ja x -telje lõikepunkt X , mis on tasandi telgpunkt (tasandi ja telje lõikepunkt) ja mida peab ka esijälg läbima.

Esijälje e väljajoonestamiseks vajame veel vähemalt ühte tema punkti. Selleks leiame näiteks sirge AB esijälgpunkti E . Pikendame sirge pealtvaadet $A'B'$ kuni x -teljeni, punkti E' . Pikendame ka sirge eestvaadet $A''B''$ kuni lõikumiseni punktist E' tõmmatud sidejooneni. Saame sirge AB esijälgpunkti E , mis ühtib oma eestvaatega E'' ($E = E''$).

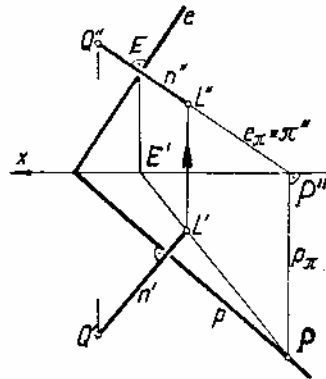
Tõmmates sirge telgpunktist X läbi punkti E , saame tasandi esijälje e .

Tehtu kontrollimiseks võiks leida veel näiteks sirge BC esijälgpunkti, mis muidugi peab tulema esijäljele e . Selleks vajalikud konstruktsioonid on joonisel 4.33 punktiirjoontega osaliselt välja joonestatud.

Ülesande esimene osa on sellega lahendatud. Järgnevalt määrame punkti Q , mille koordinaadid on antud, kauguse tasandist α (A, B, C).

Punkti kaugust tasandist tuleb mõõta kõige lühemat teed pidi, so risti tasapinnaga. Seega tuleks tõmmata punktist Q tasandile ristsirge ja otsitav kaugus sellel mõõta. Tasapinnaga risti olevat sirget nimetatakse selle tasandi normaaliks ja see on risti iga tasandil asuva sirgega. Seega ka tasandi jälgsirgetega. Selle asjaolu kasutame ära, sest tasandi α jälgsirged e ja p on leitud.

Ülesande lahendamiseks jälgime joonisel 4.34 toodud konstruktsiooni. Tõmbame punkti Q projektsioonidest Q' ja Q'' normaali projektsioonid n' ja n'' risti tasandi α jälgsirgetega e ja p . Punkti Q kauguse määramiseks on tarvis teada veel normaali ja tasandi lõikepunkti L . Otsitav kaugus on lõigu QL originaalpikkus.



Joonis 4.34

Lõikepunkti projektsioonide L' ja L'' leidmiseks võtame abitasapinna π , mille asetame läbi normaali n risti esiekraaniga. Tasapind paistab eestvaatel serviti π'' ja tema esijäljele e_π langeb normaali eestvaade n'' ($e_\pi \equiv n'' \equiv \pi''$). Tasandi põhijalg p_π on risti x -teljega.

Tasandite α ja π lõikesirge esijälgpunkt E on tasandite esijälgede lõikepunkt ja põhijälgpunkt P tasandite põhijälgede lõikepunkt. Jälgpunktide teised projektsioonid P'' ja E' asetsevad x -teljel ja nad leitakse sidejoonte abil.

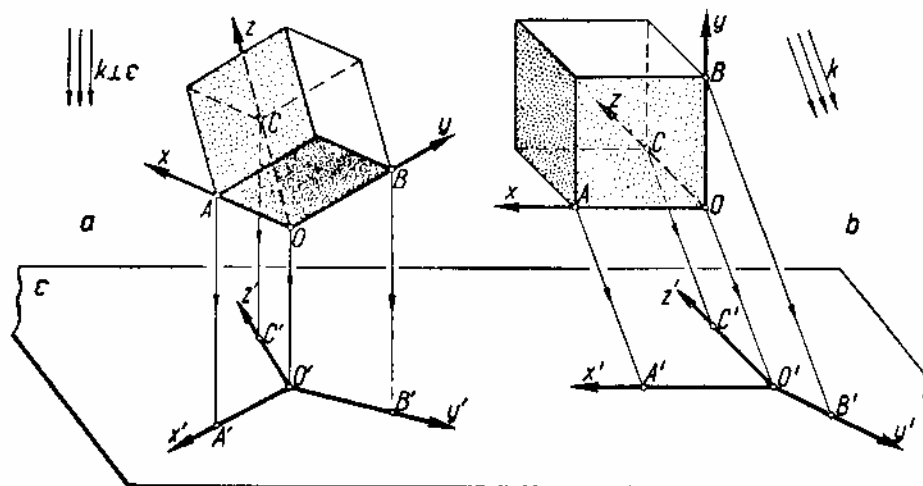
Normaali n ja tasandi α lõikepunkti pealtvaade L' on normaali pealtvaate n' ja sidejoone lõikumiskohas. Lõikepunkti eestvaate L'' leidmiseks tõmbame sidejoone pealtvaatelt L' normaali eestvaateni n'' .

Punkti Q kaugus tasandist QL on nüüd näha eestvaates lõiguna $Q''L''$ ja pealtvaates lõiguna $Q'L'$. Mõlemad projektsioonid erinevad lõigu tegelikust pikkusest. Lõigu QL originaalpikkuse võib leida kas lisaekraani võttega (vt punkt 6.3) või pööramisega ümber ekraani normaali (vt punkt 6.4).

5. AKSONOMEETRIA

Aksonomeetria on kujutamiskiire, kus kujutis konstrueeritakse objekti punktide ristkoordinaatide järgi. Seejuures seatakse objekt teljestiku suhtes võimalikult mugavasse asendisse – servad ja küljed pannakse telgi läbivate koordinaattasapindadega paralleelseks. Nii saab objekti iga punkt endale kindlad koordinaadid. Koordinaatteljestikku aga käsitletakse omaette kujutamiskiirena, mille kujutis ekraanil on kujutamiskiirte suunast ja teljestiku asendist. Teljestiku asend valitakse selline, et objektist tekiks võimalikult ilmekas kujutis.

Joonisel 5.1 *a* on kujutamiskiired risti ekraaniga ja üldasendilisest teljestikust saadakse ristprojektsioon. Joonisel 5.1 *b* on kujutamiskiired ekraani suhtes kaldu ja teljestikust, mille kaks telge (x ja z) on paralleelsed ekraaniga, saadakse kaldprojektsioon.



Joonis 5.1

Mõlemal joonisel on kujutatud teljestikus kuubi. Kuubi servad on võrdsed ja üksteisega risti. Seega kehtivad järgmised seosed: $OA = OB = OC$ ja $OA \perp OB \perp OC$. Kui kuubi servade projektsioonid on võrdsed, st lõigud $O'A' = O'B' = O'C'$, siis on tegemist *isomeetrilise e võrdmõõtmelise teljestikuga*. Kui kahe serva kujutised on omavahel võrdsed ja kolmas erinev, siis on teljestiku kujutis *dimeetriline*. Kui kõik servade kujutised on erineva pikkusega, on teljestiku kujutis *trimeetriline*.

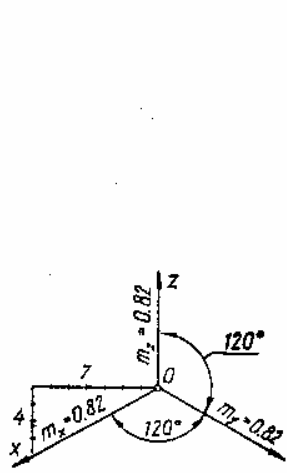
5.1. Ristisomeetria

Kui kujutamiskiired on ekraaniga risti ja teljestik on paigutatud nii, et kõik teljed moodustavad ekraaniga võrdseid nurki ($35^{\circ}16'$), siis on teljestiku ristprojektsioon *isomeetriline* (joonis 5.2). Nurgad telgede kujutiste vahel tulevad sel juhul võrdsed suurusega 120° , sest $360^{\circ} : 3 = 120^{\circ}$. Kuubi serva kujutise pikkus pikkus sellisel projektsioonil on 0,82 osa tegelikust pikkusest $O'A' = 0,82 OA$ (joonis 5.1 *a*).

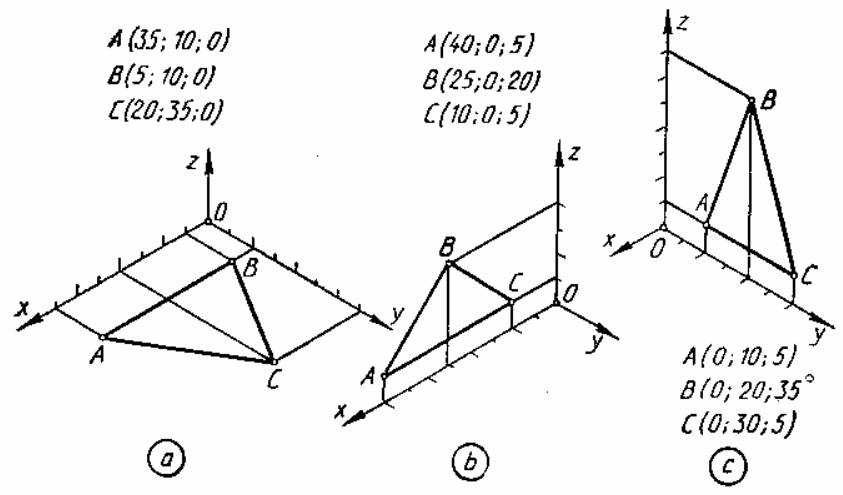
Lõigu aksonomeetrilise pikkuse ja tema tegeliku pikkuse suhet nimetatakse *moondeteguriks*. Moondetegur isomeetrilises teljestikus on iga telje jaoks ühesugune - $m_x = m_y = m_z = 0,82$.

Kujutiste praktilisel konstrueerimisel tuleks kõigi punktide koordinaate korrutada moondeteguriga. See on ebamugav ja ilmeka kujutise saamiseks ka mittevajalik. Kui kanda koordinaatlõigud telgedele originaalpikkuses, siis saadakse objekti tegelikust suuruselt $1:0,82 = 1,2$ korda suurem kujutis, mis on proportsioonide poolest igati õige.

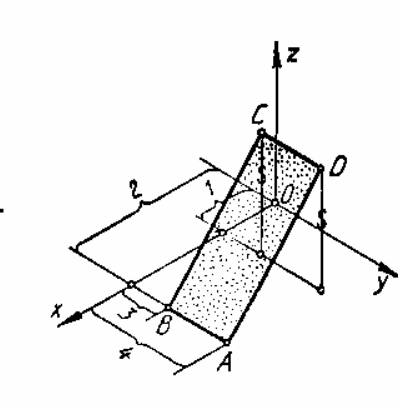
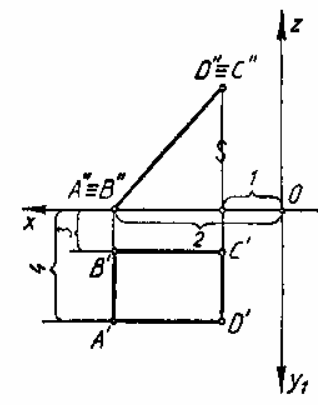
Seetõttu jäetakse praktikas ristosmeetrilise kujutise konstrueerimisel koordinaadid moondeteguriga 0.82 korrutamata ja lepitakse objekti pisut suurendatud kujutisega. Objekti aksonomeetriliste kujutiste konstrueerimisel võib kasutada lähteandmetena kas selle objekti punktide arvulisi koordinaate või tema kaks- või kolmvaadet. Joonisel 5.3 a, b ja c on koordinaattasapindadel asuvate kolmnurkade ristosmeetrilised kujutised konstrueeritud tippude koordinaatide alusel. Joonisel 5.4 on nelinurga ristosmeetriline kujutis konstrueeritud tema kaksvaate abil.



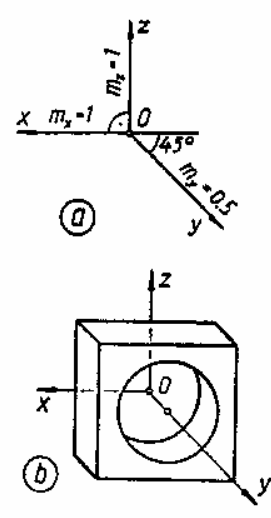
Joonis 5.2



Joonis 5.3



Joonis 5.4



Joonis 5.5

5.2. Kabinetprojeksioon

Kui võtta ekraaniks xz -koordinaattasapind ja projekteerida sinna kaldkiirte abil y -telg siis saadav projektsioon on frontaalne dimeetriline kaldaksonomeetria ehk lühemalt frontaalne kalddimeetria. Kui kujutamiskiired valida seejuures nii, et y -telje kujutis tuleb x ja z telje vahelise nurga poolitajale ning moondetegur $m_y = 0,5$, siis nimetatakse projektsiooni *kabinetprojeksiooniks* (joonis 5.5 a). Frontaalse kaldaksonomeetrilise kujutise iseärasuseks on see, et kõik xz -pinnaga paralleelsed tasandilised kujundid pojekteeruvad ekraanile moondevabalt $m_x = m_z = 1$. Ühe lihtsa objekti kabinetprojeksioon on toodud joonisel 5.5 b.

6. LISAPROJEKTSIOONID

6.1 Lisaprojektsioonide tuletamise viisid

Üldasendilised geomeetrilised objektid projekteeruvad ekraanidele tavaliselt oma tegelikust kujust ja suuruselt erinevatena. Tehnilistel joonistel on aga tarvis määrata objektide tõeline kuju ja suurus.

Eelnevast on teada, et nivoopindadel asuvad tasandilised objektid on kongruentsed oma projektsioonidega sellel ekraanil, millega nad on paralleelsed.

Ruumis asetseva objekti ja tema ristprojektsiooni kongruentsuse tagamiseks on vaja saavutada, et objekt ja ekraan oleksid paralleelsed ning risti projekteerimiskiirtega. Nende sellise vastastikuse asendi korral on ekraanil saadava kujutise mistahes kahe punkti vahetäolisus võrdne samade punktide tõelise kaugusega objektil enesel.

Objekti, ekraani ja projekteerimiskiirte seadmiseks vajalikesse asenditesse võib kasutada kolme võtet.

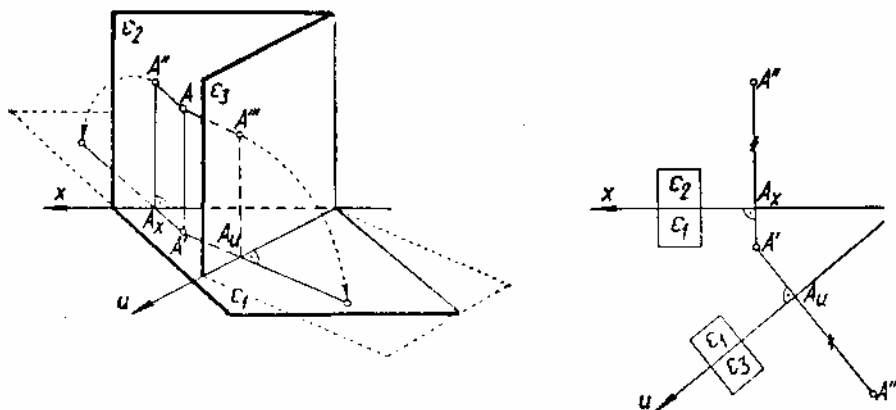
1. *Lisaekraani võte*, kus objekt jäetakse paigale, kuid muudetakse ekraani ja projekteerimiskiirte asendit.
2. *Objekti pööramise võte*, kus ekraan ja projekteerimiskiired jäetakse paigale, kuid objekt pööratakse sobivasse asendisse.
3. *Uute kujutamiskiirte võte*, kus objekti ja ekraani vastastikune asend jäetakse muutmata, kuid muudetakse projekteerimiskiirte sihti.

Järgnevalt tutvume kahe esimese võttega lähemalt, kuid enne laiendame kolmvaate mõistet.

6.2 Üldistatud kolmvaade

Hariliku kolmvaate moodustavad omavahel ristiolevad esi-, põhi- ja külgekraan (vt punkt 3.2). Kui kolmest ekraanist moodustatavatest paaridest ainult kaks on ristuvad, kolmas aga mitte, siis oleme jõudnud *üldistatud kolmvaate* mõisteni. Seega erineb üldistatud kolmvaade harilikust kolmvaatest selle poolest, et kõik ekraanid ei ole omavahel risti.

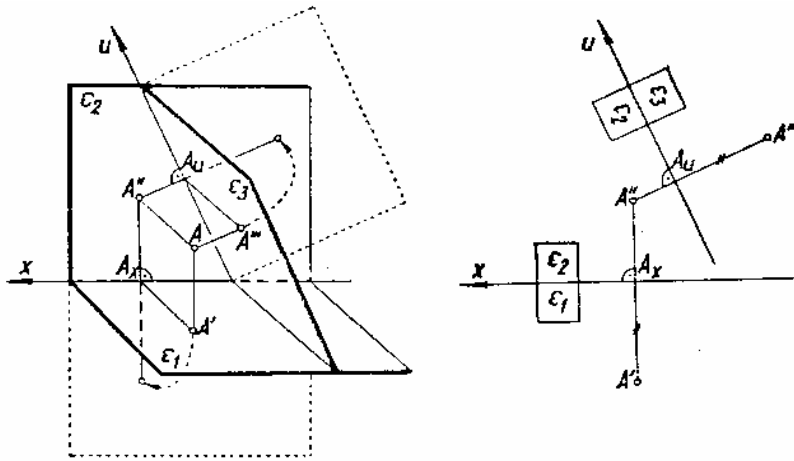
Võimalikud on variandid, kus kolmas ehk nn lisaekraan asetatakse risti põhiekraaniga (joonised 6.1 ja 6.4) või risti esiekraaniga (joonised 6.2 ja 6.3).



Joonis 6.1

6.3 Lisaekraani kasutamine

Loome lihtsaima objekti – punkti A üldistatud kolmvaate. Lähtume punkti kaksvaatest (joonis 6.2) A' ekraanil ε_1 ja A'' ekraanil ε_2 . Lisaekraani ε_3 asetame risti esiekraaniga. Projekteerides punkti A lisaekraanile, saame tema kolmanda vaate A''' .



Joonis 6.2

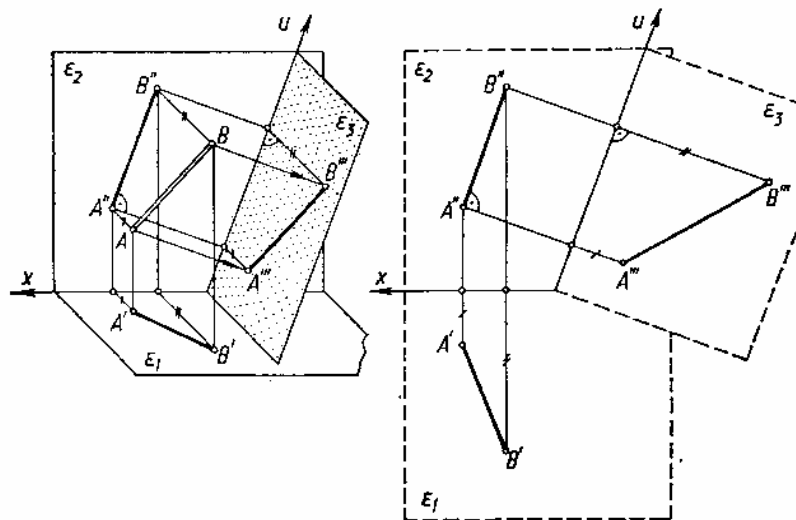
Pöörame lisaekraani ε_3 ümber uue telje u esiekraanile ε_2 , so joonise pinnale (joonis 6.2). Punkti A projektsiooni A''' kaugus $A_u A'''$ pöörde teljest u on võrdne punkti esikvoodiga AA'' , sest punkti A esikvoot AA'' on ruumis paralleelne nii põhiekraaniga ε_1 kui ka lisaekraaniga ε_3 ja projekteerub seetõttu mõlemale ekraanile oma tegelik pikkuses. Oleme saanud punkti A üldistatud kolmvaate $A'A''A'''$ ekraanidel $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ja ε_3 .

Üldistatud kolmvaadet võib vaadelda koosnevana kahest kaksvaatest: A', A'' ja A'', A''' . Eestvaade A'' on neil ühine. Ühist vaadet nimetatakse peavaateks ja vastavat ekraani peaekraaniks.

Igal kolmvaatel, nii harilikul kui ka üldistatult, esineb kvoot peaekraani suhtes kaks korda. Seda nimetatakse kolmvaate peomaduseks. Vaadeldud näites on selleks esikvoot.

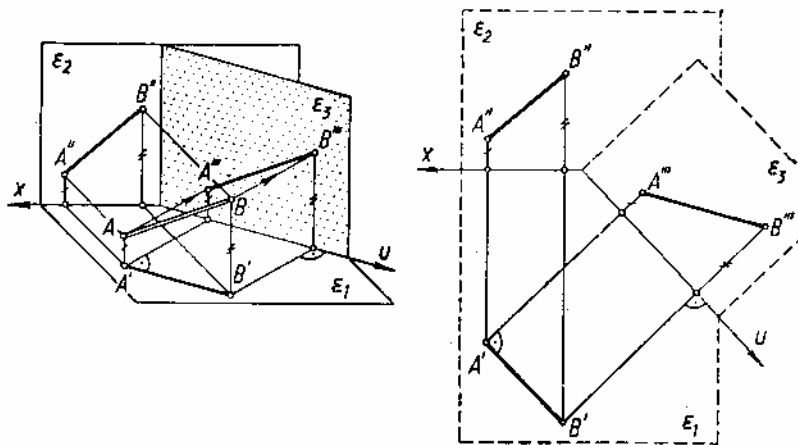
Loome sirglõigu AB kujutise lisaekraanil. Sirglõik on antud oma kaksvaatega ekraanidel ε_1 ja ε_2 (joonised 6.3 ja 6.4). Kumbki vaade ei anna sirglõigu tegelikku pikkust, sest lõik on kaldu mõlema ekraani suhtes. Lõigu tegeliku pikkuse saaksime lõiguga paralleelselt ekraanilt. Seepärast võtame kasutusele niisuguse lisaekraani ε_3 , mis on paralleelne kas lõigu eestvaatega $A''B''$ ja risti esiekraaniga ε_2 (joonis 6.3) või paralleelne lõigu pealtvaatega $A'B'$ ja risti põhiekraaniga ε_1 (joonis 6.4).

Joonisel 6.3 on näha, et lõigu otspunktide A ja B esikvoodid ehk kaugused esiekraanist on ekraanidele ε_1 ja ε_3 projekteerunud kumbki oma tegelik pikkuses (joonisel märgistatud vastavalt ühe ja kahe kriipsukesega).



Joonis 6.3

Uus telg u on võetud paralleelne lõigu eestvaatega $u \parallel A''B''$. Et lisaekraan ϵ_3 on pööratud ümber telje u vastu esiekraani ϵ_2 , siis lõigu otspunktide lisavaated A''' ja B''' tuletatakse u -teljega ristuvatel sidejoontel. Need lähtuvad lõigu eestvaate otspunktidest A'' ja B'' . Punktide A''' ja B''' kaugused teljest u võib võtta otse põhiekraanilt, sest esikvoodid on projekteerunud sinna oma loomulikus pikkuses. Analoogselt leitakse lõigu AB tegelik pikkus juhul kui lisaekraan on võetud risti põhiekraaniga ja uus telg u paralleelne lõigu pealtvaatega $u \parallel A'B'$ (joonis 6.4).

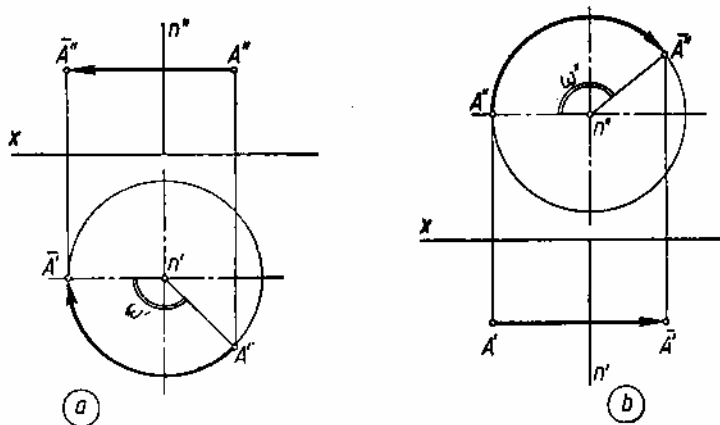


Joonis 6.4

6.4 Objekti pööramine ümber ekraani normaali

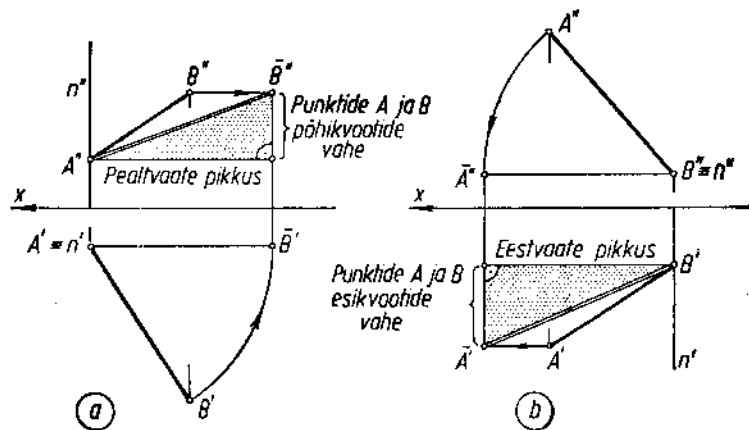
Teine lisaprojektsiooni saamise võte seisneb objekti asendi muutmises paigalseisvate ekraanide ja projekteerimiskiirte suhtes pööramise teel.

Punkti pööramisel ümber ekraani normaali e. ristsirge on punkti trajektooriks sellel ekraanil ringjoon keskpunktiga normaali punktkujutis. Joonisel 6.5a pööratakse punkti A ümber põhiekraani normaali n' ja joonisel 6.5b ümber esiekraani normaali n'' . Punkt A liigub vastava ekraani nivoo pinnal, mis ristioleval ekraanil projekteerub sirgeks.



Joonis 6.5

Üldasendilise sirglõigu kaksvaates ei väljenda kumbki projektsioon sirglõigu tõelist pikkust. Kui pöörata niisugune sirglõik mõne ekraaniga paralleelseks, ekraani nivoo pinnale, siis saame sellel ekraanil lõigu uue projektsiooni, mis vastab lõigu tegelikule pikkusele. Joonisel 6.6a on sirglõik AB pööratud ümber põhiekraani normaali n , mis on asetatud läbi lõigu otspunkti A .



Joonis 6.6

Sirglõigu AB pööramisel ümber punkti A esiekraani nivoopinnale liigub lõigu teise otspunkti pealtvaade B' noolega näidatud suunas asendisse B'' , s. o. jooneni, mis on x -teljega paralleelne. Selle pööramisega liigub punkti B eestvaade asendist B' mööda x -teljega paralleelset sirget asendisse B'' . Esiekraani nivoopinnale pööratud sirglõigu AB eestvaade $A''B''$ ongi võrdne lõigu tegeliku pikkusega: $A''B'' \cong AB$.

Kui eestvaates tõmmata punktist A'' x -teljega paralleelne abijoon, siis tekib täisnurkne kolmnurk, mille üheks kaatetiks on lõigu pealtvaate pikkus ja teiseks kaatetiks lõigu otspunktide põhikvootide vahe. Sirglõigu tegelik pikkus on võrdne selle kolmnurga hüpotenuusiga.

Joonisel 6.6b on sirglõigu AB tõeline pikkus saadud lõigu pööramisega ümber esiekraani normaali, mis on asetatud lõigu otspunkti B' . Lõigu eestvaade $A''B''$ on pööratud noolega näidatud suunas paralleelseks põhiekraniga. Punkti A eestvaade A'' on liikunud asendisse A'' . Pealtvaade $A'B'$ on aga siirdunud x -teljega paralleelselt asendisse $A'B'$. Sirglõigu uuele, s. o. horisontaalasendile vastav pealtvaade $A'B'$ on võrdne sirglõigu tegeliku pikkusega: $A'B' \cong AB$.

Kui tõmmata pealtvaates punktist B' x -teljega paralleelne abijoon, siis saame täisnurkse kolmnurga, mille üheks kaatetiks on lõigu eestvaate pikkus ja teiseks lõigu otspunktide esikvootide vahe. Sirglõigu tegelik pikkus on võrdne selle kolmnurga hüpotenuusiga.

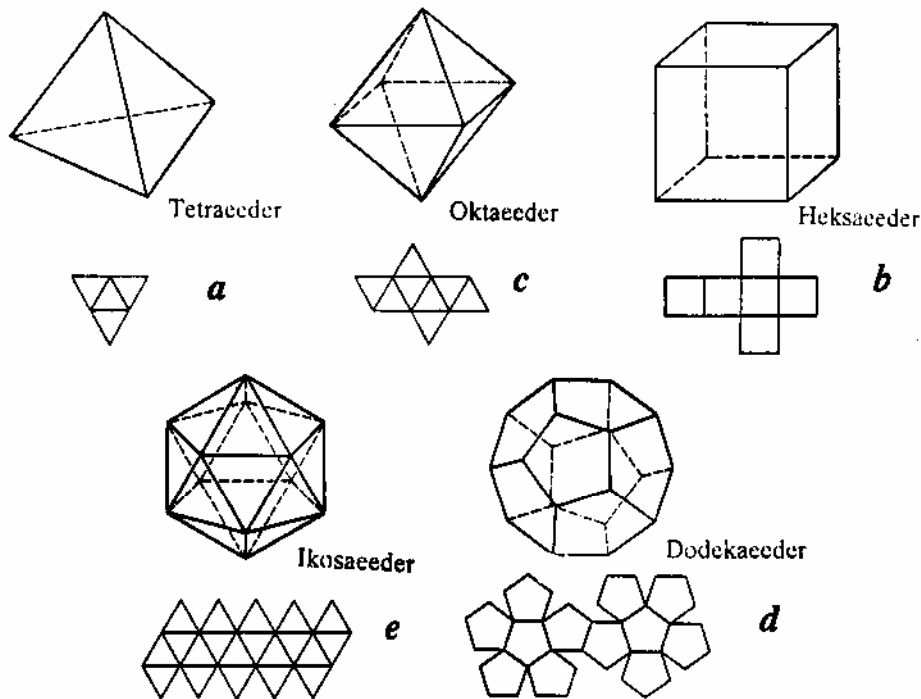
7.HULKTAHUKAD

Enamik tehnilisi tooteid on saadud lihtsate geomeetriliste kehade kombineerimisel ühel või teisel viisil. Nendeks kehadeks võivad olla mitmesuguse kujuga hulktahukad (prismad, püramiidid) või pöördkehad (silindrid, kerad, koonused, rõngad).

Hulktahukas (polüeeder) ehk lühemalt **tahukas** on tasandiliste hulknurkadega (tahkudega) piiratud keha.

Tahukas on **kumer**, kui ta jääb oma iga tahu tasandist tervenisti ühele poole. Vastasel korral on tahukas **nõgus**. Kumera tahuka iga tasandiline lõige on kumer hulknurk.

Ideaaltahukad on korrapärased tahukad, kus tahkudeks on korrapärased, so võrdsete külgedega hulknurgad. Kumeraid ideaaltahukaid on viis: **tetraeeder** (4-tahk) (joonis 7.1 a), **heksaeeder** (6-tahk) ehk kuup (joonis 7.1 b), **oktaeeder** (8-tahk) (joonis 7.1 c), **dodekaeeder** (12-tahk) (joonis 7.1 d) ja **ikosaeeder** (20-tahk) (joonis 7.1 e).



Joonis 7.1

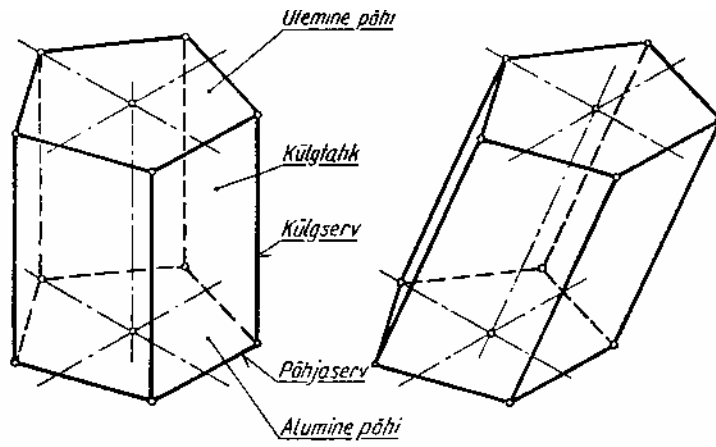
Tahuka pinnalaotus on tasandiline kujund, mis on koostatud tahkude tõelistest kujudest ja mis arvestab tahkude omavahelist paiknemist. Pinnalaotus püütakse alati teha võimalikult kompaktne, st minimaalse ümbermõõduga.

Prisma on tahukas, mille kaks põhjatahku on teineteisega paralleelsed kongruentsed hulknurgad ja ülejäänud tahud (külgtahud) on rõõpkülilikud. Põhjade kujust lähtudes eristatakse kolmnurkset, nelinurkset, viisnurkset jne –nurkset prisma.

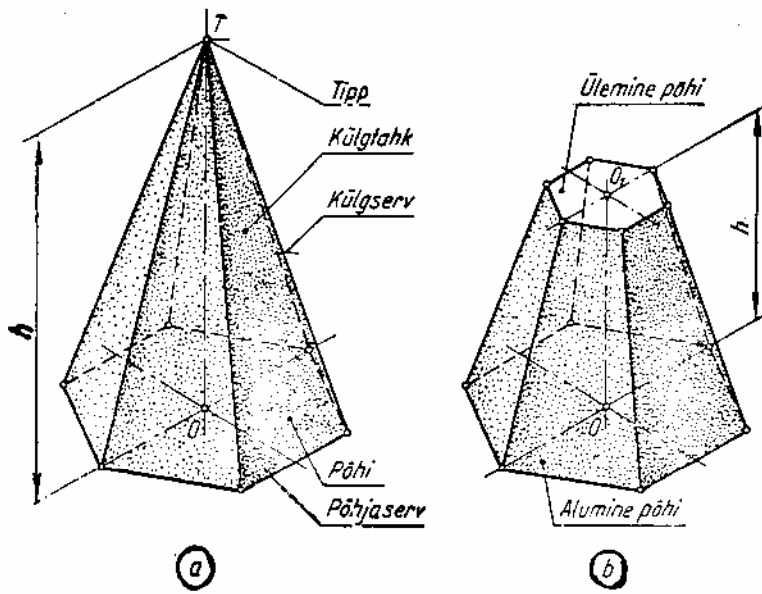
Püstprisma külgtahud on põhjadega risti, kaldprismal mitte (joonis 7.2).

Püramiid on tahukas, mille põhjaks on mistahes külgede arvuga hulknurk ja külgtahkudeks ühise tipuga kolmnurgad.

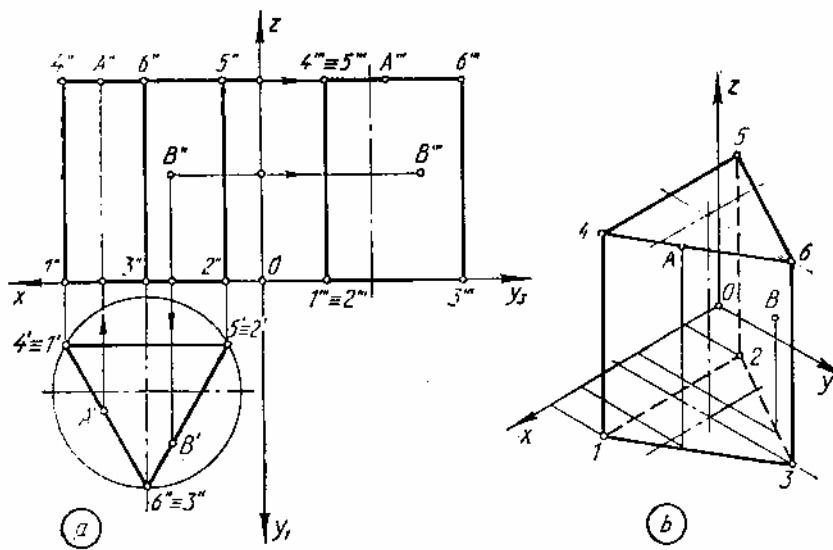
Korrapärase püramiidi põhjatahk on korrapärase hulknurk ja tema tipp projekteerub põhja tsentrisse (joonis 7.3 a). Kui püramiidi tipp lõigata ära põhjaga paralleelse tasapinnaga, saadakse tüvipüramiid (joonis 7.3 b). Tekkinud ülemine põhi on alumise põhjaga sarnane hulknurk.



Joonis 7.2



Joonis 7.3



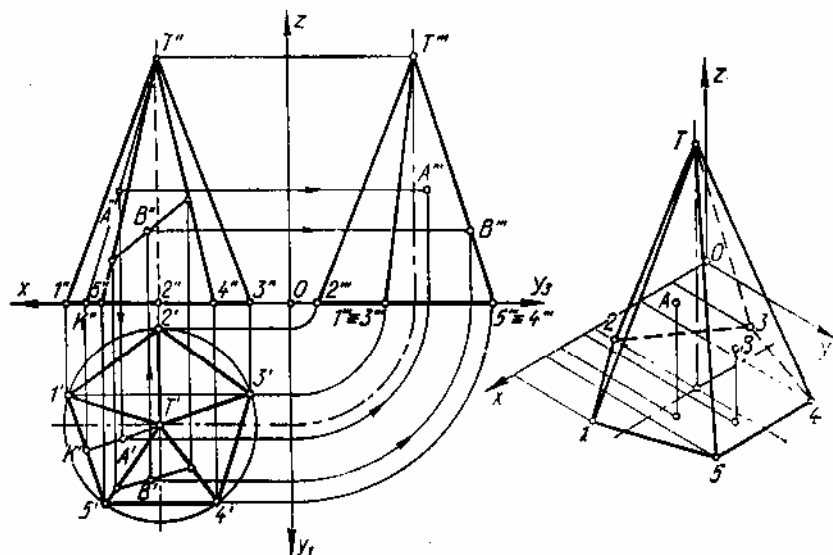
Joonis 7.4

7.1 Tahuka projektsioonide konstrueerimine

Prisma kolmvaate konstrueerimist alustatakse pealtvaatest, kus prisma ülemine põhi katab täielikult alumise (joonis 7.4 a). Oletades, et prisma toetub-ühe põhjaga põhiekraanile, asub põhja eestvaade x -teljel. Eestvaates asuvad kõik külgservad pealtvaate tippudest üle x -telje suunduvatel sidejoontel. Nad tõmmatakse prisma kõrgusjooneni. Vasakultvaate konstrueerimisel kasutatakse kolmvaate peaomadust, mille kohaselt prisma mistahes punkti vasakultvaate kaugus z -teljest on võrdne sama punkti pealtvaate kaugusega x -teljest.

Nii eest- kui ka vasakultvaates projekteeruvad prisma põhjad sirglõikudeks. Tahkudest 1463 ja 3652 tekivad moonutatud kujutised. Tahk 1452 projekteerub esiekraanile oma loomulikus suuruses, külgekraanile vasakultvaates aga sirglõiguks. Aksonomeetrilise kujutise (joonis 7.4 b) saamiseks konstrueerime kõigepealt koordinaatpinnal xOy prisma põhja 123 ristisomeetrilise kujutise. Ülemise põhja 456 saame kui kanname tippudest 123 z -telje sihis üles tõmmatud sirgetele prisma kõrgusele vastavad lõigud.

Püramiidi kolmvaate konstrueerimist alustatakse samuti pealtvaatest. Joonisel 7.5 on kujutatud korrapärase viie tahuga püramiidi põhja konstrueerimist abiringjoone sisse.



Joonis 7.5

Kui oletada, et püramiid asetseb põhiekraanil, siis projekteerub tema põhjatahu eestvaate sirglõiguks x -teljel. Samal sirglõigul asuvad ka kõigi põhja tippude eestvaated. Püramiidi tipu T pealtvaate T'' asub abiringjoone keskpunktis. Eestvaate T'' leiame pealtvaatest tõmmatud sidejoonel x -teljest püramiidi kõrguse kaugusel. Põhja tippude eestvaadete ühendamisel püramiidi tipuga saame püramiidi eestvaate. Vasakultvaate tuletamisel kasutame kolmvaate peaomadust ja vaadetevahelisi projektsioonilisi seoseid.

Aksonomeetrilise kujutise saamiseks konstrueeritakse kõigepealt püramiidi põhi xOy koordinaatpinnal. Seejärel kantakse põhja keskpunktist üles z -telje sihis püramiidi kõrgus. Saadud tipu T ühendamisel kõigi põhja tippudega tekib püramiidi ristisomeetriline kujutis.

7.2 Tahuka lõikumine tasandiga

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

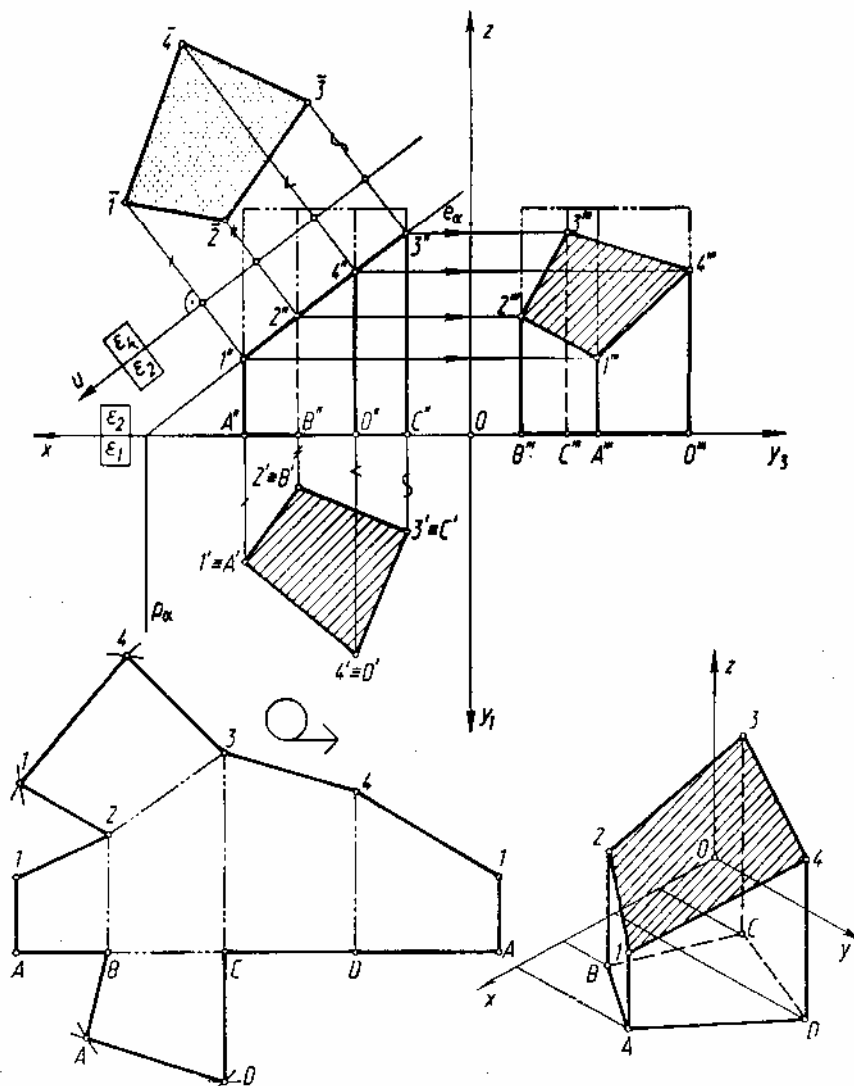
Prisma lõikamine tasapinnaga.

Korrapäratu nelinurkne püstprisma on antud oma kolmvaatega (joonis 7.6). Teda lõikav tasapind α on antud esijäljega e_α ja põhijäljega p_α . Tasapind on esiekraaniga risti ja läbib prisma kõiki külgtahke ja -servi.

Lõikepinna kuju määravad tasapinna α ja prisma püstservade ühispunktid. Eestvaates projekteeruvad need lõikava tasapinna joonkujutisele punktidenä $1''$, $2''$, $3''$ ja $4''$. Pealtvaates projekteeruvad need põhjahulknurga tippudesse, nii et $1' \equiv A'$, $2' \equiv B'$, $3' \equiv C'$ ja $4' \equiv D'$. Lõikekujundi vasakultvaade $1'''2'''3'''4'''$ on saadud kolmvaate peaomadust ära kasutades.

Kuna prisma lõikav tasapind α ei ole ühegi ekraaniga paralleelne, siis ei selgu üheltki ekraanilt tasapinna ja prisma lõikepinna tõeline kuju. Lõikekujundi originaalvorm on joonisel 7.6 tuletatud lisaekraani kasutades.

Lõiketaseandist allapoole jääva prisma osa aksonomeetriline kujutis ristsomeetrias on konstrueeritud punktis 7.1 toodud kirjelduse järgi. Erinevus on vaid selles, et prisma igal püstserval on erinev kõrgus, mis on näha eest- ja külgsuunas. Lõiketaseandist allapoole jääva prisma osa pinnalaotuse konstrueerimist on alustatud külgsuuna lahtikantimisest. Selleks on horisontaalsele sirgele kantud prisma põhjaservade pikkused, mis on võetud pealtvaatest AB , BC , CD ja DA . Jaotuspunktidest on tõmmatud üles ristsirged, millele on kantud eestvaatest saadud külgservade pikkused. Lõikekujundi originaalvorm ja põhjatahk on konstrueeritud punkthaaval kasutades kahe punkti alusel kolmanda leidmiseks sirkli võtet.



Joonis 7.6

Püramiidi lõikamine tasapinnaga.

Püramiidi lõikamisel tasapinnaga võib tekkiv lõikekujund olla mitmesuguse kujuga hulknurk.

Korrapärase kuustahkse püramiidi kolmvaatel (joonis 7.7) on näha teda lõikava, esiekraaniga ristioleva tasapinna α jäljed e_α ja p_α .

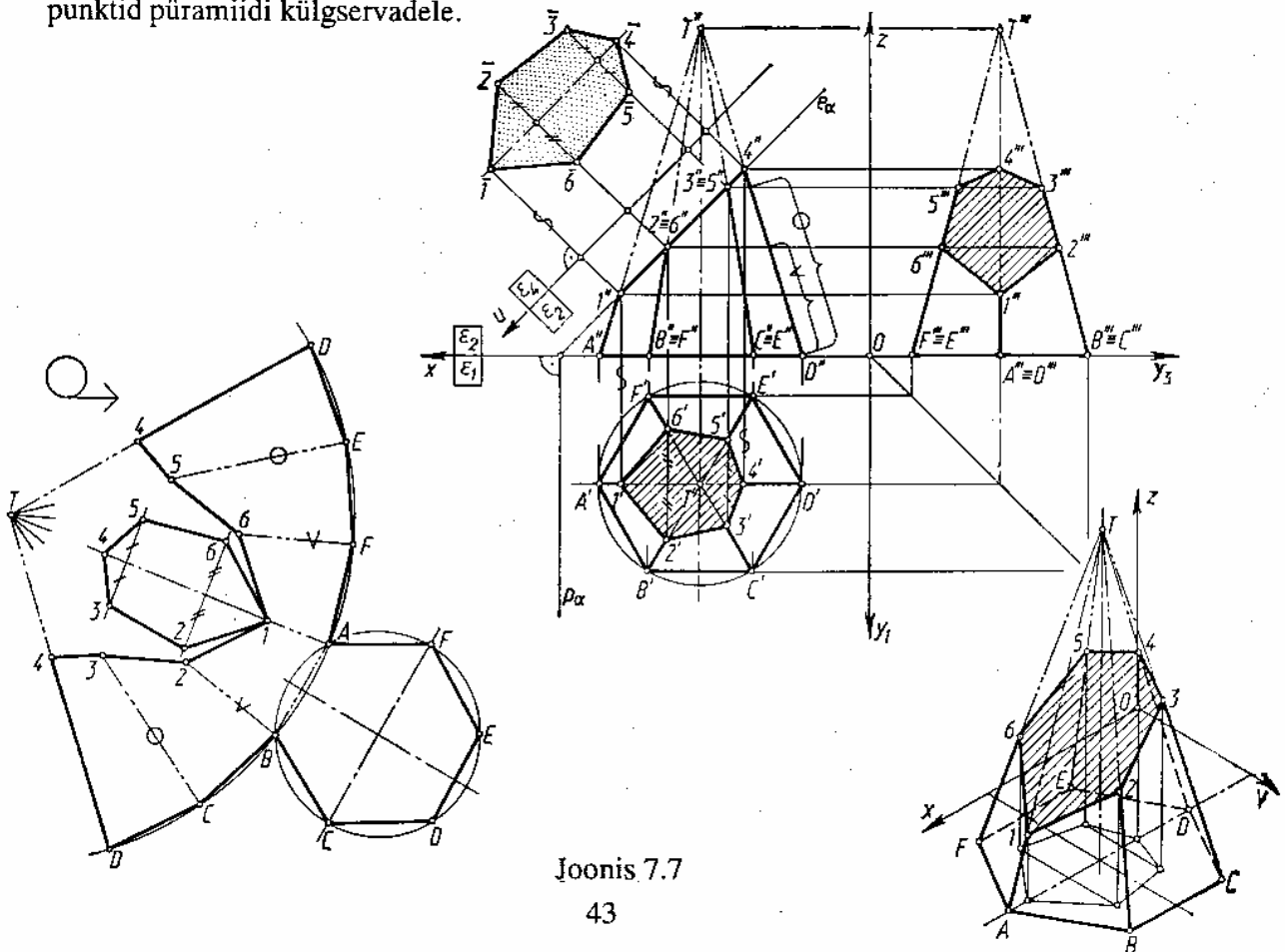
Pealtvaate, püramiidi põhjatahku kujutava korrapärase kuusnurga konstrueerimisel kasutatakse abiringjoont, mille keskpunkti projekteerub püramiidi tipp T .

Eestvaates projekteerub lõikekujund tasapinna α esijalgjonele e_α , kusjuures kaks punktipaari langevad kokku $2'' \equiv 6''$ ja $3'' \equiv 5''$. Lõikekujundi pealt- ja vasakultvaated leiame eestvaatest lähtuvate sidejoonte abil, konstrueerides nende lõikepunktid püramiidi külgservadega. Lõikekujundite vaated saame punktide ühendamisel sirgetega.

Lõikekujundi originaalvorm on leitud lisaekraani võttega.

Lõigatud püramiidi alumise osa pinnalaotuse konstrueerimist on alustatud külgpinna lahtikantimisest. Selleks on vabalt valitud punktist T tõmmatud abikaar, mille raadius on võrdne püramiidi külgserva tõelise pikkusega (eestvaatel servade $T''A''$ või $T''D''$ pikkus). Abikaarele on kantud kuus võrdse pikkusega kõõlu, mille tõeline pikkus on näha pealtvaatel. Kõõlude otspunktid on ühendatud tipuga T . Püramiidi külgservadest kahe serva originaalpikkused on näha eestvaatel $A1 = A''1''$ ja $D4 = D''4''$. Ülejäänud servade originaalpikkused saadakse nende esiekraaniga paralleelseks pööramise teel. Servade $B2$ ja $F6$ ning $C3$ ja $E5$ originaalpikkused on näha eestvaatel loogeliste sulgude vahel serval $T''D''$. Järgnevalt konstrueeritakse püramiidi külgpinna juurde põhi ja lõikepinna originaalvorm ning pinnalaotus on valmis.

Aksonomeetrilise kujutise saamiseks ristsomeetrias ehitatakse algul lõikamata püramiidi kujutis punktis 7.1 kirjeldatud viisil. Seejärel konstrueeritakse püramiidi põhja tasapinda lõikekujundi pealtvaade. Nüüd tõmmatakse viimase tippudest üles z -teljega paralleelsed jooned. Nendel mõõdetakse eestvaatelt võetud tippude kõrgused. Kui konstrueerimine on toimunud täpselt, siis satuvad lõikekujundi nummerdatud punktid püramiidi külgservadele.



8. KÕVERJÕONED JA KÕVERPINNAD

8.1. Joonte liigid

Jooni võib vaadelda kas liikuva punkti trajektoorina või kahe pinna lõikena.

Jooni liigitatakse: 1) sirg- ja kõverjoonteks;
2) tasa- ja ruumikõverateks;
3) graafilisteks ja analüütilisteks.

Analüütilised jooned on matemaatiliste võrranditega määratavad.

Kõverjoontel on mitmeid olulisi punkte.

Käänupunkt on punkt, kus kõver muutub kas nõgusast kumeraks või ümberpöörduks. Puutuja käänupunktis on ühtlasi kõvera lõikajaks.

Sõlmpunkt on punkt, kus kõver lõikab iseennast. Kõveral on selles punktis kaks erinevat puutuja.

Tagasipöördepunkt on punkt, kus kõver muutub oma suunalt vastassuunaliseks. Selles punktis on kõvera mõlemal harul ühine puutuja.

Haripunkt on ekstreemalse kõverusega koht antud joonel.

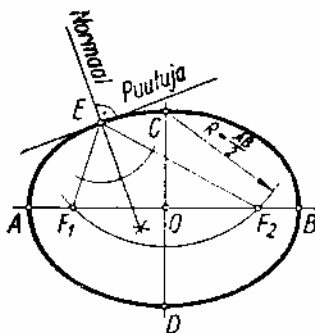
Kõverusringjooneks joone antud punktis nimetatakse joont selles punktis kõige paremini lähendavat ringjoont. Kõveral ja tema kõverusringjoonel on selles punktis ühine puutuja.

Joone kõverust antud punktis väljendab vastava kõverusringjoone raadiuse pöördväärtus.

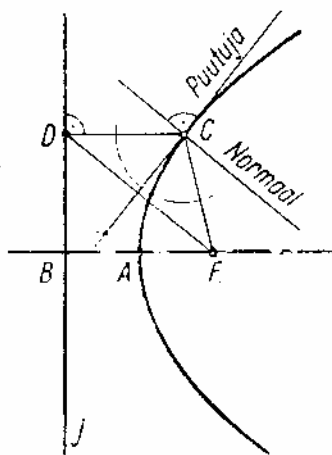
8.2. Kõverjooned

Ringjoon on tasandiline joon, mille iga punkti kaugus tasandi ühest kindlast punktist (tsentrist) on jääv.

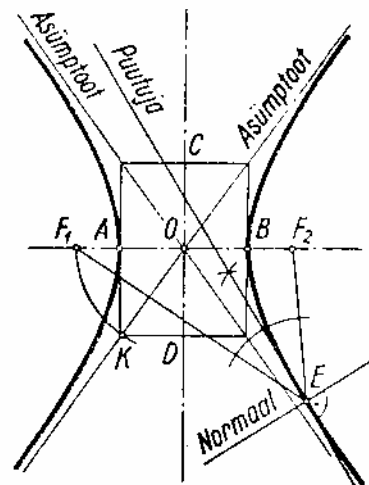
Ellips on tasandiline joon, mille igast punktist kuni joone tasandi kahe kindla punktini (fookuseni) mõõdetud kauguste summa on jääv: $EF_1 + EF_2 = AB$ (joonis 8.1). Ellipsi elemendid on: AB – pikem telg; CD – lühem telg; O – keskpunkt; F_1 ja F_2 – fookused, mis asuvad lühema telje otspunktidest pikema pooltelje, so $AB/2$ kaugusel; EF_1 ja EF_2 on ellipsi juhuslikule punktile vastavad raadiusvektorid; normaal läbi ellipsi juhusliku punkti E on vastavate raadiusvektorite poolt moodustatud nurga poolitaja; puutuja on normaali ristsirge läbi ellipsi punkti E .



Joonis 8.1



Joonis 8.2



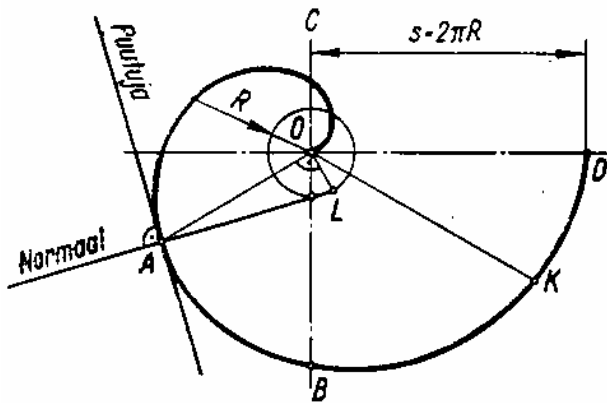
Joonis 8.3

Parabool on tasandiline joon, mille igast punktist tasandi kindla punktini (fookuseni) ja kindla sirgeni (juhtjoon) mõõdetud kaugused on võrdsed: $FC = CD$ (joonis 8.2).

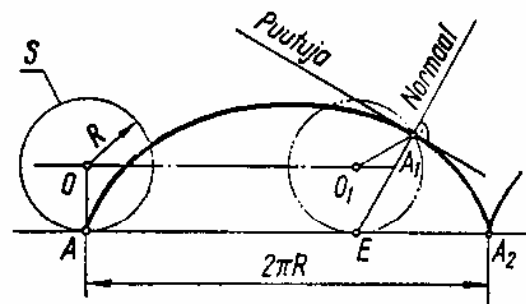
Parabooli elemendid on: F – fookus; j – juhtjoon; BF - telg, läbib fookust ja on risti juhtjoonega; fookuse ja juhtjoone vahelist kaugust BF nimetatakse parabooli parameetriks; A – haripunkt, poolitab lõigu BF ; CF ja CD – punkti C raadiusvektorid; puutuja on puutepunktile vastavate raadiusvektorite vahelise nurga poolitaja; normaal on puutujale puutepunktis tõmmatud ristsirge.

Hüperbool on tasandiline joon, mille igast punktist kuni tasandi kahe kindla punkti niimoodetud kauguste vahe on konstantne (joonis 8.3). Hüperbooli elemendid on: AB – fokaaltelg; CD – kaastelg; O – keskpunkt; A ja B – haripunktid; F_1 ja F_2 – fookused; EF_1 ja EF_2 – hüperbooli mingile punktile E vastavad raadiusvektorid; puutuja on antud punktile E vastavate raadiusvektorite vahelise nurga poolitaja; normaal on puutujale puutepunktis tõmmatud ristsirge; asümptoot on hüperbooli puutuja lõpmata kauges punktis.

Archimedese spiraal on tasandiline kõver, mis saadakse punkti ühtlasel liikumisel mööda sirget, kui see sirge pöörleb tasandil ühtlaselt ümber oma ühe punkti (joonis 8.4). Archimedese spiraali elemendid on: O – poolus; OD – polaartelg; OK – spiraali punktile K vastav raadiusvektor; s – spiraali samm, so täispöördele vastav raadiusvektori pikkuse juurdekasv; juhtringjoon, mille tsentriks on poolus ja ümbermõõt võrdub spiraali sammuga ($s = 2\pi R$); normaal on sirge, mis ühendab spiraali mingit punkti A selle punkti vektoriga ristioleva raadiuse OL lõpp-punktiga L .



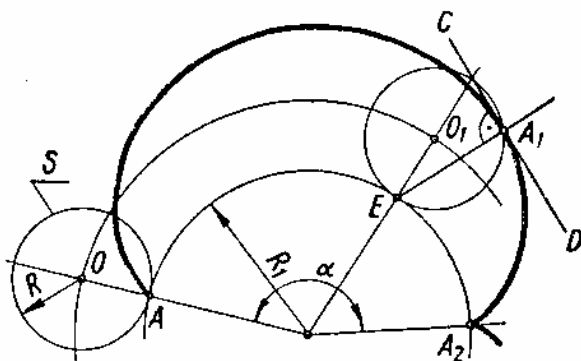
Joonis 8.4



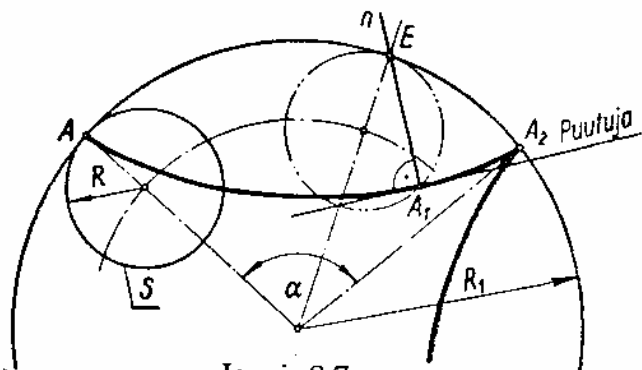
Joonis 8.5

Tsükloid on tasandiline kõver, mis saadakse veereringi libisemata veeremisel mööda sirget (joonis 8.5). Tsükloidi elemendid on: A – veerepunkt; S – veerering, mis veereb mööda juhtjoont AA_2 ; EA_1 – tsükloidi normaal, mis suundub tsükloidi punktist A_1 punkti E , milles veerering parajasti puudutab juhtsirget antud punkti tekkimise momendil; puutuja on normaali ristsirge läbi antud punkti A_1 .

Epitsükloid on veerekõver, mille veereringi juhtjooneks on ringjoon ja veeremine toimub väljaspool juhtringi (joonis 8.6). Epitsükloidi elemendid on: S – veerering; A – veerepunkt; AEA_2 – juhtring, millel veereb veerering; A_1E – normaal, mis suundub epitsükloidi punktist A_1 punkti E , milles veerering parajasti puudutab juhtringjoont antud punkti tekkimise momendil; CD – puutuja, mis on risti normaali-ga.



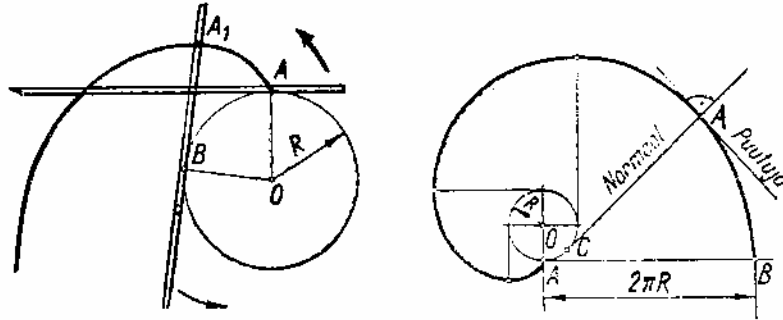
Joonis 8.6



Joonis 8.7

Hüpotsükloid on veerekõver, mille veereringi juhtjooneks on ringjoon ja veeremine toimub juhtringi sees (joonis 8.7). Hüpotsükloidi elemendid on: S – veerering; A – veerepunkt; AEA_2 – juhtring; A_1E – normaal n , mis suundub hüpotsükloidi punktist A_1 punkti E , milles veerering parajasti puudutab juhtringjoont antud punkti tekkimise momendil; puutuja on risti normaaliga.

Ringjoone evolvent on tasandiline joon, mille kujundab sirgjoone punkt selle sirgjoone libisemata veeremisel ümber ringjoone (joonis 8.8). Evolvendi elemendid on: A – evolventi joonestav punkt; O – juhtringi tsepter; R – juhtringi raadius; AB – evolventi samm; A_1C – normaal, mis on juhtringi puutujasihiline; puutuja on risti normaaliga.

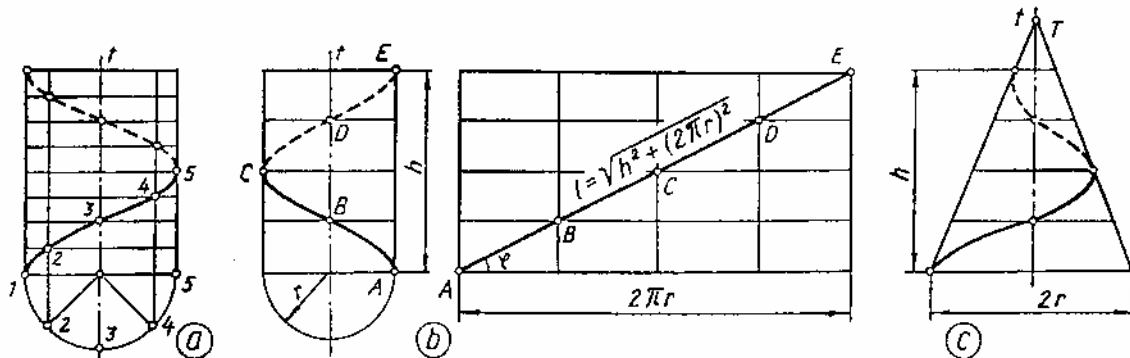


Joonis 8.8

Kruvijooned on ruumikõverad, millel on tehnikas eriline tähtsus.

Silindriline kruvijoone on joon, mille tekitab pöördsilindri moodustajat mööda ühtlaselt liikuv punkt, kui silinder samaaegselt pöörleb ühtlaselt ümber oma telje (joonis 8.9 a). Kruvijoone võib saada ka tasandile joonestatud sirgjoonest, kui tasand painutada ümber pöördsilindri (joonis 8.9 b). Kruvijoone osa, mis vastab punkti ühele täispöördele ümber oma telje, on *keerd*. Keeru otspunktide vahelist kaugust mõõdetuna silindri moodustaja sihis nimetatakse kruvijoone *sammuks*. Jooniselt 8.9 b selgub seos sammu h , keeru pikkuse l ja silindri raadiuse r vahel.

Kruvijoone on *paremakäeline*, kui telje sihis vaadates punkti eemaldumine mööda kruvijoont toimub pöördlemisega päripäeva (joonis 8.9 a), vastasel korral aga *vasakukäeline* (joonis 8.9 b).



Joonis 8.9

Kooniline kruvijoone on joon, mille tekitab pöördkoonuse moodustajat mööda ühtlaselt liikuv punkt, kui koonus samaaegselt pöörleb ühtlaselt ümber oma telje (joonis 8.9 c). Koonilise kruvijoone sammuks on keeru otspunkte läbivate telje risttasandite vahekaugus h (joonis 8.9 c).

8.3. Pindade liigitus

Pinda võib vaadelda ruumis liikuva joone – pinna moodustaja kõigi järjestikuste asendite koguna. Pind on määratud, kui on antud tema moodustaja kuju ja liikumise tingimused. Joone liikumisega tekitatavaid pindu nimetatakse *kinemaatilisteks pindadeks*.

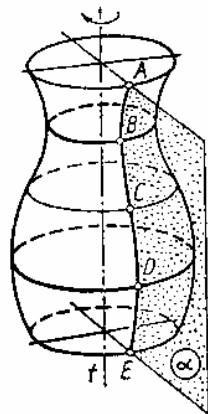
Pinnad, mis pole tekitatavad joone liikumisega, on *topograafilised pinnad* (maapind) ja *karkasspinnad*.

Pindu, mida saab esitada võrrandite abil, nimetatakse *analüütilisteks pindadeks*. n -astme algebralise võrrandiga määratavat pinda nimetatakse *n -järku pinnaks*.

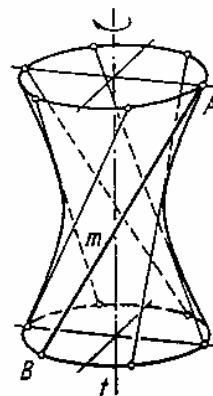
8.4. Kõverpinnad

Tehnikas kasutatakse peamiselt järgmisi pindade klasse.

Pöördpind tekib mistahes joone (moodustaja) pöörlemisel ümber sirgjoone kui telje (joonis 8.10).

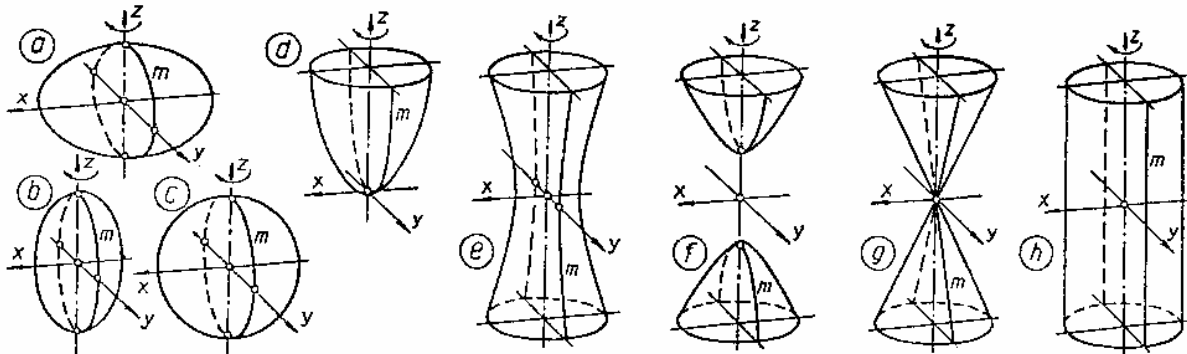


Joonis 8.10



Joonis 8.12

Kui moodustajaks on sirge, siis võib saada tema pöörlemisel ümber telje kas *pöördsilindri*, kui moodustaja on teljega paralleelne (joonis 8.11 h), *pöördkoonuse*, kui moodustaja löikab telge kaldu (joonis 8.11 g), või *pöördhüperboloidi*, kui moodustaja on telje suhtes kiivne (joonis 8.12).



Joonis 8.11

Teist järku joonte (ringjoone, ellipsi, hüperbooli ja parabooli) pöörlemisel ümber oma sümmeetriatelje tekivad teist järku pööripinnad. *Sfäär* tekib ringjoone pöörlemisel ümber oma telje (joonis 8.11 c).

Pöördellipsoid tekib ellipsi pöörlemisel ümber oma telje. Saadakse kas lapik (joonis 8.11 a) või piklik (joonis 8.11 b) pöördellipsoid olenevalt sellest kas pöörlemine toimub ümber lühema või pikema telje. Sfääri võib vaadelda kui ellipsoidi erijuhtu.

Pöördparaboloid tekib parabooli pöörlemisel ümber oma sümmeetriatelje (joonis 8.11 d).

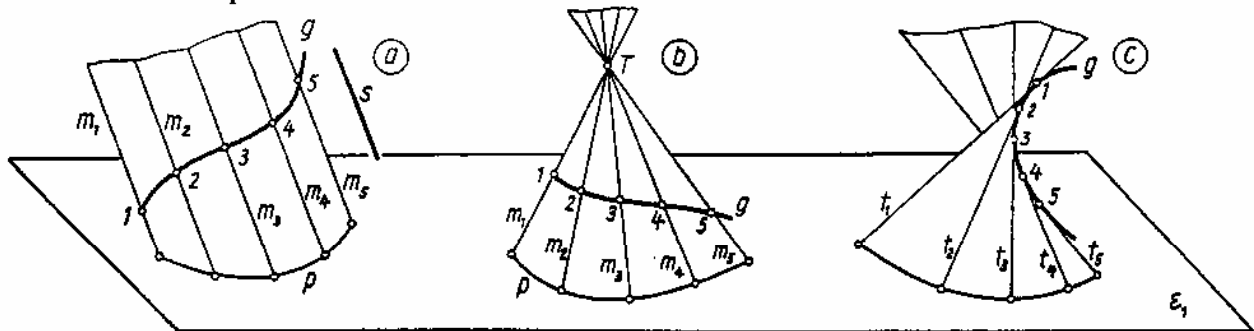
Ühekatteline pöördhüperboloid tekib hüperbooli pöörlemisel ümber kaastelje (joonis 8.11 e). *Kahekatteline pöördhüperboloid* tekib hüperbooli pöörlemisel ümber fokaaltelje (joonis 8.11 f).

Pöördkoonus ja pöördsilinder kuuluvad pöördhüperboloidi erijuhtudena teist järku pöördpindade hulka, kui vaadelda neid nagu hüperbooli erivormide (kaks lõikuvat sirget ja kaks paralleelset sirget) pöörlemise tulemust (joonis 8.11 g ja h).

Joonpinna tekitab teatud tingimuste kohaselt liikuv sirgjoon (moodustaja).

Silindriline pind tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab antud juhtjoont g ja jääb paralleelseks antud sihisirgega s (joonis 8.13 a). Kui juhtjooneks on teist järku joon, siis on tegemist teist järku silindriga (elliptiline, hüperboolne või paraboolne).

Kooniline pind tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab antud juhtjoont g ja läbib antud punkti T (joonis 8.13 b). Kui juhtjooneks on ellips, siis saadakse elliptiline koonus.



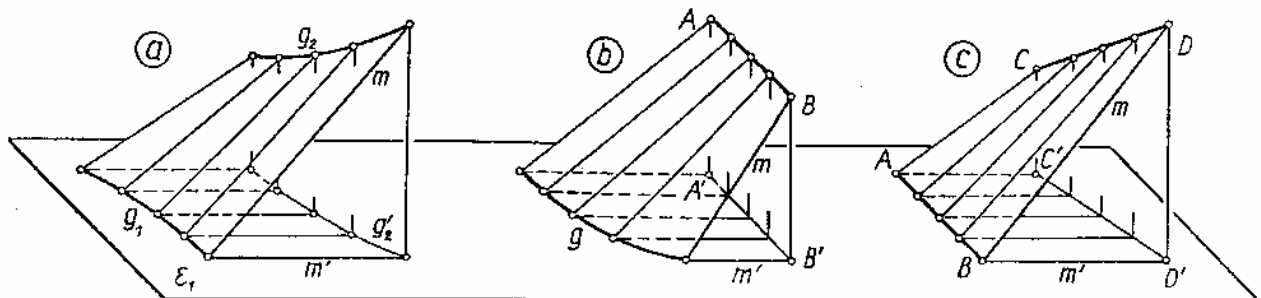
Joonis 8.13

Puutujatepind tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis jääb etteantud ruumikõvera puutujaks (joonis 8.13 c).

Silindroid on pind, mis tekib sirgjoone liikumisel, kui sirgjoon igas oma asendis lõikab kahte antud juhtjoont g_1 ja g_2 ja jääb paralleelseks antud juhtpinnaga (joonis 8.14 a).

Silindroidi, mille üks juhtjoon on sirge, nimetatakse *konoidiks* (joonis 8.14 b).

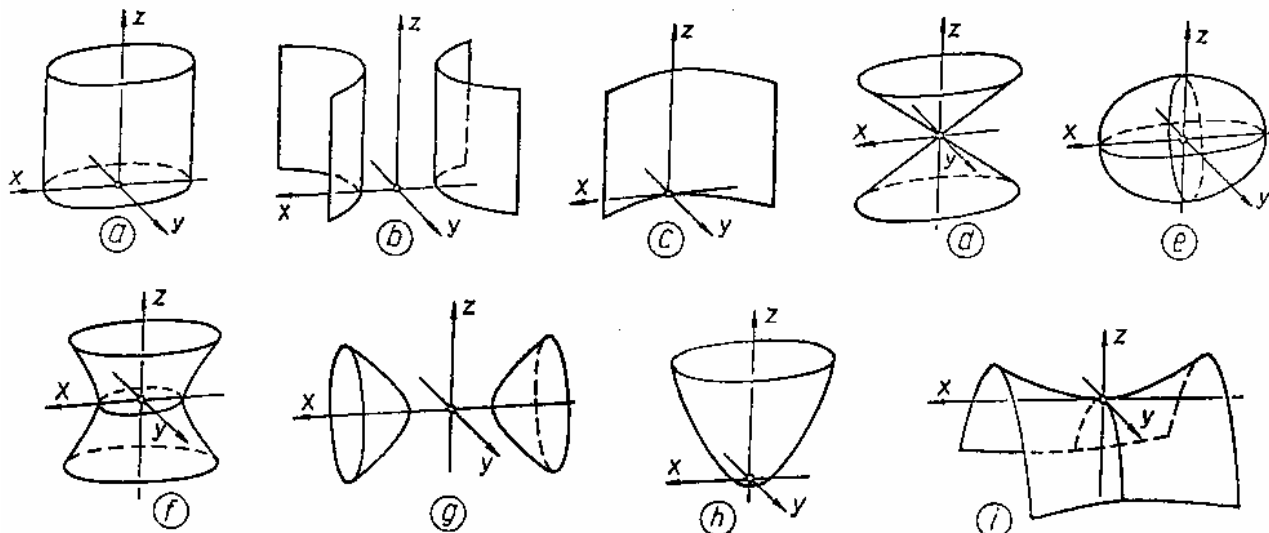
Kui silindroidi juhtjoonteks on kaks kiivsirget, siis saadakse hüperboolne paraboloid (joonis 8.14 c).



Joonis 8.14

Üldist teist järku pindade aksonomeetriselised kujutised on toodud joonisel 8.15. Mõned neist pindadest on joonpinnad (tähistatud – **X**), mõned pöördpinnad (tähistatud – **O**) ja mõned kuuluvad üheaegselt mitmesse pindade klassi.

- Joonisel 8.15 *a* on kujutatud elliptiline silinder – **X** ja **O**,
b – hüperboolne silinder – **X**,
c – paraboolne silinder – **X**,
d – elliptiline koonus – **X** ja **O**,
e – ellipsoid – **O**,
f – ühekatteline hüperboloid **X** ja **O**,
g – kahekatteline hüperboloid – **O**,
h – elliptiline paraboloid – **O**,
i – hüperboolne paraboloid – **X**.

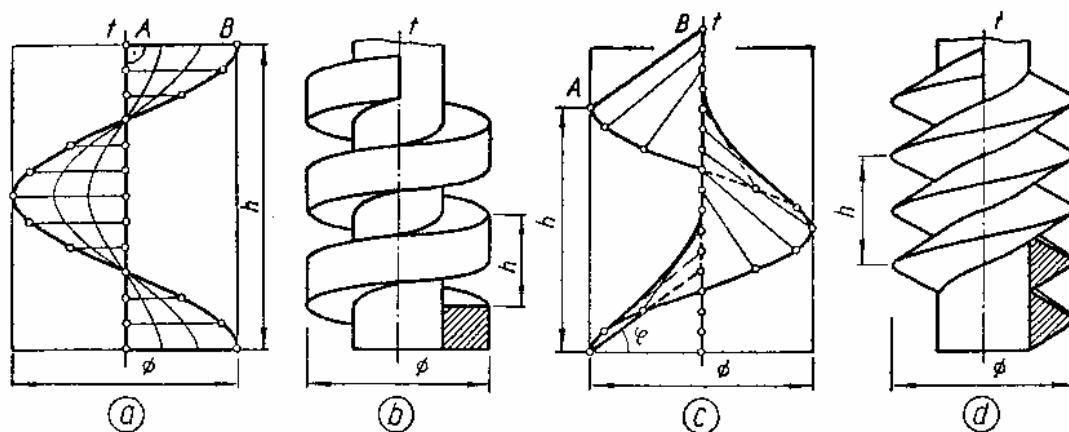


Joonis 8.15

Kruvipinnad tekivad joone (moodustaja) kruvijooneisel liikumisel. Kruvijooneeline on liikumine, mille puhul joone kõik punktid liiguvad mööda niisuguseid silindrilisi kruvijooni, millel on ühine telg ja võrdne samm.

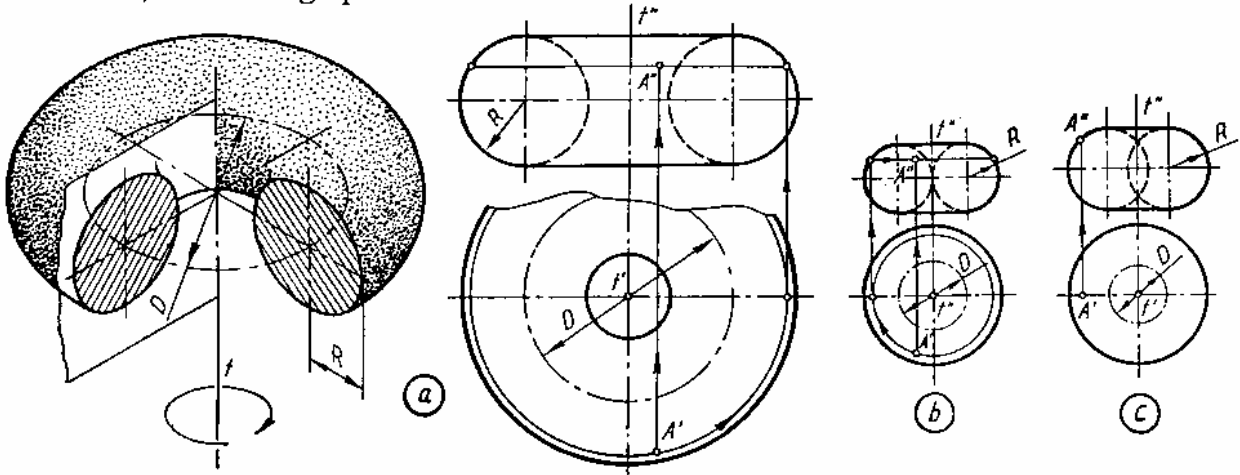
Tehnikas on oluline koht sirgjoonelise moodustajaga kruvipindadel. Normaalkruvipind tekib teljega ristioleva sirge kruvijooneisel liikumisel (joonis 8.16 *a*). Tema on leidnud praktilise kasutuse ruutkeerme näol (joonis 8.16 *b*).

Kaldkruvipind tekib telge kaldu lõikava sirge kruvijooneisel liikumisel (joonis 8.16 *c*). Teda kasutatakse kinnituskeermete tööpindadena. Kahekäiguline kolmnurkkeere on kujutataud joonisel 8.16 *d*.



Joonis 8.16

Tsüklilised pinnad tekivad ringjoone liikumisel. Näiteks ringjoone pöörlemisel ümber selle ringjoone tasandis asuva telje tekib rõngaspind. See pind on üheaegselt nii tsükliline kui ka pöördpind. Joonisel 8.17 on kujutatud rõngaspinda ja tema võimalikke erivorme. Harjumuspärane auguga rõngaspind tekib kui pöörlemistelg asub väljaspool ringjoont (joonis 8.17 a). Kui telg puutub ringjoont, saadakse iseennast puutuv rõngaspind (joonis 8.17 b). Telje lõikumisel ringjoonega tekib iseennast lõikav rõngaspind (joonis 8.17 c). Kui aga telg jõuab ringjoone keskpunkti kohale, aheneb rõngaspind keraks.



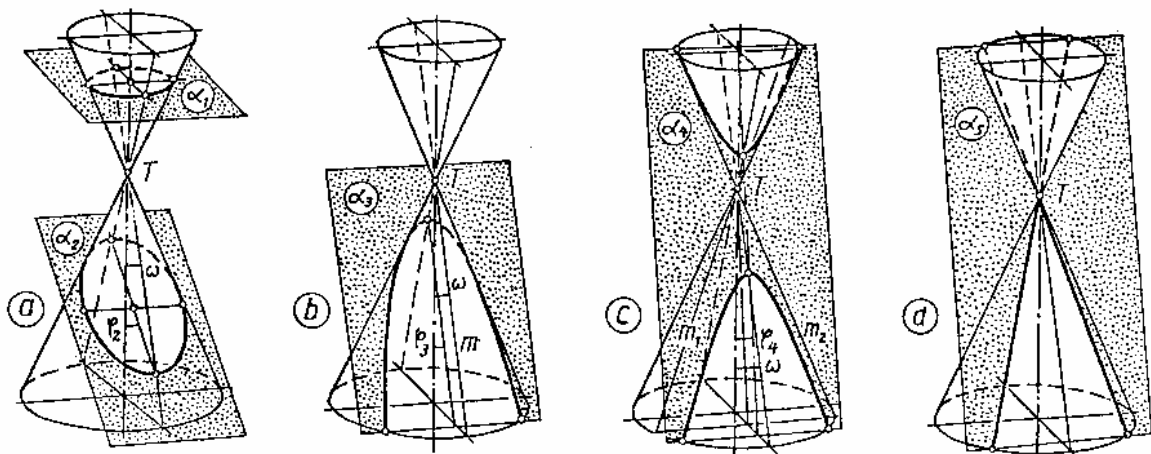
Joonis 8.17

8.5. Kõverpinna ja tasandi lõikumine

Kõverpinna ja tasandi lõikumisel kehtivad järgmised seaduspärasused.

1. Kerapinna iga tasandiline lõige on ringjoon.
2. Pöördsilindrilise pinna tasandiline lõige on üldjuhul ellips, erijuhul ringjoon, kui tasand on risti silindri teljega, või kaks paralleelset sirget, kui tasand on paralleelne silindri teljega.
3. Pöördkoonuse tasandiline lõige on
 - ringjoon, kui α_1 on risti koonuse teljega, ehk $\varphi_2 = 90^\circ$, st α_1 on risti koonuse teljega (joonis 8.18 a);
 - ellips, kui $\varphi_2 \neq 90^\circ$ ja $\varphi_2 > \omega$ (joonis 8.18 a);
 - parabool, kui $\alpha_3 \parallel m$ või $\varphi_3 = \omega$ (joonis 8.18 b);
 - hüperbool, kui $\alpha_4 \parallel m_1$ või $\alpha_4 \parallel m_2$ või $\varphi_4 < \omega$ (joonis 8.18 c);
 - kaks lõikuvat sirget, kui lõiketasand α_5 läbib koonuse tippu T ja $\varphi_5 < \omega$ (joonis 8.18 d).

Nurkade tähistus eelnevas. φ – nurk lõikava tasandi ja ja telje vahel;
 ω – nurk koonuse moodustaja ja telje vahel.

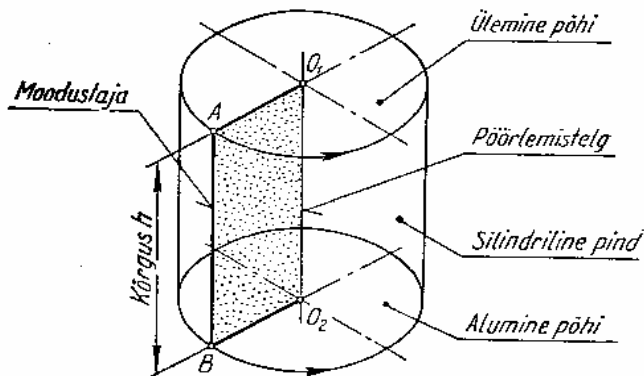


Joonis 8.18

8.6. Pöördkehad

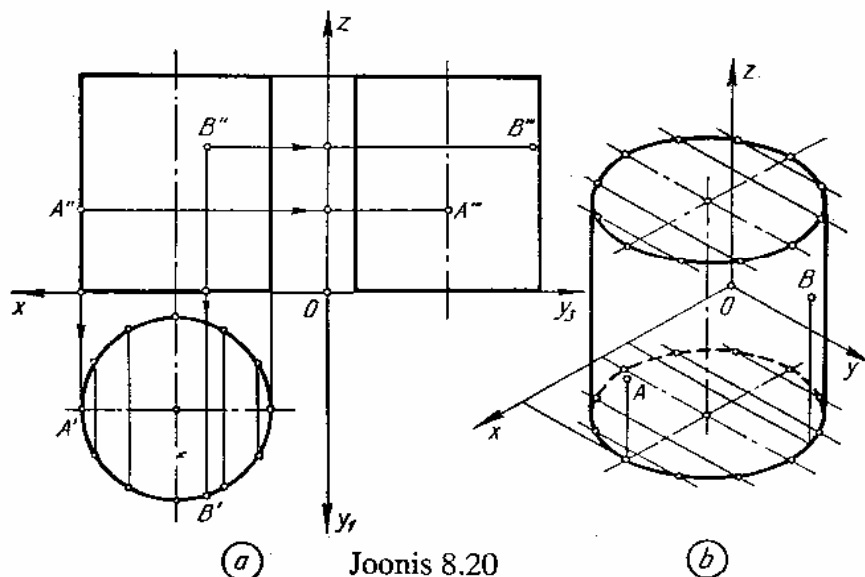
Pöörpindadega täielikult või osaliselt ümbritsetud kehi nimetatakse pöördkehadeks. Pöördkehi võib saada ka tasapinnaliste kujundite pöörlemisel ümber telje.

Silinder tekib ristkülikukujulise tasapinnatüki pöörlemisel ümber ühe külje (joonis 8.19).



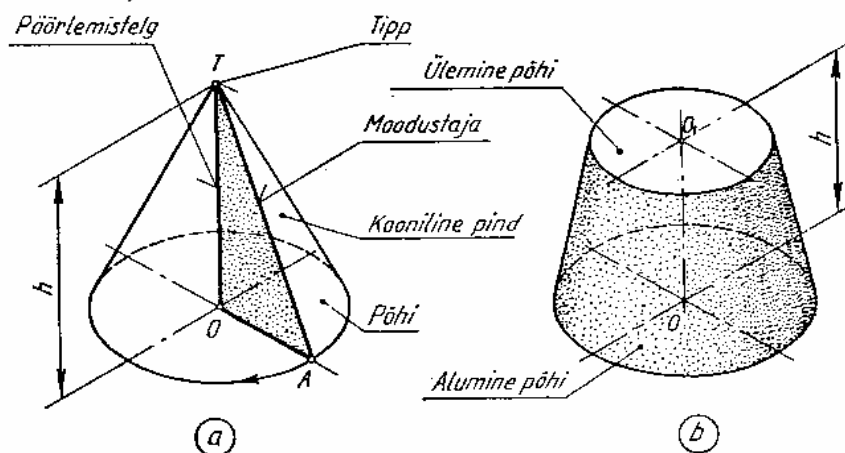
Joonis 8.19

Silindri kolmvaade on näha joonisel 8.20 a ja ristsomeetriline kujutis joonisel 8.20 b. Silindri põhjad projekteeruvad aksonomeetrias ellipsiteks. Joonisel 8.20 on näha ka silindri külgpinnal asuvate punktide *A* ja *B* kujutised.



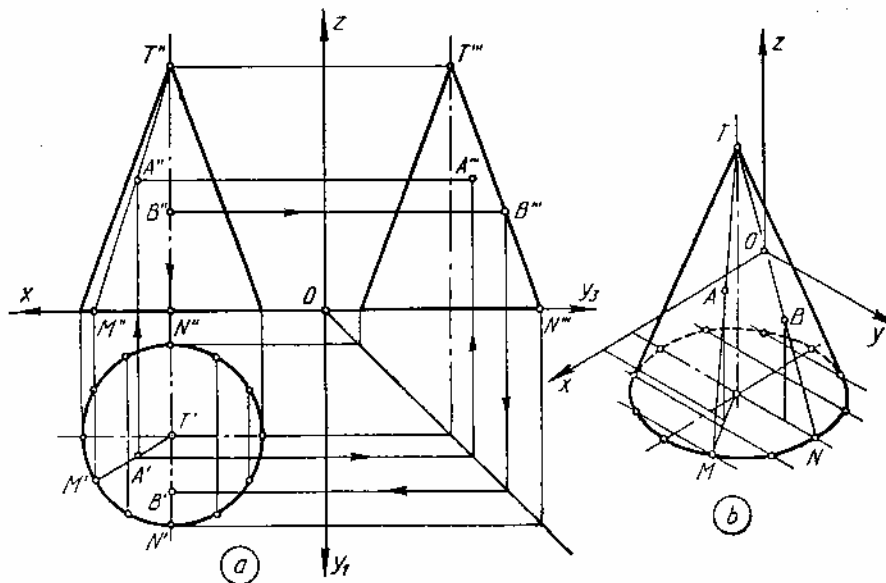
Joonis 8.20

Koonus tekib kolmnurgakujulise tasapinnatüki pöörlemisel ümber ühe kaateti (joonis 8.21 a). Kui koonuse tipp ära lõigata põhjaga paralleelse tasapinnaga, saadakse tüvikoonus (joonis 8.21 b).



Joonis 8.21

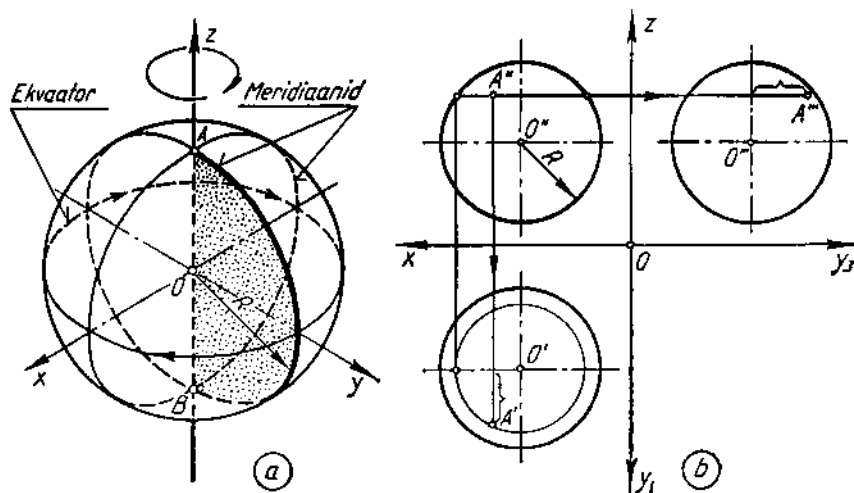
Koonuse kolmvaade ja ristosomeetriline kujutis ning koonuse välispinnal asuvate punktide A ja B asukohtade leidmine erinevatel vaadetel on toodud joonisel 8.22 *a* ja *b*.



Joonis 8.22

Kera tekib poolringikujulise tasapinnatüki pöörlemisel ümber telje, mis ühtib poolringi diameetriaga (joonis 8.23 *a*). Kera pinda nimetatakse *sfäärriks*. Sfääri lõikamisel pöörlemisteljega ristiolevate tasanditega tekkivaid ringjooi nimetatakse *paralleelideks*. Kõige suurema läbimõõduga paralleeli, mis tekib kera keskpunkti läbiva tasandiga lõikamisel, nimetatakse *ekvaatoriks*. Sfääri lõikamisel pöörlemistelge läbivate tasanditega tekkivaid ringjooi nimetatakse *meridiaanideks*.

Kolmvaates on kera kujutisteks kõigil ekraanidel ühesuguse läbimõõduga ring (joonis 8.23 *b*).



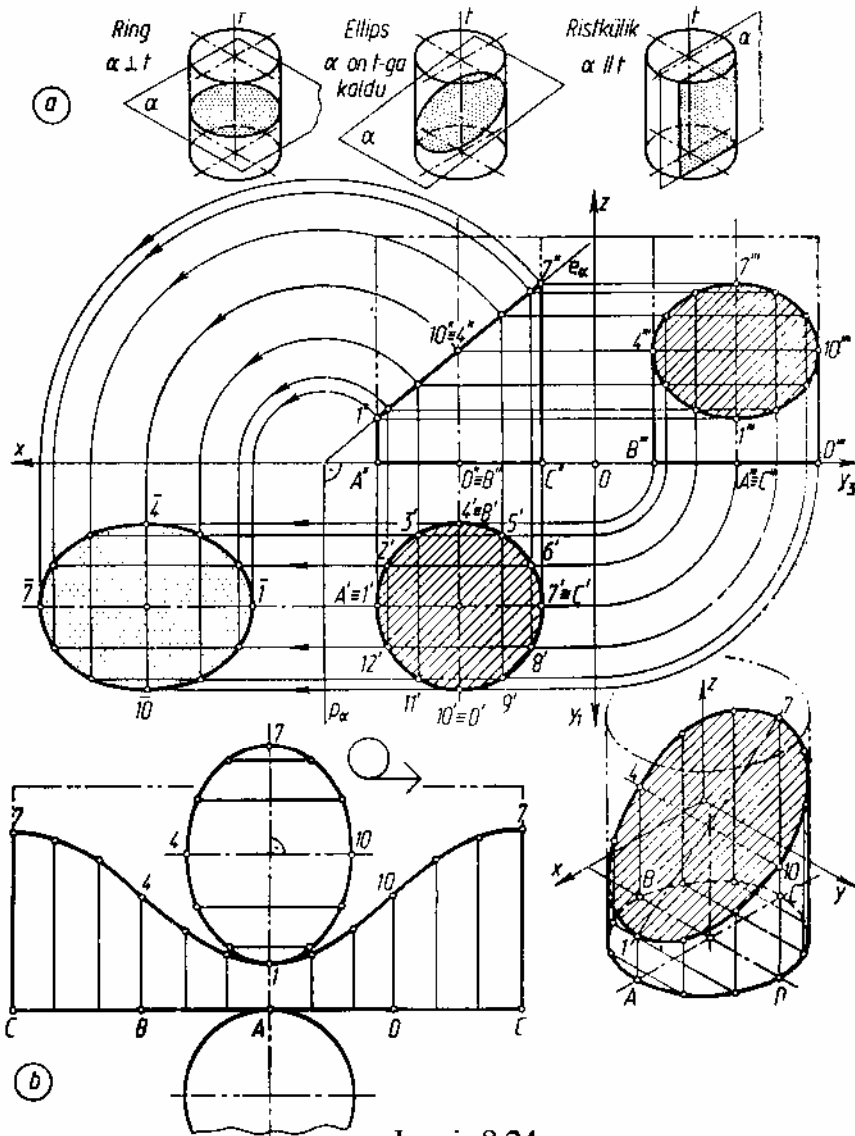
Joonis 8.23

Rõngas tekib ringikujulise pinnatüki pöörlemisel ümber ringi tasandis asuva telje (joonis 8.17 *a*). Rõnga ristosomeetrilisel kujutisel on ilmekuse huvides veerand rõngast välja lõigatud. Pöörlemistelje t kalde tõttu ekraani suhtes on rõngast moodustav ring moondunud ellipsiks. Rõnga kaksvaade ja rõnga välispinnal asuva punkti A kaksvaade on näha joonise 8.17 *a* parempoolsel osal.

8.7. Pöördkehade lõikamine tasapinnaga

Pöördsilindri lõikamisel tasapinnaga võib lõikekujundiks olla sõltuvalt lõikepinna asendist kas ring, ellips või ristkülik (joonis 8.24 a).

Pöördsilindri lõikamist telje suhtes kaldu võetud tasandiga $\alpha(e, p)$, mis on võetud risti esiekraaniga $\alpha \perp \varepsilon_2$, on kujutatud kolmvaates ja ristisomeetrias joonisel 8.24 b. Samas on konstrueeritud pöördsilindri lõikest allapoole jääva osa pinnalaotus.

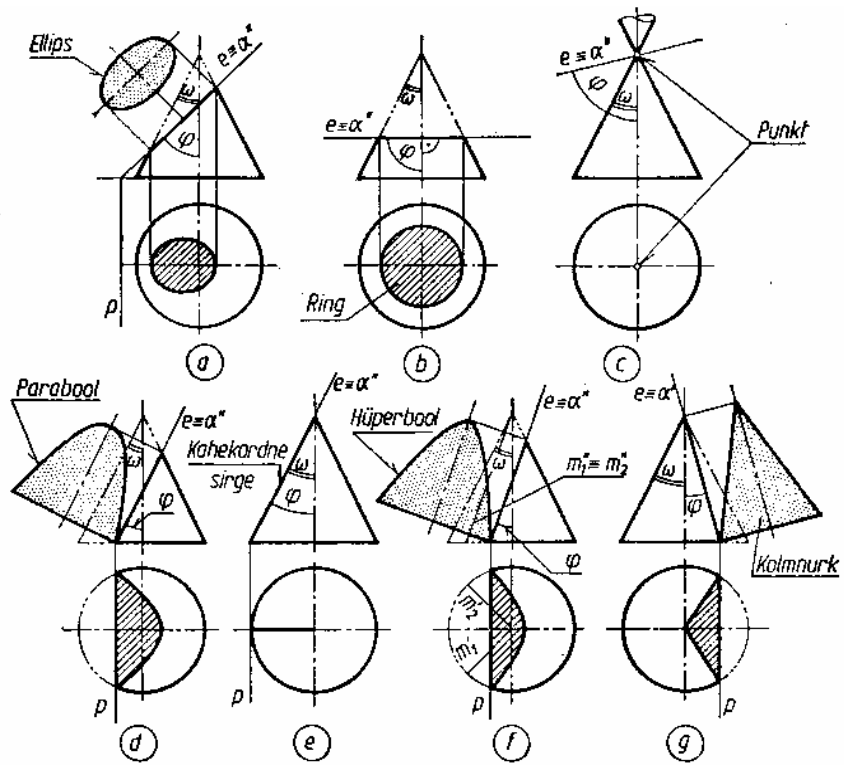


Joonis 8.24

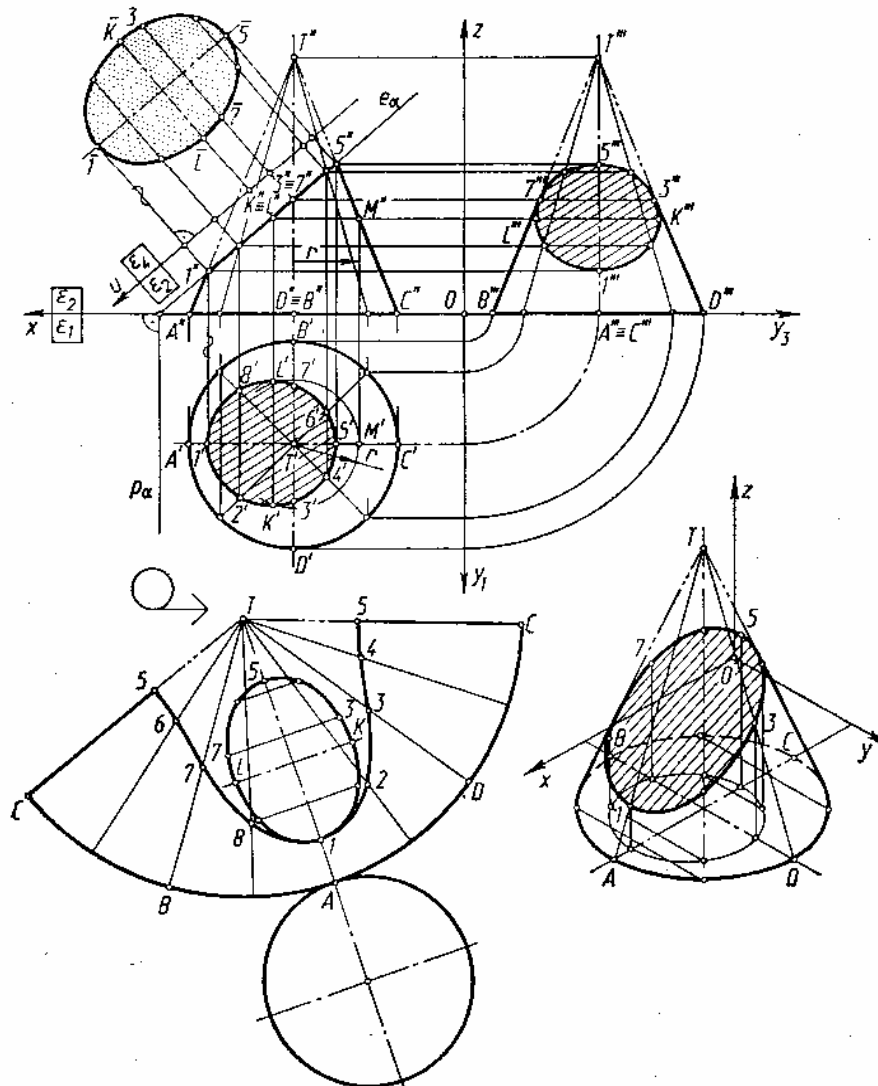
Pöördkoonuse lõikamisel tasapinnaga tekkivaid lõikekujundeid nimetatakse koonuslõigeteks. Need võivad olla ellips, parabool, hüperbool, ring, kolmnurga haarad, kahekordne sirge, punkt (joonis 8.25). Joonisel on pöördkoonuse telg paralleelne esiekraaniga ja lõiketase α temaga risti.

Pöördkoonus on lõigatud esiekraani suhtes projekteeriva tasandiga $\alpha(e, p)$, mis lõikab kõiki koonuse moodustajaid (joonis 8.26). Tekkinud lõikekujundit piirav ellips projekteerub esiekraanile sirglõiguks $I''5''$, mis on ühtlasi ellipsi pikema telje $I5$ originaalpikkuseks. Ellipsi lühem telg KL projekteerub eestvaates lõigu keskohta punktiks $K''=L''$.

Lõikekujundi pealt- ja vasakultvaadete leidmiseks on võetud appi moodustajad. Selleks on koonuse põhjaringjoon jaotatud 8-ks võrdseks osaks. Jaotuspunktide järgi



Joonis 8.25



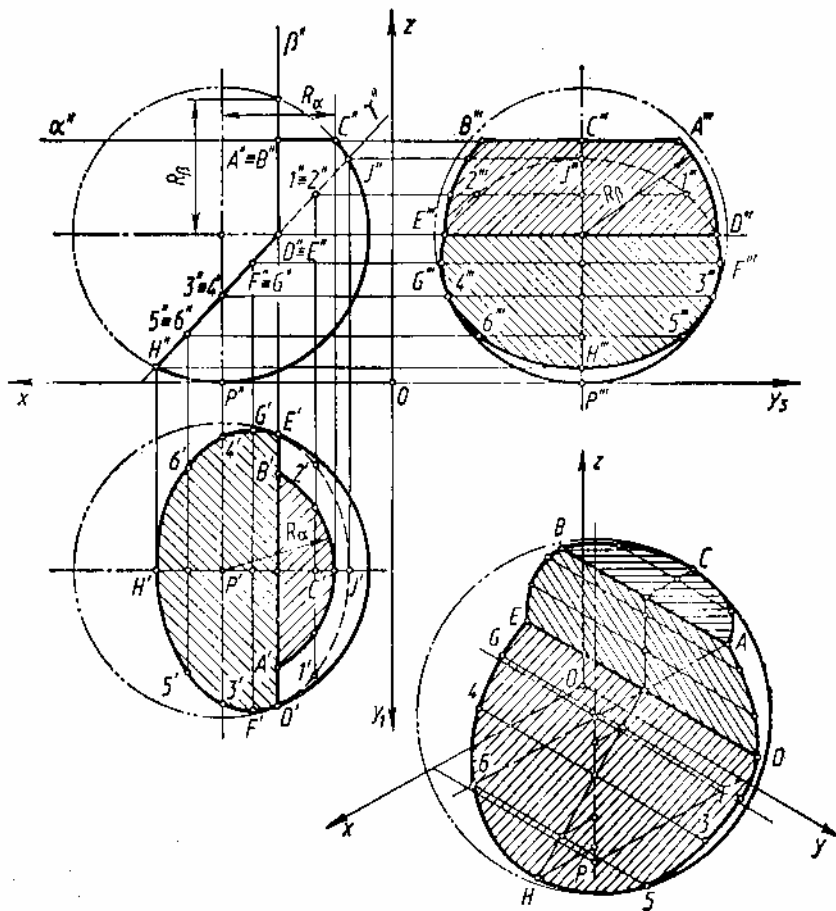
Joonis 8.26

kõikides vaadetes tõmmatud moodustajad on koonuse sisse mõtteliselt kujundatava püramiidi külgservade projektsioonideks. Lõikekujundi originaalvorm on leitud lisaekraani võttega.

Pinnalaotuse saamiseks on kõigepealt konstrueeritud terve koonuse pinnalaotus. Seejärel on 8-le moodustajale kantud nende lõigatud osade tõelised pikkused. Selleks on nad enne pinnalaotusele viimist pööratud äärmisesse asendisse, kus moodustaja saab ekraaniga paralleelseks. Lõpuks on külgpinnalaotusele juurde joonestatud lõikekujundi originaalvorm ja koonuse põhjaring.

Ristisomeetrilise kujutise konstrueerimisel on samuti kõigepealt tehtud terve koonuse kujutis ja siis lõikekujundi pealtvaade.

Kera lõikamisel esiekraaniga ristiolevate tasapindadega α , β ja γ saadakse lõikekujundite eestvaadeteks sirglõigud (joonis 8.27). Kuna $\alpha \parallel \varepsilon_1$, siis selle tasandiga saadud lõikeringi osa – segment ABC – projekteerub põhiekraanile moondevabalt. Et $\beta \parallel \varepsilon_3$, siis lõikeringi osa $ABED$ projekteerub külgekraanile moondevabalt. Kolmas tasand γ on põhiekraani suhtes kaldu ja annab lõikeringi kujutiseks nii pealt- kui ka vasakultvaates ellipsi.



Joonis 8.27

9. KONSTRUKTSIOONIDOKUMENTATSIOON

9.1. Toodete liigid

Masinaehituses eristatakse järgmisi toodete liike: detail, koost, kompleks ja komplekt.

Detail on toode, mis on valmistatud üht liiki materjalist koostamisoperatsioone kasutamata. Detail on toote algosa, millest väiksemat üksust ei ole. Tema juures võib eristada üksikuid elemente.

Koost on toode, mille koostisosad (detailid) ühendatakse valmistajaettevõttes lahtivõetavate ja kinnisliidete abil.

Kompleks on toode, mille koostisosad moodustavad ühtse eksploatatsioonilise terviku, kuid mida ei ole valmistajaettevõttes koostamisoperatsioonidega ühendatud.

Komplekt on kaks või enam ühise talitlusliku otstarbega, kuid koostamisoperatsioonidega ühendamata toodet, mille otstarve tavaliselt on abistava iseloomuga.

Seerialisuse järgi eristatakse:

- Üksiktoode – valmistatud üksiktootmise tingimustes ühe või mitme eksemplarina;
- Seeriatode – valmistatud seeriatootmise tingimustes perioodiliselt korduvate seeriatena;
- Hulgitode – valmistatud hulgitootmise tingimustes.

Valmistajaettevõtte seisukohalt eristatakse:

- Põhitode – kuulub ettevõtte toodangu nomenklatuuri turustamiseks;
- Abitode – vajalik ainult ettevõttele endale põhitoodangu valmistamisel;
- Ostutode – ettevõtte saab valmiskujul ja see on valmistatud tarnija dokumentatsiooni järgi;
- Standardtoode – kasutatakse riikliku (või muu) standardi alusel, mis määrab toote omadused.

9.2. Konstruksioonidokumentatsiooni liigid

Enne toote valmistamist koostatakse tema kohta konstruksioonidokumentatsioon. Selle hulk oleneb toote liigist ja seerialisusest. Konstruksioonidokumentatsioon on dokumentide kogum, mis sisaldab toote valmistamiseks, kontrollimiseks ja kasutamiseks vajalikke andmeid.

Eristatakse graafilisi - ja tekstidokumente.

Olulisemad tekstidokumendid on:

- **Andmik** – sisaldab teatud staadiumi projekti koosseisu kuuluvate konstruksioonidokumentide loetelu;
- **Seletuskiri** – sisaldab toote ehituse ja tööpõhimõtte kirjelduse ja kasutatud lahenduste tehnilise ning majandusliku põhjenduse;
- **Tehnilised tingimused** – sisaldavad toote kui terviku kohta kehtivaid üldisi nõudeid, määravad nende kontrolli meetodid ning vastuvõtu ja turustamise tingimused;
- **Arvutus** – sisaldab toote või tema osade parameetrite väärtuste arvutuse;
- **Spetsifikatsioon** – määrab toote ja tema kohta koostatud konstruksioonidokumentide koosseisu ning on ette nähtud toote või tema dokumentide komplekteerimiseks;
- **Kasutamisinstruktsioon** – toote säilitamise, transportimise, tööks ettevalmistamise ja sihipärase kasutamise eeskirju ning toote pidevaks töökorras hoidmiseks ja tehniliste võimaluste täielikuks ärakasutamiseks vajalikke lisaandmeid sisaldav eksploatatsioonidokument;
- **Toote pass** – fikseerib toote põhilised kvaliteedinäitajad ja tehnilised omadused ning samuti tootjaettevõtte garantiikohustused ja reklamatsioonide esitamise korra;
- **Eksploatatsiooni juhend** – sisaldab toote eksploatatsiooniks vajalikke juhendeid;
- **Remondi juhend** – sisaldab remondi ettevalmistamiseks, läbiviimiseks või toote kontrollimiseks pärast remonti vajalikke andmeid.

Olulisemad **graafilised konstruktsioonidokumentid** on:

- Joonis – sisaldab andmeid toote konstruktsiooni, kontuuri, mõõtmete ning koostisosade vastastikuse asendi määramiseks, aga samuti toote valmistamiseks, kontrollimiseks ja kasutuskohas ülesseadmiseks vajalikke andmeid;
- Skeem – esitab toote koostisosi ja nendevahelisi seoseid tinglike kujutiste (tingmärkide) abil;
- Üldjoonis – määrab toote konstruktsiooni ja tema põhiosade koostöö ning seda kasutatakse tööpõhimõtte selgitamiseks;
- Gabariidijoonis – näitab lihtsustatult ainult toote kontuuri, samuti liikuvate osade äärmisi asendeid ning gabariit-, paigaldus- ja ühendusmõõtmeid;
- Detailijoonis – sisaldab detaili kujutise ja kõik vajalikud andmed (mõõtmed, pinnakaredused jm) tema valmistamiseks ja kontrollimiseks;
- Koostejoonis – sisaldab toote koostisosade vastastikust asendit ja seoseid määrava kujutise ning kõik andmed, mis on vajalikud koostu koostamiseks ja kontrollimiseks;
- Montaazijoonis – sisaldab toote üksikosade lihtsustatud kujutisi ning kõik vajalikud andmed toote paigaldamiseks.

9.3. Tootmise staadiumid

Tootmise ettevalmistamisel eristatakse mitmeid staadiume, mille käigus koostatakse mitut liiki erinevaid dokumente.

Tehnilise ülesande staadiumis valmib dokument, kus fikseeritakse toote talituslik ülesanne ja kvaliteedinäitajad. Samas määratakse kindlaks tehnilised, majanduslikud ja erinõuded tootele ning konstruktsioonidokumentatsiooni koosseisule ja mahule.

Tehnilise ettepaneku staadiumis põhjendatakse tehnilise ülesande ja olemasoleva olukorra analüüsi alusel toote loomise tehniline ja majanduslik otstarbekus ning olemasolevate lahendusvariantide analüüsi ning võrdluse alusel valitakse kavandatava toote põhimõtteline lahendus.

Eskiisprojekt määrab toote põhilise konstruktiivse lahenduse ja annab üldise ettekujutuse selle ehitusest ning tööpõhimõttest, samuti andmed toote põhiliste parameetrite, gabariitide ja otstarbe kohta.

Tehniline projekt määrab toote lõpliku tehnilise lahenduse ja annab toote ehitusest täieliku ettekujutuse ning lähteandmed töödokumentatsiooni koostamiseks.

Töödokumentatsioon on ette nähtud toote valmistamise, kontrollimise ja eksploatatsiooni organiseerimiseks.

9.4. Dokumentide liigid

Olenevalt valmistamise ja kasutamise viisist eristatakse järgmisi dokumente.

Eskiis on joonis, mis on valmistatud joonestusvahenditeta käepärast olevale materjalile mõõtkavale tähelepanu pööramata. Tavaliselt eelneb eskiisi tegemine toote tööjooniste valmistamisele, kuid korralikku ja kõigi andmetega varustatud eskiisi võib tarvitada ka otse toote valmistamisel.

Originaal on esmane konstruktsioonidokument, mis on tehtud mistahes materjalile ja mis on ette nähtud selle järgi algise valmistamiseks.

Algis on tehtud mistahes mitmekordset kopeerimist võimaldavale materjalile ning kinnitatud dokumendi õigsuse eest vastutavate isikute originaalallkirjadega.

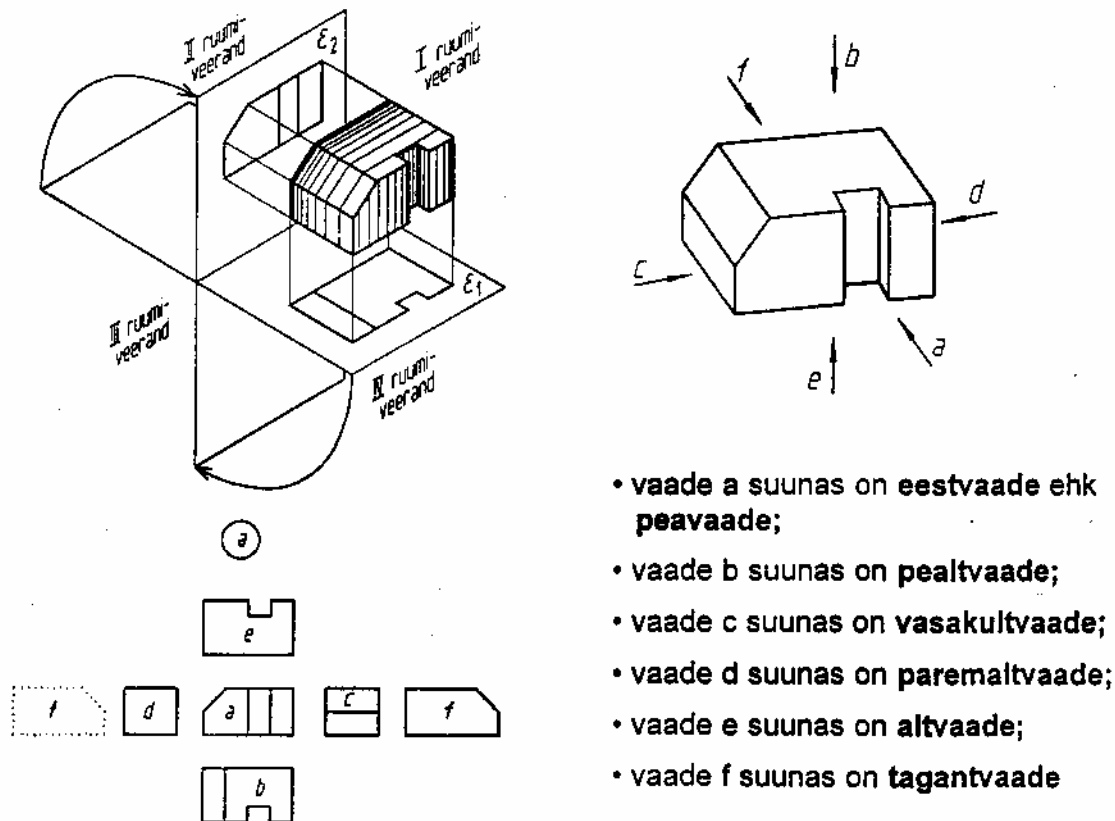
Duplikaat on identne algisega ja tehtud mistahes mitmekordset kopeerimist võimaldavale materjalile.

Koopia on identne algisega või duplikaadiga ja on ette nähtud tegelikult kasutamiseks toote projekteerimisel, valmistamisel, eksplateerimisel ja remondis.

10. KUJUTISED

Olulist informatsiooni mistahes tehnilise objekti kohta annavad kujutised (vaated, lõiked, ristlõiked) ja mitmesugused kokkuleppelised tingmärgid. Standard ISO 128 määrab kujutamise üldpõhimõtted peamistes tehnikavaldkondades (mehaanika, elekter, arhitektuur, ehitus jt). Lisaks sellele kehtivad igas valdkonnas veel eristandardid.

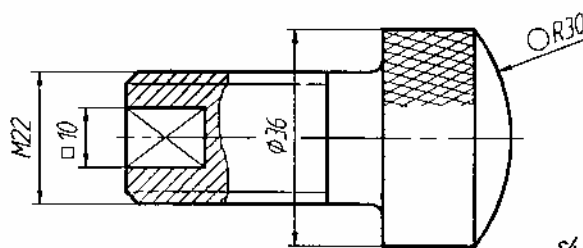
Kujutised tehnilisel joonisel esitatakse ristprojektsioonis omavahel mõtteliselt seotud projektsioonide näol. Kujutamisel eeldatakse, et ese asub esimeses ruumiveerandis vaateleja ja ekraani vahel (joonis 10.1). Niisugust kujutamiskiivi nimetatakse projekteerimiseks esimese ruuminurga meetodil, mida kasutatakse peamiselt Euroopa riikides. Meetodi tähis tehakse joonise kirjanurga vastavasse lahtrisse (joonis 1.7).



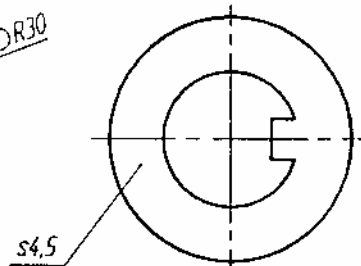
Joonis 10.1

Tehnilisel joonisel ei näidata ekraanide piirjooni ega ekraanide ühisjooni – telgi x, y ja z. Ei näidata ka kujutistevahelisi sidejooni nagu seda tehti kujutavas geometrias.

Objekti iseloomustavate kujutiste hulk joonisel peab olema minimaalne, kuid piisav objekti üheseks määramiseks ja kõikide mõõtmete näitamiseks. Näiteks joonisel 10.1 toodud detaili õigeks kujutamiseks piisab kahest vaatest (eest- ja pealtvaatest, a ja b). Vajalike kujutiste hulka võib mõnikord vähendada tingmärkide, nagu \emptyset – läbimõõt, \square – ruut, O – sfäär, l – pikkus, s – paksus, kasutamisega mõõtarmude ees. See võimaldab joonistel 10.2 ja 10.3 toodud detaile määrata ainult ühe kujutisega.



Joonis 10.2



Joonis 10.3

10.1 Vaated

Vaade on kujutis vaatleja poolt paistvatest objekti pinnaosadest – nähtavatest kontuuridest. On lubatud näidata kriipsjoonega ka varjatud, so sisemisi kontuure. Et aga lõigetes ja ristlõigetes muutuvad objekti sees olevad kontuurid nähtavaks, siis tööjoonistel varjatud kontuure reeglina kriipsjoonega ei näidata. Joonis tuleb sel juhul loetavam.

10.1.1 Projektsiooniliselt seotud vaated

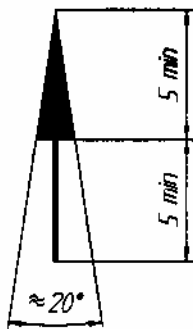
Joonisel 10.1 on näidatud 6 võimalikku objekti poole sihitud põhilist vaate suunda. Samas on toodud ka vaadete nimetused.

Kujutised paigutatakse joonisel peakujutise keskselt. Peakujutiseks valitakse objekti kõige paremini iseloomustav kujutis. Põhilistest vaadetest on selleks tavaliselt eestvaade. Teised kujutised orienteeritakse eestvaate kui peavaate suhtes joonisel 10.1 näidatud viisil. Sel juhul vaateid ei pealkirjastata.

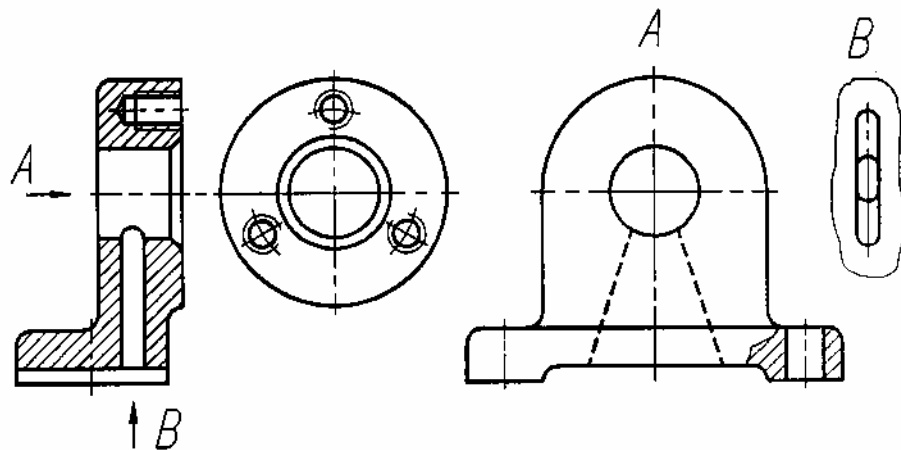
10.1.2 Projektsiooniliselt sõltumatud vaated

Kui kujutised joonisel ei asetse nii, nagu esimese ruuminurga meetodiga on ette nähtud, siis tuleb kasutada vaate suunda näitavaid nooli (joonis 10.4) koos ladina tähestiku algusest võetud suurtähtedega. Sama suurtäht kirjutatakse vastava vaate kohale joonisel olevatest mõõtarmudest kaks korda suurema kirjaga ja joonise kirjanurga suhtes paralleelselt.

Sel juhul võivad vaated olla peakujutise suhtes nihutatud, asetseda erinevatel lehtedel või neid eraldab mõni kolmas kujutis (joonis 10.5).

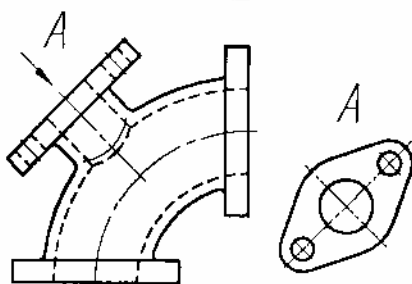


Joonis 10.4

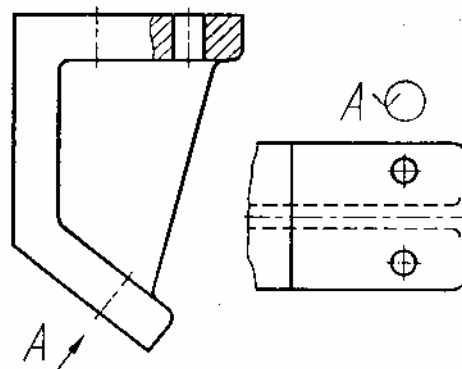


Joonis 10.5

Kui objekti mõni element põhilistes vaadetes projekteerub moonutatud kuju ja mõõtmetega, tuleb kasutada lisavaadet (joonis 10.6). Sel juhul tuleb noole ja tähega ära näidata vaate suund, saadav kujutis tähistatakse sama tähega. Kui lisavaade on joonestatud pööratud asendis, tehakse kujutise tähise juurde pööramise märk (joonis 10.7).



Joonis 10.6

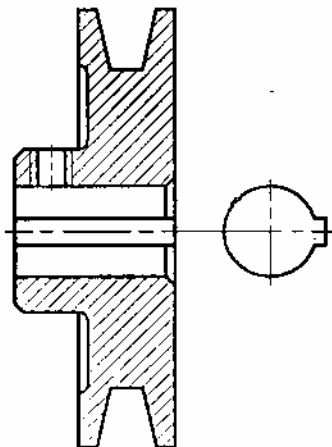


Joonis 10.7

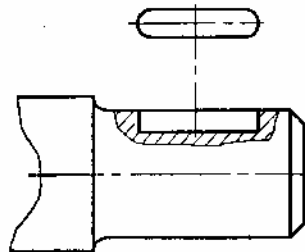
10.1.3 Osalised – ja kohtvaated

Kui objekti mõni element vajab üksikasjalikumat selgitust, siis võib teha sellest elemendist eraldi vaate. See osaline vaade ümbritsetakse pideva peenjoonega (joonis 10.5, vaade B) või murretega peenjoonega (joonis 10.22).

Kui objekti mõni sümmeetriline element on ühemõtteliselt arusaadav geomeetriline vorm, siis võib selle üksi esitada kohtvaatena. Kohtvaade seotakse tema põhikujutisega kriipspunkt-peenjoonega ja joonestatakse välja pideva jämejoonega kolmanda ruuminurga meetodil ehk Ameerika süsteemis - pealtvaade asetseb eestvaate kohal, vasakultvaade eestvaatest vasakul jne (joonis 10.5, viirutatud peakujutisest paremal asuv ja temaga telgjoone abil seotud kujutis; joonised 10.8 ja 10.9).



Joonis 10.8



Joonis 10.9

10.2 Lõiked

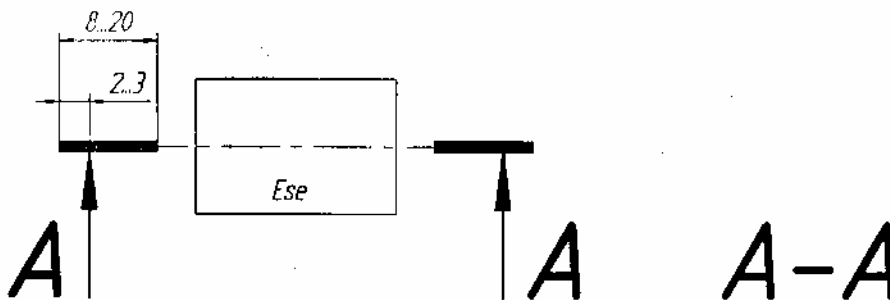
Kui objekti sees on avasid või süvendeid, siis võib tema ühe osa tingliku eemaldamisega muuta objekti sisu nähtavaks. Nii saadakse lõige. Lõige on kujutis, mis saadakse objekti mõttelisel lõikamisel ühe või mitme tasapinnaga.

Objekti lõigatud pinnad viirutatakse, kusjuures viirutuse kujuga saab iseloomustada objekti valmistamiseks kasutatud materjali liiki (joonis 10.9).

Lõikel näidatakse mitte üksnes objekti seda osa, mis jääb lõikepinnale, vaid ka neid kontuure, mis projekteeruvad vaatenähtavale lõikepinna taha.

Lõike tegemine ühes kujutises ei kohusta seda tegema tingimata teises. Lõige kuulub ainult vaadeldava kujutise juurde.

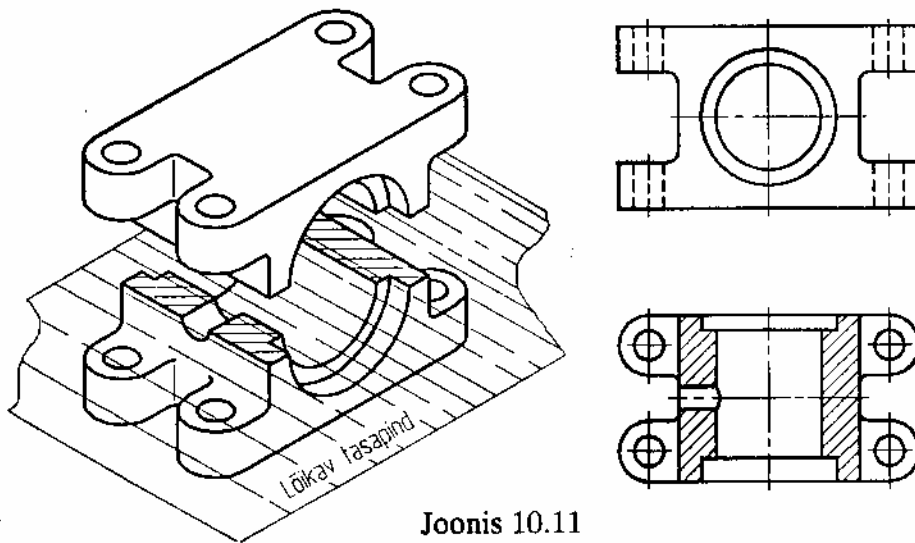
Lõiked tähistatakse ja pealkirjastatakse. Lähtekujutise juures näidatakse lõikava pinna kulgemist kriipspunkt-peenjoonega, mis on otstes ja võimalikes murdekohtades jämedam. Otstes olevad jämedad kriipsud peavad jääma kujutisest veidi eemale, et mitte lõigata objekti kontuure. Kriipsude vastu, nendega risti, toetuvad vaate suunda näitavad nooled. Kummagi noole juurde kirjutatakse lõike tähisena mõõtaruudest kaks korda suuremad suurtähed (joonis 10.10). Samad kriipsuga eraldatud tähed märgitakse ka lõikekujutise kohale.



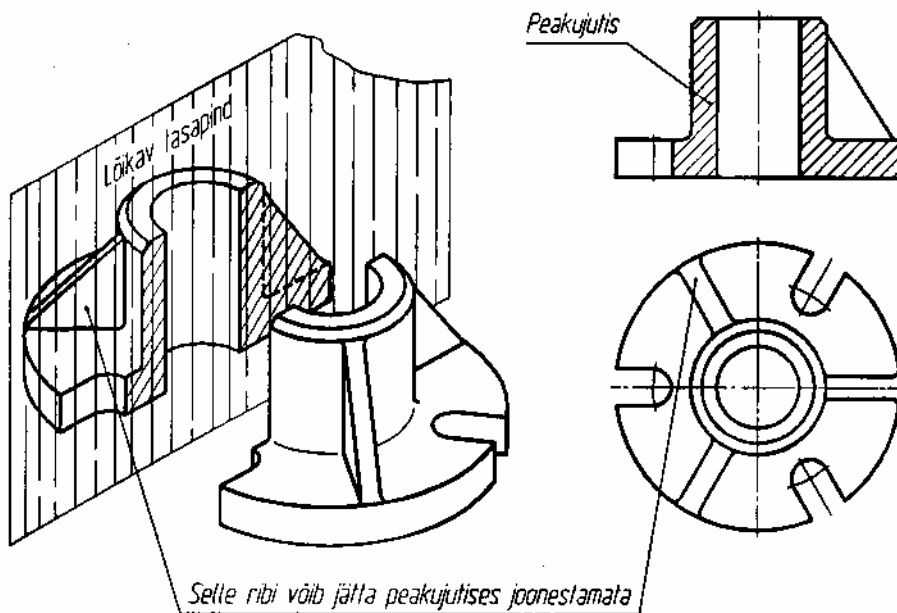
Joonis 10.10

10.2.1 Lõiked ühe tasapinnaga

Lihtsamatel juhtudel võib objekti sisemist ehitust selgitada vaid ühe tasapinna abil tehtud lõikega. Kui lõikepinna asend on ilmne ja lõige ise üheselt mõistetav, siis lõiget ei tähistata ega pealkirjastata (joonised 10.11 ja 10.12). Keerulisematel juhtudel aga lõiked tähistatakse ja pealkirjastatakse (joonis 10.13).



Joonis 10.11

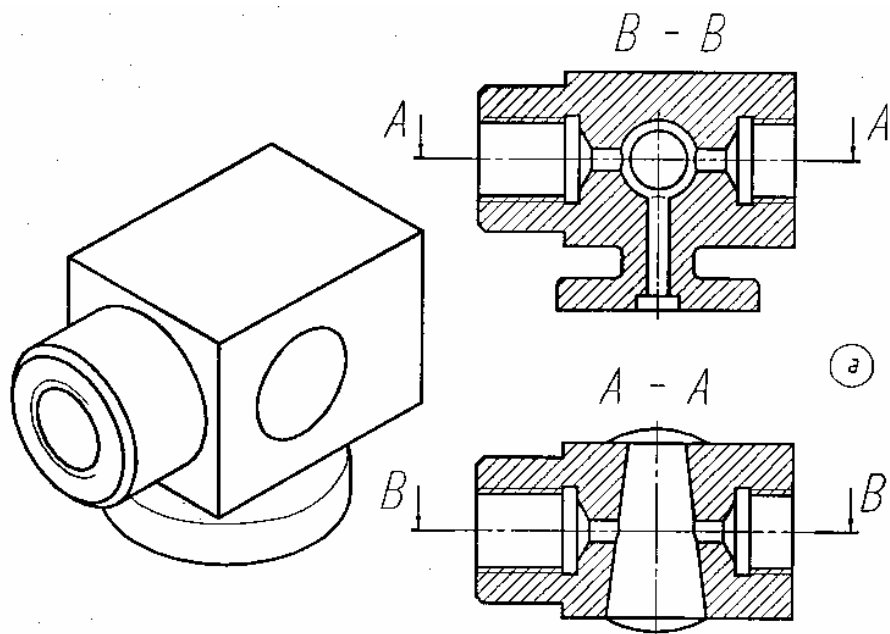


Joonis 10.12

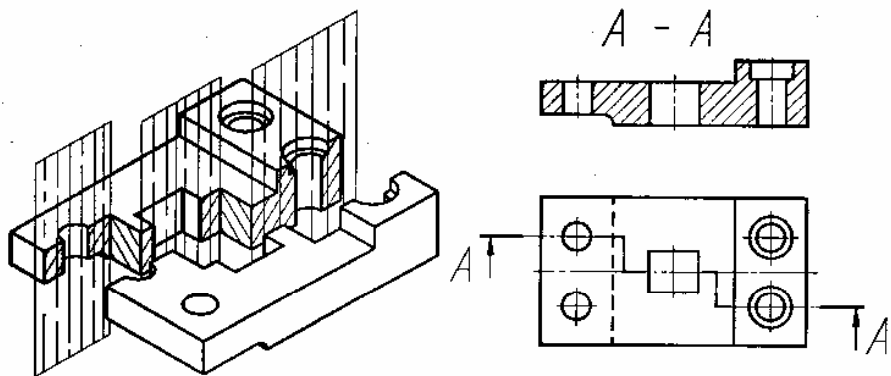
10.2.2 Lõiked mitme tasapinnaga

Lõikavate tasapindade asendi järgi eristatakse astmelisi ja murdlõikeid. Mõlemal juhul tuleb jämedate kriipsudega ära näidata lõikava pinna kulgemise muutusi: astmelisel lõikel - astmete koht, murdlõikel – murde koht.

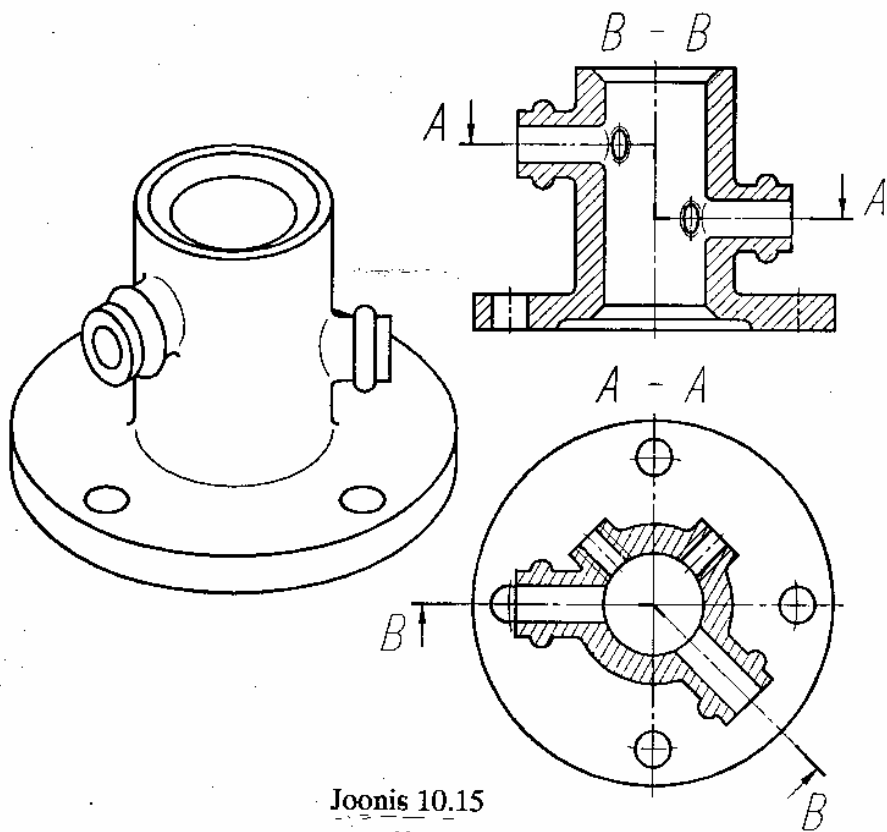
Astmelisel lõikel paiknevad lõikepinnad astmeliselt ja on objekti läbides üksteisega paralleelsed. Kõikidele astmetele langevaid elemente kujutatakse ühel tasapinnal asuvatena, kusjuures astmete vahejooni välja ei joonestata (joonised 10.14 ja 10.15 lõige A-A).



Joonis 10.13



Joonis 10.14



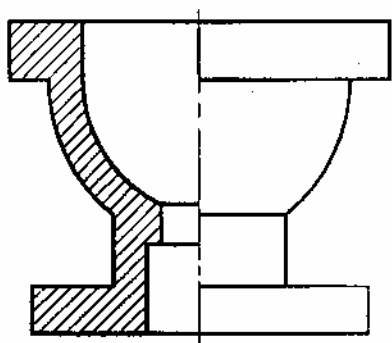
Joonis 10.15

Murdlöike puhul lõikepinnad lõikuvad omavahel mingi nurga all. Nad asetatakse läbi objekti sümmeetriliste elementide telgjoonte (joonis 10.15 lõige *B-B*). Murdlöikel pööratakse lõikepinnad mõtteliselt ühte projektsioonipinda, et vältida kujutamisel tekkivat moonet. Lõikepinna pööramisel joonestatakse tema taha vaatesse jäävad elemendid välja sellistena, nagu nad projekteeruksid vastavale tasapinnale, milleni lõikepind pööratakse.

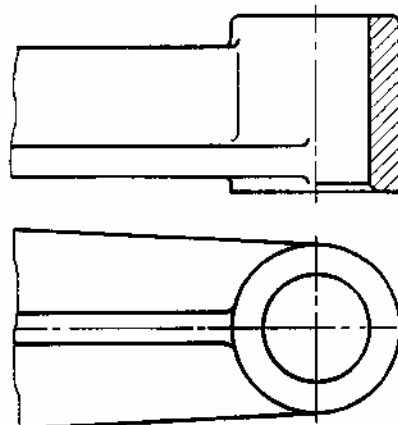
10.2.3 Vaatega ühendatud lõiked

Vaatega ühendatud lõike puhul ei lõigata objekti mitte terves ulatuses vaid ainult teatud osas, joonestades lõigatud osa kokku lõikamata jäänud vaateosaga. Sisuliselt on tegemist ühe tasapinnaga tehtava lõikega. Eristatakse poolvaatlõiget ja kohtlõiget.

Poolvaatlõige tehakse ainult sümmeetrilistest kehadest, kusjuures vaate ja lõikeosa eraldusjooneks on sümmeetriatelg (joonis 10.16). Poolvaatlõiget ei tähistata. Poolvaatlõikes võib kujutada ka selliseid objekte, mis tervikuna ei ole sümmeetrilised, kuid omavad pöördkeha näol sümmeetrilist elementi (joonis 10.17).



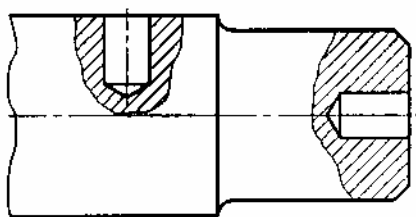
Joonis 10.16



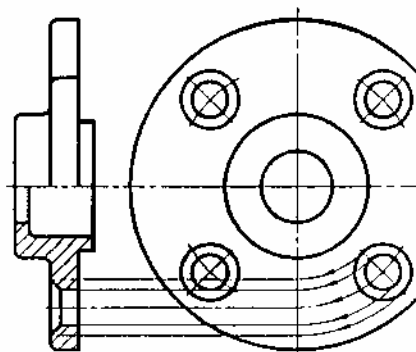
Joonis 10.17

Kohtlõige tehakse objekti konstruktsiooni näitamiseks ühes kitsalt piiratud kohas. Kohtlõige eraldatakse vaateosast kas pideva peene vabakäejoonega (joonis 10.18) või murretega peenjoone abil. Kohtlõiget ei tähistata.

Äärikute joonised tehakse tavaliselt poolvaatlõikena, kusjuures üks ääriku avadest tuuakse tinglikult lõikesse isegi kui teda ei läbi lõiketaset (joonis 10.19).



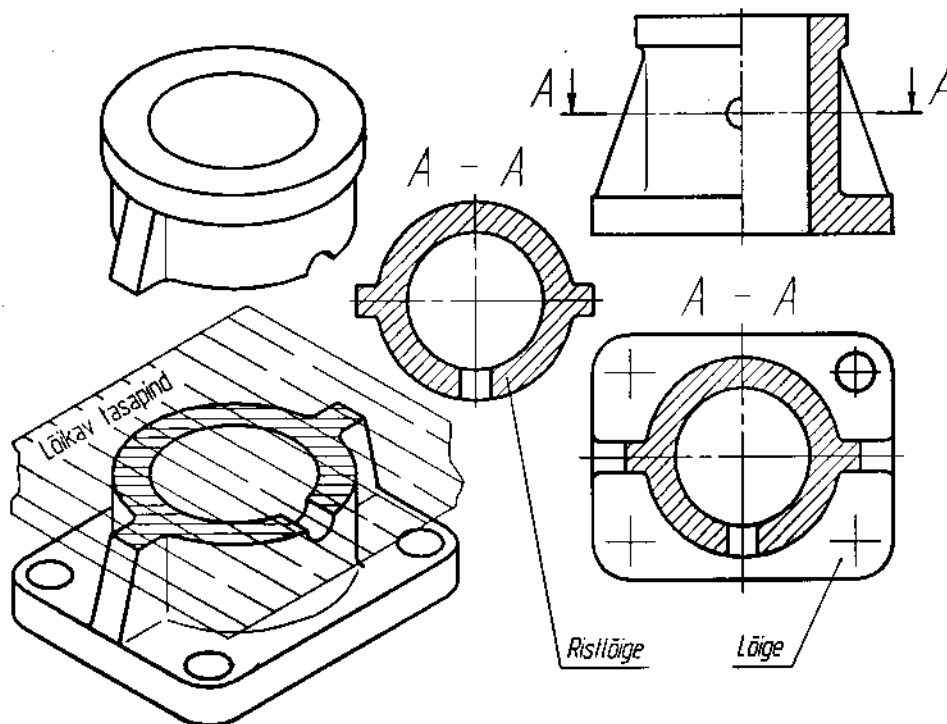
Joonis 10.18



Joonis 10.19

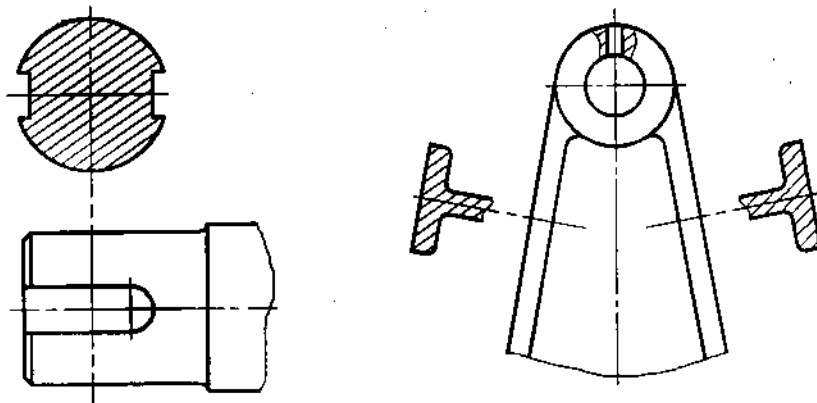
10.2.4 Ristlõige

Ristlõige on kujutis, mis saadakse objekti mõttelisel läbilõikamisel tasapinnaga. Ristlõikel (erinevalt lõikest) näidatakse reeglina vaid neid elemente, mis langevad vahetult lõikavale pinnale (joonis 10.20).



Joonis 10.20

Ristlõige peab selgitama objekti läbilõigatud koha geomeetrilist kuju moondevabalt. Seepärast valitakse lõikava pinna asend objekti telgjoone või servade suhtes risti (joonis 10.21).

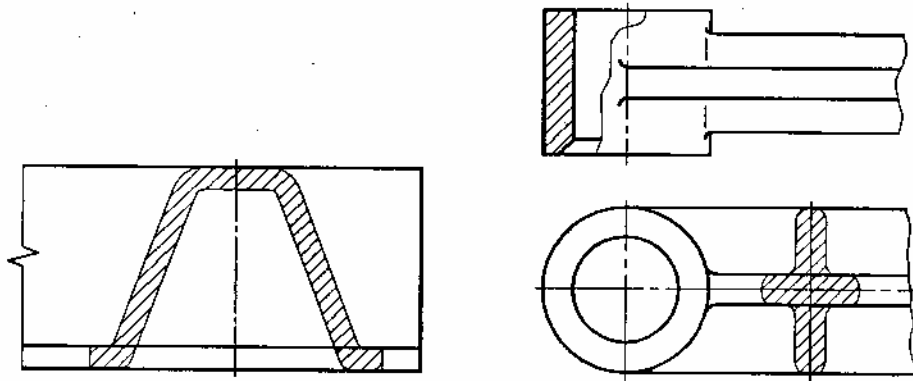


Joonis 10.21

Ristlõike ja lõike tähistamisel ja pealkirjastamisel kehtivad samad reeglid (joonis 10.20). Eristatakse kaht liiki ristlõikeid: väljatoodud ja pealejoonestatud ristlõiget.

Väljatoodud ristlõige joonestatakse välja pideva jämejoonega. Joonisel seotakse ta kriipspunkt-peenjoone abil lähtekujutisega (joonis 10.21). Sellist ristlõiget ei tähistata. Muudel juhtudel väljatoodud ristlõiked tähistatakse ning pealkirjastatakse ja paigutatakse joonise vabale pinnale (joonis 10.20).

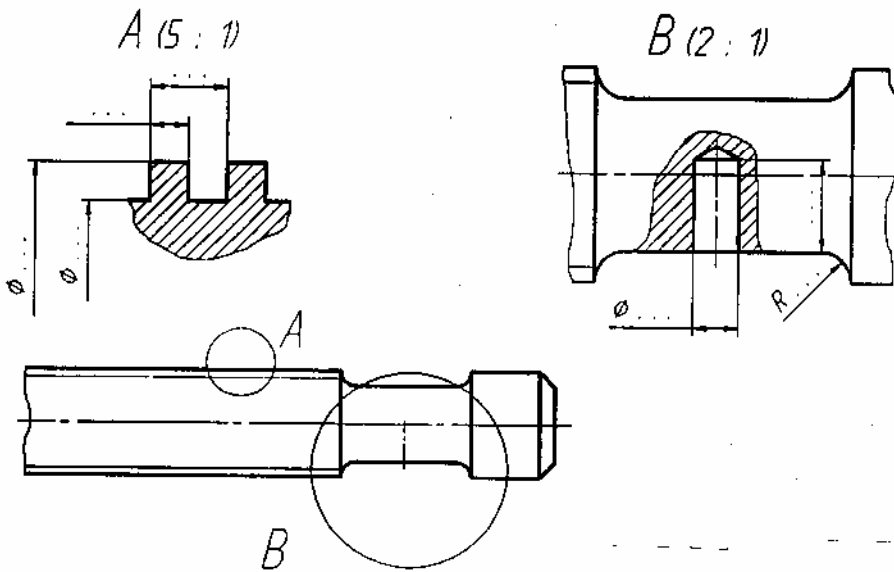
Pealejoonestatud ristlõige tehakse pideva peenjoonega vaatekujutise peale viimase kontuure katkestamata (joonis 10.22). Sellist ristlõiget ei tähistata.



Joonis 10.22

10.2.5 Väljatoodud element

Kui objekti kujutis joonisel on liiga väike, et selgitada tema geomeetriselise kuju üksikasju, või ei ole tema juurde võimalik kanda mõõtmeid, pinnakareduse näitajaid ja muud tarvilikku, siis tuleb vaadeldav element joonise vabale pinnale suurendatud mõõtkavas välja tuua (joonis 10.23).



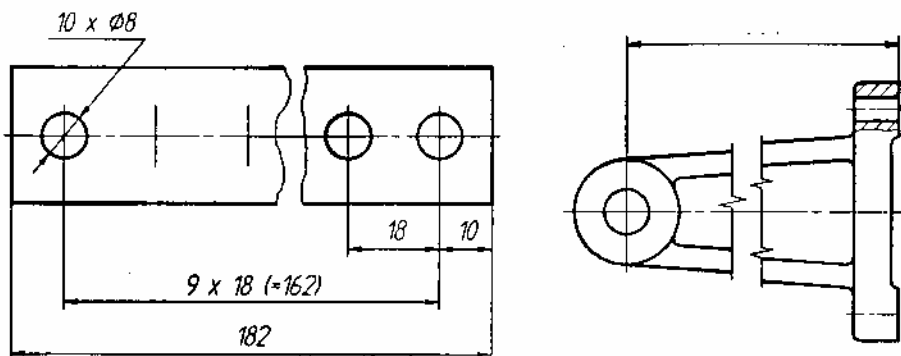
Joonis 10.23

Väljatoodud element võib sisaldada üksikasju, mis põhikujutisel, kust see element välja toodi, näiliselt puuduvad. Väljatoodud element võib erineda oma põhikujutisest ka sisu poolest (näiteks võib põhikujutis olla vaates, väljatoodud element aga lõikes). Põhikujutisel ümbritsetakse vastav koht ringiga, mis on tõmmatud pideva peenjoonega. Sinna juurde märgitakse tähisena mõõtaruvest kaks korda suurem suurtäht. Väljatoodud elemendi pealkirjaks on sama suurtäht koos sulgudes lisatud mõõtkavaga. Selline kujutis paigutatakse joonisel võimalikult põhikujutise lähedusse.

11.LIHTSUSTATUD JA TINGLIKUD KUJUTISED

11.1 Katkestused

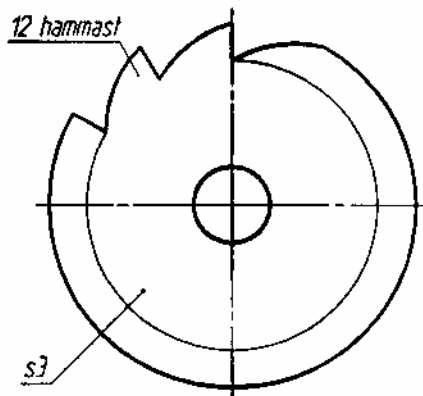
Ühtlase või ühtlaselt muutuva ristlõikega objekti (võll, varras, valtsprofiil jne) kujutamisel jäetakse osa objektist välja. Allesjäänud osad piiratakse katkestusjoonega (pideva vabakäejoonega või murretega peenjoonega) ja tuuakse üksteisele lähemale (joonis 11.1). Mõõtarvud näitavad objekti tegelikku pikkust, kusjuures mõõtjooned peavad olema katkestuseta.



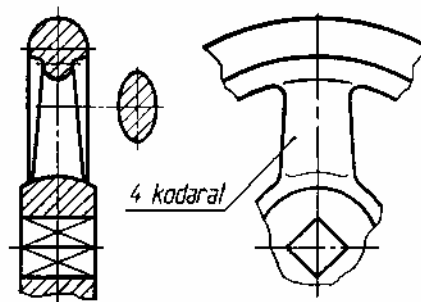
Joonis 11.1

11.2 Korduvad elemendid

Kui objektil on mitu ühesugust elementi, mille paigutuse korrapärasus on kergesti taibatav, siis selle objekti kujutisel joonestatakse neist elementidest välja ainult üks või mõned, ülejäänud aga näidatakse tinglikult või lihtsustatult (joonis 11.2, ketasfreesi hambad, joonis 11.1 avad). Objektist võib kujutada ka ainult teatud osa, märkides juurde korduvate elementide arvu (joonis 11.3).



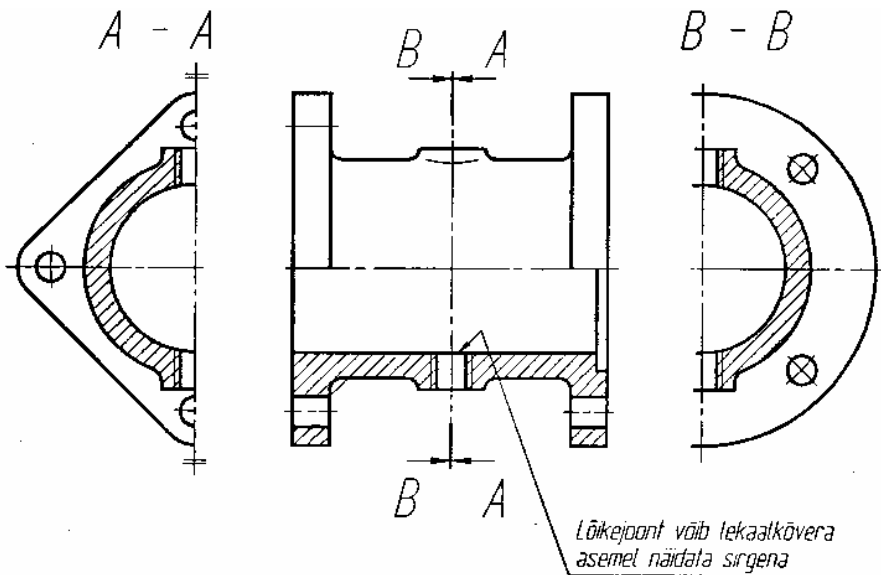
Joonis 11.2



Joonis 11.3

11.3 Sümmeetrilised kujutised

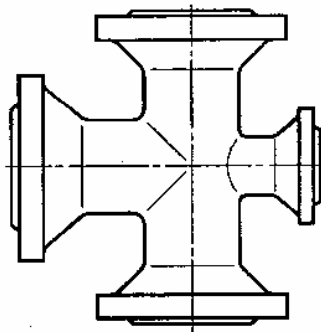
Kui objekt on sümmeetriline, siis võib temast kujutada ainult poole või veerandi. Seejuures tuleb sümmeetriatelje mõlemad otsad märgistada kahe paralleelse kriipsukesega (joonis 11.4 lõige A-A). Kui sümmeetrilise objekti kontuurid viia veidi üle sümmeetriatelje, siis võib kriipsukesed ära jätta (joonis 11.4 lõige B-B).



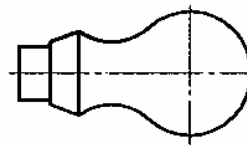
Joonis 11.4

11.4 Pindade lõikejooned

Pindade lõikejooni võib joonestada välja lihtsustatud kujul. Näiteks võib silindrite lõikejooni joonestada ringjoone kaartena (joonis 10.6) või koguni sirgetena (joonis 11.4). Viimane võtte sobib lõikuvate pöördpindade suure erinevuse korral. Sujuva ülemineku puhul ühelt pinnalt teisele võib kujuteldavaid lõikejooni näidata pideva peenjoonega, mis ei ulatu kontuurjooneni (joonis 11.5) või jätta hoopis näitamata (joonis 11.6).

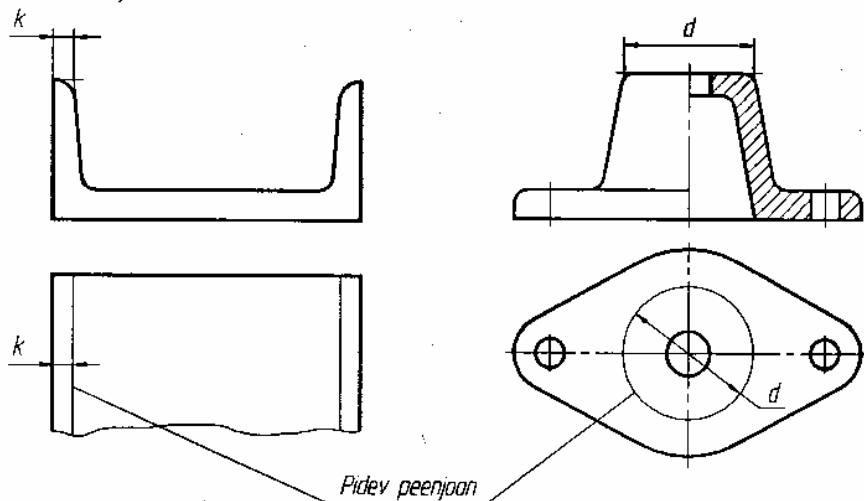


Joonis 11.5



Joonis 11.6

Objektidel, kus kalle või koonilisus ei avaldu eriti selgelt, tõmmatakse ainult üks pidev peenjoon, mis vastab projektsiooniliselt kaldega elemendi väiksemale mõõtmele (joonis 11.7).



Pidev peenjoon

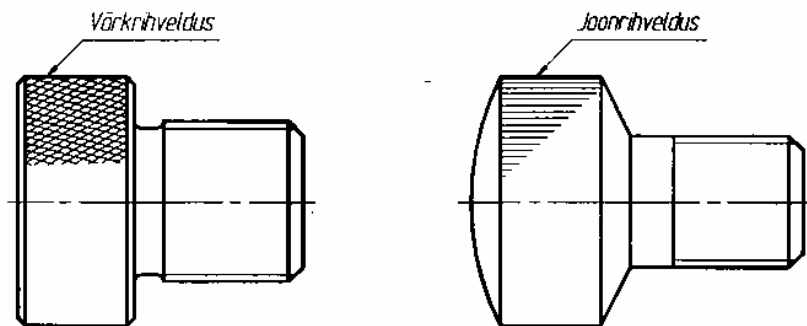
Joonis 11.7

11.5 Tasapinnaliste osade eristamine pöördpindadest

Tasapinnalised osad objekti pöördpindade läheduses võib tuua esile diagonaalsete pidevate peenjoontega (joonised 10.2, 11.3 jt).

11.6 Rihveldus

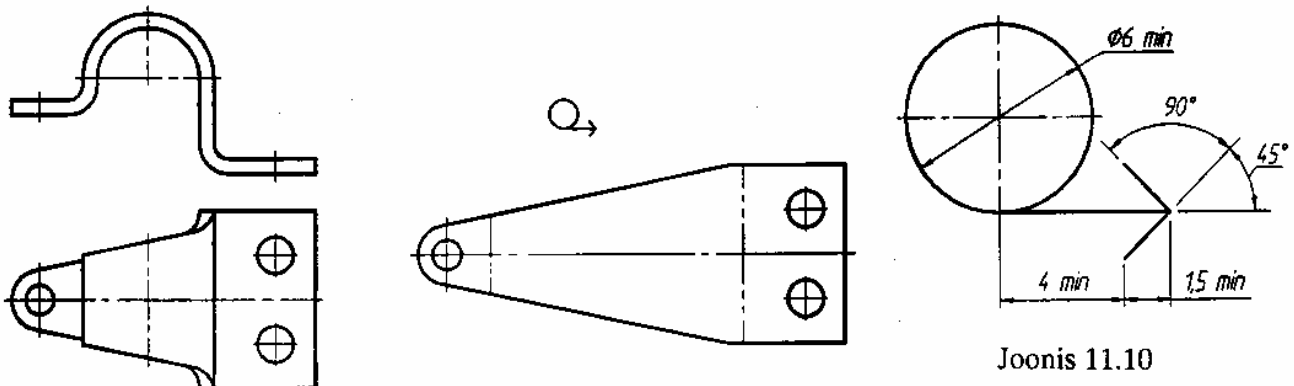
Karestatud ehk rihveldatud pindadega objektide kujutamisel võib rihveldust näidata ainult osaliselt (joonis 11.8).



Joonis 11.8

11.7 Laotatud kujutised

Õhukesest materjalist painutatud toodete tööjoonistel kujutatakse ka toote pinnalaotusi, kus painutusjooned on näidatud kriipskakspunkt-peenjoonega (joonis 11.9). Laotatud vaated või lõiked pealkirjastatakse laotatud kujutise märgiga (joonis 11.10).

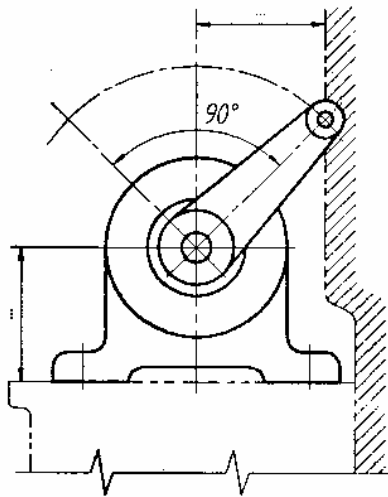


Joonis 11.10

Joonis 11.9

11.8 Piirnevad elemendid

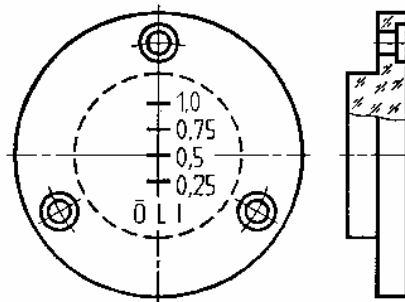
Objekti otstarbe või rakenduse paremaks selgitamiseks võib joonisel kujutada ka selle objektiga külgnevate seadmete osi või detaile. Viimased joonestatakse välja kriipskakspunkt-peenjoonega. Seejuures piirneva detaili kujutis ei tohi projektsiooniliselt varjata põhiobjekti kontuure, küll võib ta ise jääda osaliselt põhiobjekti varju (joonis 11.11).



Joonis 11.11



Joonis 11.12



Kiri ISO 3098/1-1974 järgi,
graveerida tagumisele küljele

Joonis 11.13

11.9 Õhukeseseinaliste detailide kujutamine

Objekte, mille seina paksus joonisel on 2 mm või vähem, kujutatakse veidi paksemamana, kui seda näeb ette mõõtkavajärgne kujutamiskiis. Selguse huvides peab väikeste avade, faaside, süvendite jm proportsioone veidi suurendama, kui nende elementide mõõtmed või mõõtmete erinevus on 2mm ja vähem.

Lõikesse jäävad kitsad pinnad tehakse viirutamise asemel mustaks. Niisuguste pindadega külgnevaid pindu peab joonisel lahutama vähemalt 0,7 mm vahe (joonis 11.12).

11.10 Läbipaistvast materjalist esemete kujutamine

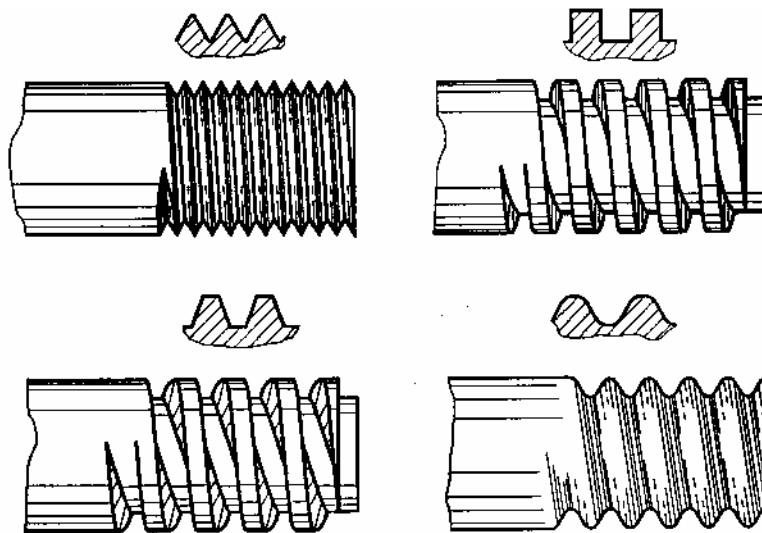
Läbipaistvast materjalist esemeid, näiteks klaasist detaile kujutatakse joonisel mitteläbipaistvatena (joonis 11.13).

11.11 "Keelatud" lõiked

On terve hulk detaile ja elemente, mida ei lõigata pikema telje või õhema seina sihis. Need on näiteks võllid, poldid, tikkpoldid, kruvid, spindlid, needid, kiilud, liistud, tihvtid, vardad jne, või sellised elemendid nagu kodarad, ribad, hammasratta hambad jne. Samuti ei lõigata veerelaagrite kuule ja rulle ning koostejoonistel standardseid seibe ja kinnitusmutreid. Kui loetletud detaile või elemente läbib lõikepind, siis neid ei viirutata (joonised 10.12, 10.20, 11.3). Avad ja süvendid tuuakse neis esile kohtlõigetega (joonis 10.18).

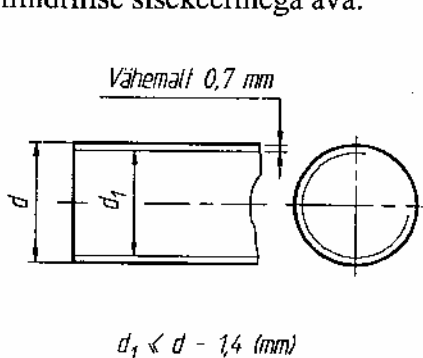
11.12 Keermete kujutamine

Keerme geomeetriliseks lähtealuseks on ruumiline kõver – kruijoon. Keere tekib mingi tasapinnalise kujundi (kolmnurk, ruut, trapets, poolring jt) liikumisel mööda silindrilist või koonilist kruijoont. Seejuures kujundi üks külg toetub vastu silindri või koonuse moodustajat ja kujundi tasapind läbib kogu liikumise jooksul silindri või koonuse telge. Olenevalt keermeniidi moodustanud tasapinnalise kujundi liigist eristatakse kolmnurkkeeret, ruutkeeret, trapetskeeret, ümarkeeret (joonis 11.14).

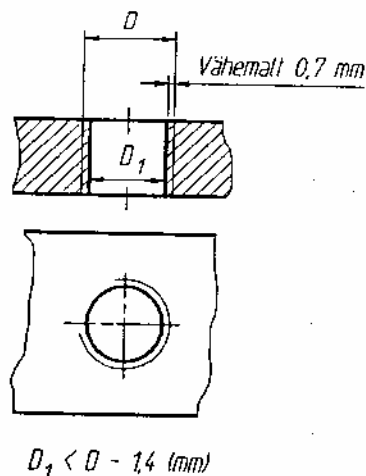


Joonis 11.14

Kõiki keermeliike kujutatakse standardi ISO 6410:1981 (E) järgi tinglikult. Nende kuju projektsiooniliselt täpne väljajoonestamine oleks tülikas ja aeganõudev töö. Varda pinnale lõigatud keeret nimetatakse väliskeermeks (näiteks poltidel). Avasse lõigatud keere on sisekeere (näiteks mutritel). Joonisel kujutatakse nii välis- kui ka sisekeermeharjad pideva jämejoonega. Kui keermestatud detaili kujutatakse otsvaates tähistab keermeharja pideva jämejoonega tõmmatud ringjoon, keermepõhja aga $\frac{3}{4}$ ringjoone ulatuses tõmmatud pidev peenjoon, mis ei alga ega lõpe just telgjoonel. Joonisel 11.15 on kujutatud kahes vaates silindrilise väliskeermega detail ja joonisel 11.16 silindrilise sisekeermega ava.

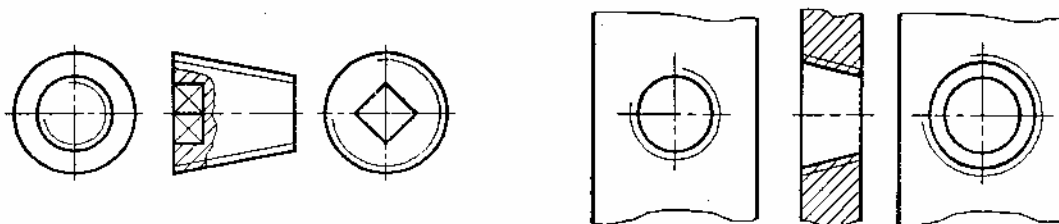


Joonis 11.15



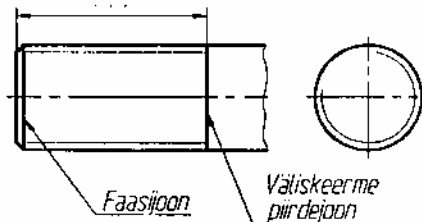
Joonis 11.16

Koonilise keermega detail ja ava on kujutatud joonisel 11.17. Keermete kujutamisel on soovitatav, et sise- ja välisläbimõõdule vastavate joonte vahekaugus oleks lähedane keermeprofiili tegelikule kõrgusele, kuid mitte väiksem kui 0,7 mm.



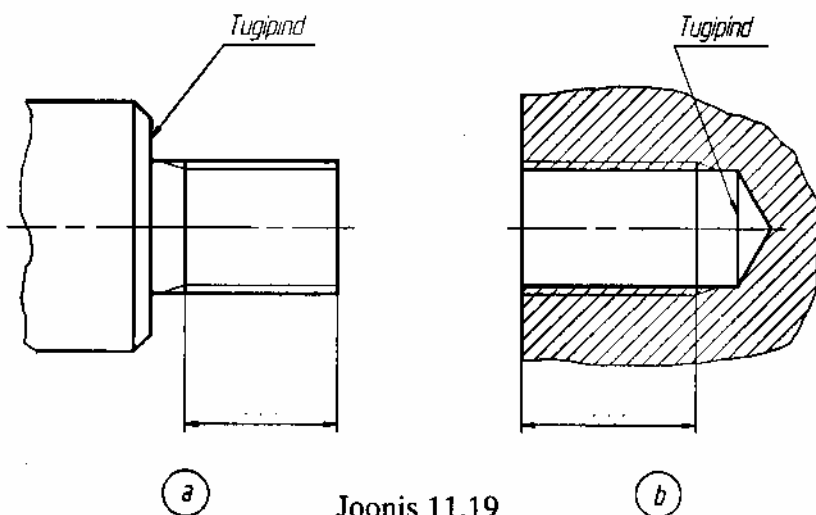
Joonis 11.17

Kui vardale või avasse lõigatakse keere ainult teatud ulatuses, siis tulevad keeme lõpuniidid (keeme väljajooks) täisprofiiliga võrreldes järk-järgult madalamad. Joonisel näidatakse täisprofiiliga keermeniiitide lõpus keeme piirdejoon. Väliskeeme puhul tõmmatakse see pideva jämejoonena vastu harjajooni (joonis 11.18), sisekeeme puhul aga üle harjajoonte kuni peenjoonega tähistatud põhjajoonteni (joonis 11.19 b).



Joonis 11.18

Sisekeere võib olla lõigatud kas detailist läbi (joonised 11.16) või umbsesse, so põhjaga avasse (joonis 11.19 b). Umbse ava põhi on koonilise kujuga, mille tipunurk on 120° . Selle tekitab spiraalpuuri kooniline ots. Keermepuuri otsa koonilisuse tõttu ei ole võimalik lõigata keeret ava põhjani.



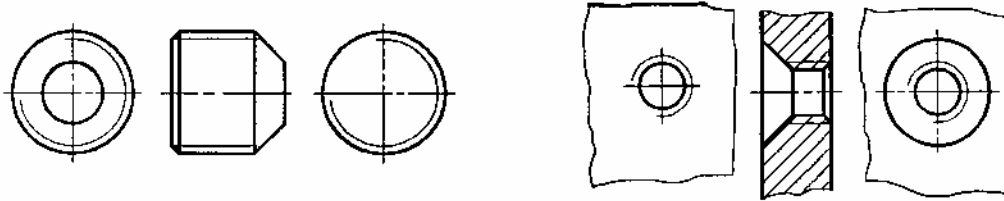
Joonis 11.19

Väliskeeret ei saa lõigata suurema läbimõõduga astmeni (joonis 11.19 a). Keermelõikuri purunemise vältimiseks tuleb ta peatada teatud kaugusel tugipinnast.

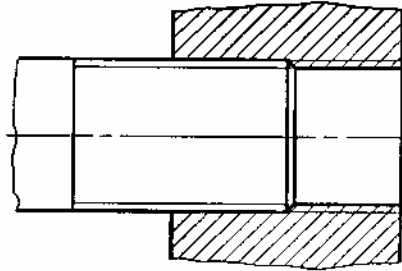
Keermestatud ava lõikel tõmmatakse viirutusjooned üle peenjoone kuni keermeharja tähistava jämejooneni (joonised 11.16 ja 11.19 b).

Keermestamisele eelneb detailide ettevalmistamine, mis seisneb ava ja varda teravate servade kaldu ärälõikamises ehk faasimises. Faaside kujutamist nii aval kui vardal võib näha joonisel 11.20.

Keermesliidet (sise- ja väliskeere ühendatult) kujutatakse joonisel 11.21 näidatud viisil. Väliskeermega detail joonestatakse välja täies ulatuses, sisekeeret aga ainult nii palju, kui väliskeermega detail seda vabaks jätab.



Joonis 11.20



Joonis 11.21

12. JOONISE MÕOTMESTAMINE

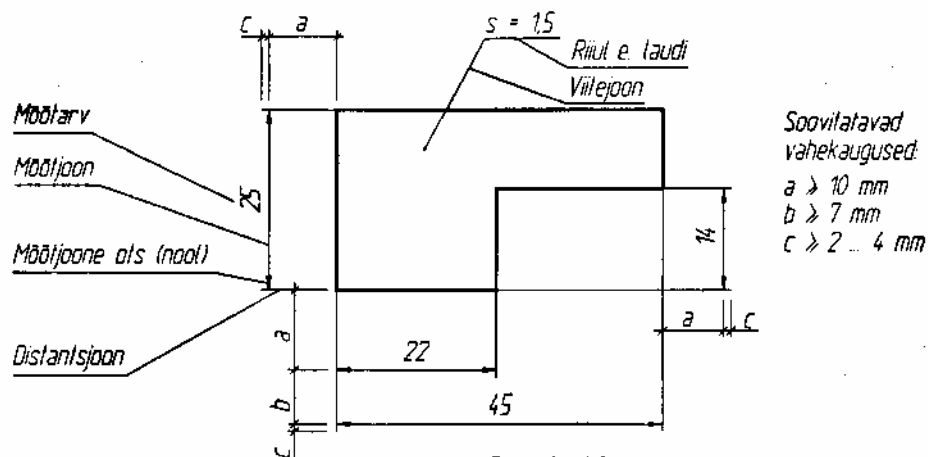
12.1 Joon- ja nurgamõõtmed

Objekti tegelikust suurusest annavad ülevaate joonisele kantavad **mõõtmed**. Kui kujutise suurus ei vasta mingitel põhjustel (näiteks suurendava või vähendava mõõtkava puhul) mõõtmetele, siis lähtutakse **mõõtarvudest**.

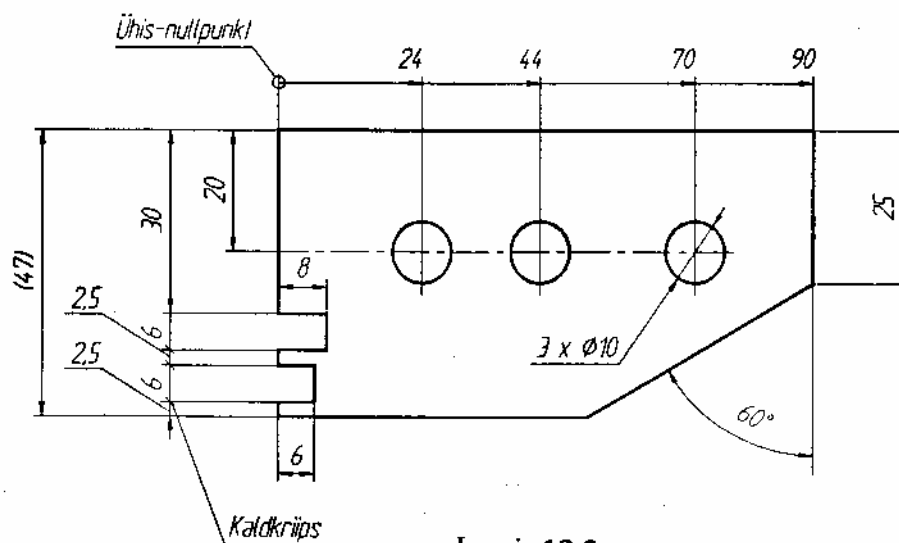
Mõned üldised juhised mõõtmestamiseks:

- Iga kujuelement mõõtmestatakse joonisel ainult üks kord.
- Mõõtmed paigutatakse sellele vaatele või löikele, mis kõige selgemini kujutab vastavat elementi.
- Joonisel ei näidata rohkem mõõtmepunkte kui on vajalik objekti üheseks määramiseks.
- Eeldatakse, et nurgad kõikide ristuvate joonte vahel on 90° . Kui see nii ei ole, näidatakse nurga tegelik mõõt.
- Igal joonisel tuleb kasutada kõigi mõõtmete jaoks sama **mõõtühikut** (millimeeter), ilma mõõtühikut kirjutamata. Kui joonise mõõtmestamisel kasutatakse teist mõõtühikut, siis esitatakse see kirjanurgas või märkustes. Kui joonisel on vaja näidata teisi mõõtühikuid (näiteks Nm momendi või kPa surve puhul), siis esitatakse ühiku tähis vastava arvnäidu järel.

Mõõtmestamiselementideks joonisel on distantsjooned, mõõtjooned, mõõtjoone otsad (nooled), ühis-nullpunktid ja mõõtarvud. Nende omavaheline paigutus selgub joonistelt 12.1 ja 12.2. **Distants-, mõõt- ja viitejooned tõmmatakse pideva peenjoonega** $1/3 \dots 1/2$ kontuurjoone jämedusest. **Distantsjooned** tuleb tõmmata mõõtmestatava elemendi suhtes risti.



Joonis 12.1

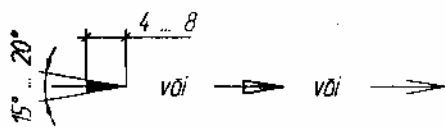


Joonis 12.2

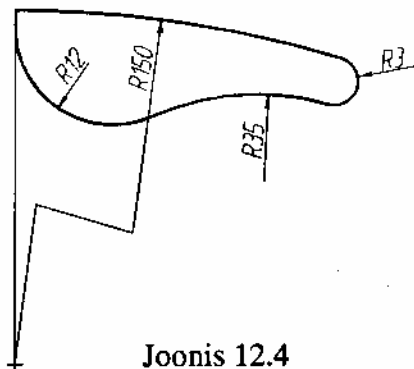
Mõõtjoon kulgeb paralleelselt mõõdetava lõiguga. Tema mõlemas otsas on **nooled** (joonis 12.3), mis toetuvad vastu distants- või kontuurjooni. Ühel joonisel kasutatakse vaid ühte noolekuju. Ruumipuudusel või nooled paigutada mõõtjoone pikendusele väljapoole distantsjooni (joonis 12.7) või kasutada noolte asemel kaldkriipse 45° all (joonised 12.1 ja 12.2).

Ühis-nullpunkti tähiseks on umbes 3 mm läbimõõduga ringjoon (joonis 12.2).

Kaare mõõtmistamisel raadiusega kasutatakse vaid ühte mõõtjoone lõpus kaarele toetuvat noolt (joonis 12.4).



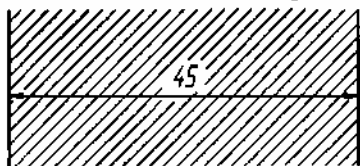
Joonis 12.3



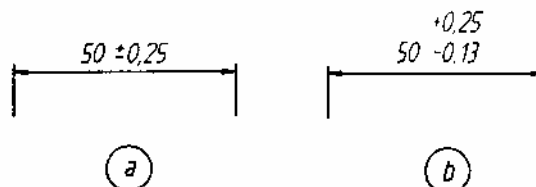
Joonis 12.4

Mõõtjooned paigutatakse üldjuhul kujutisest väljapoole. Nende omavahelist lõikumist ja lõikumist distantsjoontega tuleb võimaluse korral vältida. Selleks tuleb lühemad mõõtjooned paigutada kujutisele lähemale, pikemad aga järk-järgult kaugemale (joonised 12.1, 12.2, 12.7). Kui lõikumist ei õnnestu vältida, siis distants- ja mõõtjooni ei katkestata.

Kui joonisel on kujutatud sümmeetriline või katkestatud eseme, võib tõmmata pooliku, **ühe noolega mõõtjoone**. See peab ulatuma üle sümmeetriatelje või katkestusjoone (joonis 12.7). Kujutise telg- ja kontuurjooni ei kasutata mõõtjoontena, kuid neid võib kasutada distantsjoontena (joonis 12.5).



Joonis 12.5



Joonis 12.6

Nurgale mõõdet andes tõmmatakse mõõtjoon kaarekujuliselt keskpunktiga nurga tipus, distantsjooned aga radiaalselt (joonis 12.2).

Mõõtarvud, mis annavad ettekujutuse objekti tegelikust suurusest, kirjutatakse mõõtjoonte kohale nendega paralleelselt normkirjas kirjakõrgusega 3,5 mm. Mõõtarvud paigutatakse nii, et nendega ei lõikuks või nende numbreid ei eraldaks ükski joon. Telgjooned ja viirutusjooned katkestatakse mõõtarvu ja mõõtjoonte otstes olevate noolte kohal (joonis 12.5).

Tööjoonistel kirjutatakse mõõtarvu kõrvale **piirhälbed**. Sümmeetrilised piirhälbed lisatakse nimimõõtmele “±” märgiga samakõrguselt (joonis 12.6 a). Ebasümmeetrilistel hälvetel kirjutatakse alumine hälve nimimõõtmelega samal tasemel, ülemine hälve aga alumisest hälbest kõrgemale (joonis 12.6 b).

Kirjanurga teksti suhtes paralleelsed mõõtmed kirjutatakse horisontaalselt ja vertikaalsed mõõtmed paremalt vaadatuna alt üles (joonis 12.7).

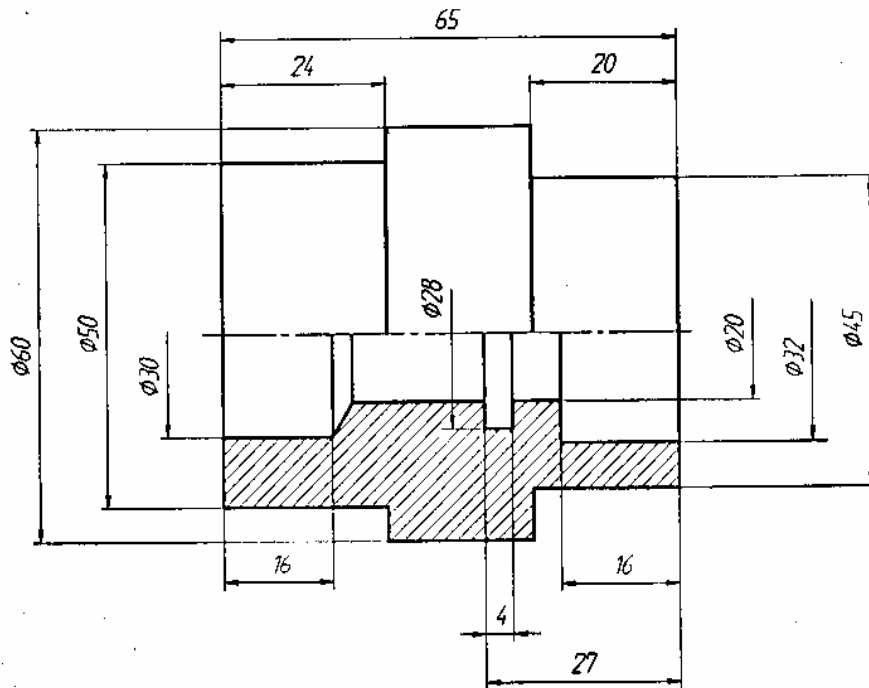
Mõõtarvud kirjutatakse mõõtjoone peale, võimalikult keskkoha lähedale, nii et mõõtarv ei puutuks vastu mõõtjoont. Kui sirge mõõtjoon oma kalde pooldest satub

viirutustega näidatud sektorisse (joonis 12.8), kirjutatakse mõõt arv rõhtsale laudile. Samuti toimitakse nurga mõõtmega, kui viirutusega näidatud sektorisse satub nurga mõõtjoone keskoht (joonis 12.9).

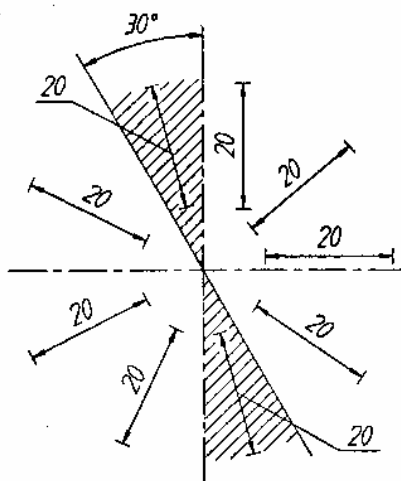
Kui mõõt arv näitab *mitme ühesuguse elemendi mõõdet*, siis kirjutatakse elementide arv mõõt arvu ette (joonis 12.2).

Keelatud on mõõtmeid kanda joonisele suletud mõõt ahelana (näiteks nii, et üksikute elementide pikkuste summa annaks gabariitmõõtmega). Üks element peab jääma ilma mõõtmeta (joonis 12.7). Kui seda on siiski mingil põhjusel peetud vajalikuks, siis nn liigne mõõde kui teatramõõde paigutatakse ümarsulgudesse (joonis 12.2)

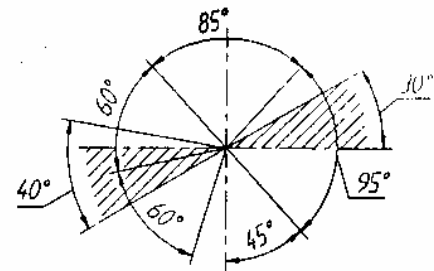
Mõõtmete panemisel on oluline lähtuda ühest mõõtebaasist, et vältida vigade kumuleerumist. Õige on kasutada mõõtmestamisel varianti A (joonis 12.10).



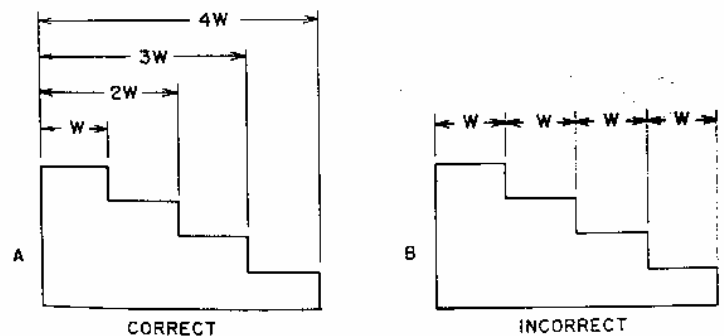
Joonis 12.7



Joonis 12.8



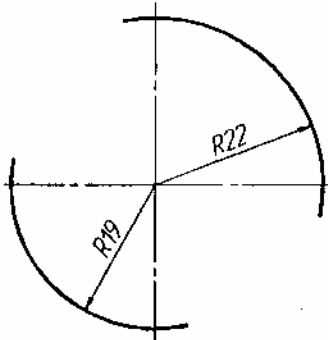
Joonis 12.9



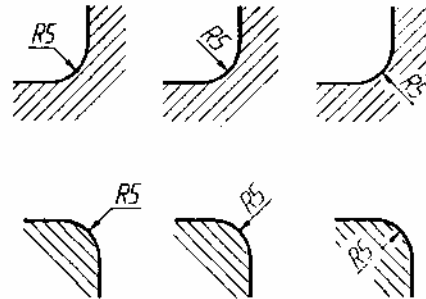
Joonis 12.10

12.2 Kujumärgid

Raadius tähistatakse suure tähega R, mis on ühekõrgune talle järgneva mõõtaruuga. Kui raadiuse abil mõõdet andes on vaja näidata ka kaare tsentri asukohta, siis kujutatakse viimast lõikuvate tsentrijoontega (joonis 12.11). Suure raadiuse puhul võib tsentri tinglikult kaarele lähemale tuua. Mõõtjoon tõmmatakse sel juhul murdega (joonis 12.4). Raadiuse mõõtjoon peab olema risti mõõdetava kaarjoone kujuteldava puutujaga (joonised 12.4 ja 12.12).

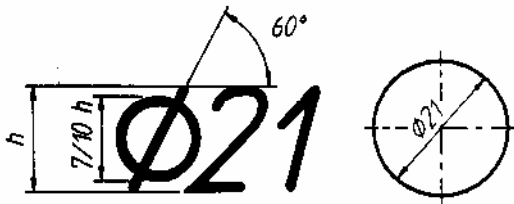


Joonis 12.11

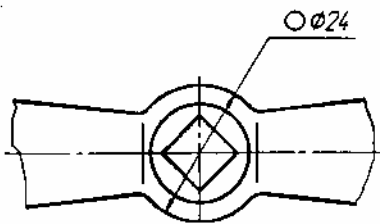


Joonis 12.12

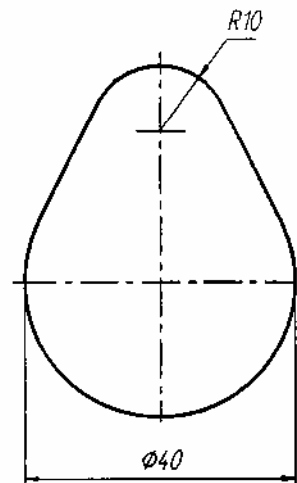
Ringi või pöördkeha **läbimõõtu** (diameetrit) näitava mõõtaru ette pannakse läbimõõdumärk (joonis 12.13). Kui ringjoonest on kujutatud vähem kui pool, antakse mõõde tavaliselt raadiusega, vastasel juhul – läbimõõduga (joonis 12.14). **Sfääri** ehk kerakujulise pinna puhul lisatakse läbimõõdumärgi või raadiusetähise ette sfäärimärk – mõõtaru kõrgune ringike (joonised 10.2 ja 12.15).



Joonis 12.13



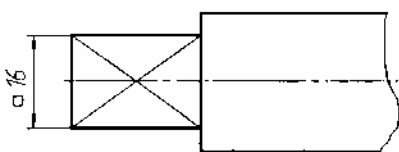
Joonis 12.15



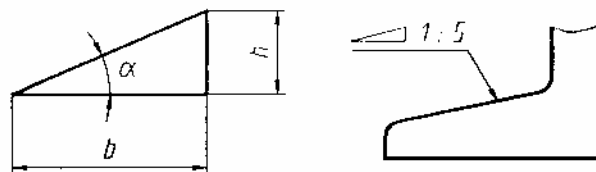
Joonis 12.14

Ruudule võib anda mõõtmeid ruudumärgi abil. Märk (joonis 12.16) näitab, et detaili prismaatilise osa ristlõige on ruudukujuline.

Kaldeks nimetatakse kaldpinna kõrguse ja aluse suhet. Selle suhte ette kirjutatakse kalde märk (joonis 12.17). Märgi tipp näitab kalde suunda. Andmed kalde kohta kirjutatakse viitejoone laudile, mis tõmmatakse kaldpinna alusega paralleelselt.

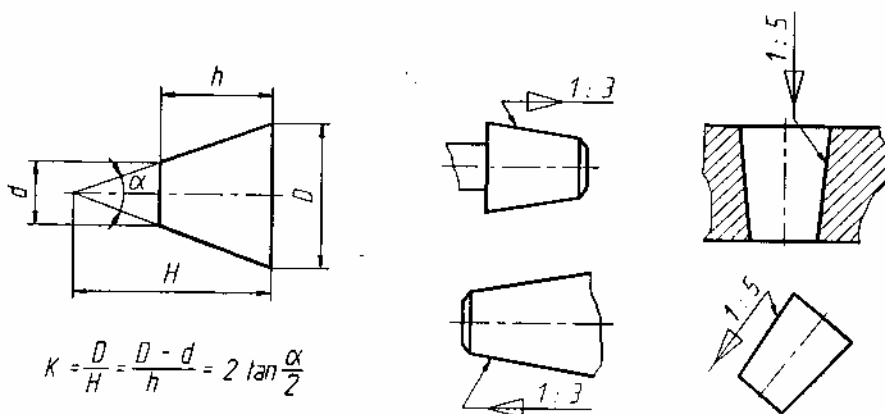


Joonis 12.16



Joonis 12.17

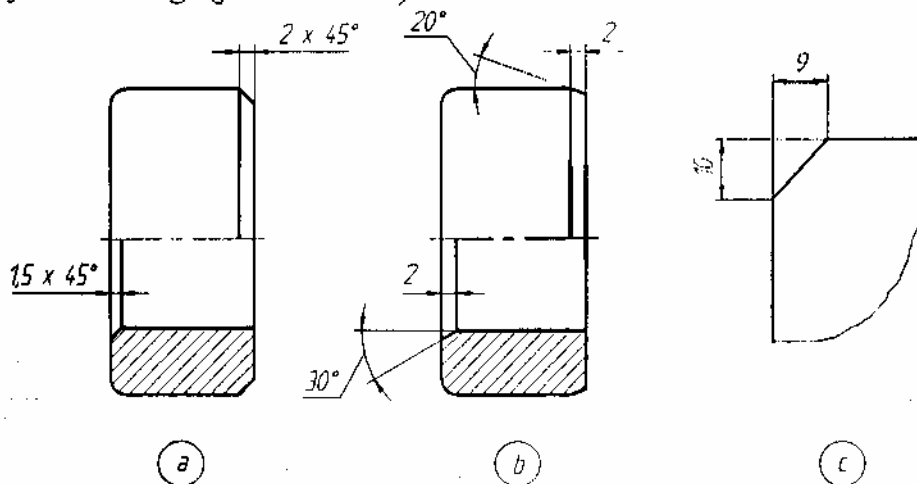
Koonilisuseks nimetatakse koonuse põhja läbimõõdu ja kõrguse suhet. Tüvikoonuse korral avaldub see läbimõõtude vahe ja tüvikoonuse kõrguse suhtena. Suhte ette asetatakse koonilisuse märk, mille teravik on suunatud koonuse tipu poole (joonis 12.18).



Joonis 12.18

Koonilisuse märgiks on võrdhaarne kolmnurk tipunurgaga 30° . Andmed koonilisuse kohta kirjutatakse viitejoone laudile, mis tõmmatakse koonuse teljega paralleelselt. Koonilisus märgitakse vaid niisugustele koonilistele pindadele, mis töötavad koos ja peavad tagama tiheda ühenduse (näiteks kraani korpus ja kork). Muudel juhtudel näidatakse koonuse mõõtmed läbimõõtude ja kõrguse abil, vahel ka tipunurga abil.

Faas on element, mis tekib detaili teravate servade mahalõikamisel. Faasi mõõtmeid näidatakse kolmel viisil: 45° faasi puhul kaateti pikkuse ja nurga "korrutisena" (joonis 12.19 a), teiste faasinurkade puhul kas joon- ja nurgamõõtmetega (joonis 12.19 b) või kahe joonmõõtmega (joonis 12.19 c).



Joonis 12.19

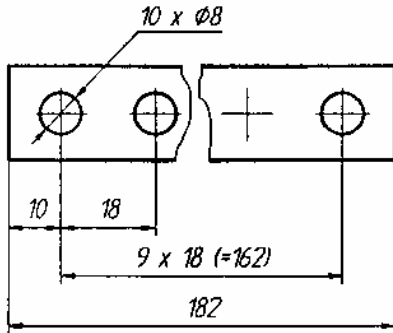
Muutumatu ristlõikega detaili võib esitada ainult ühe kujutisega. Puuduv, joonise pinnaga ristiolev mõõde detaili **pikkuse** või **paksuse** kohta antakse sel juhul viitejoone laudil, asetades mõõtarvu ette tähised vastavalt kas $l =$ või $s =$ (joonis 12.20).



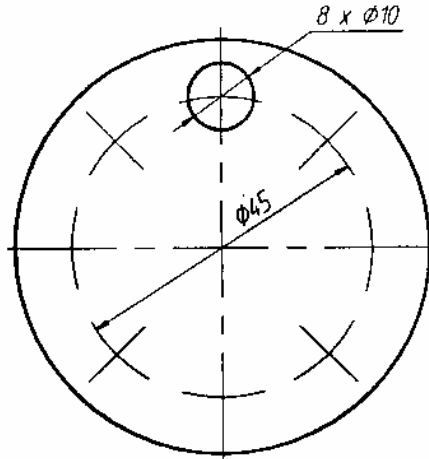
Joonis 12.20

12.3 Korduvad elemendid

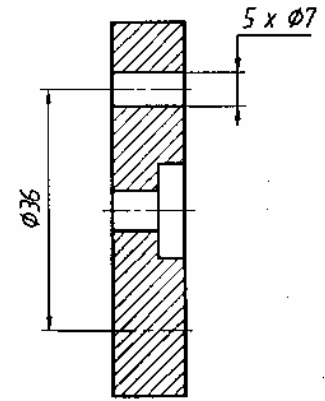
Korduvaiks elementideks võivad olla ühesuguse kuju ja suurusega avad, faasid, süvised ja muud elemendid. Objekti korduvate elementide mõõtmed kantakse joonisele reeglina ainult üks kord. Seejuures näidatakse ära nende elementide arv. Kui korduvad elemendid (näiteks avad) jagunevad jaotuvad sirgjoonel või ringjoonel ühtlaselt, siis märgitakse mõõde koos elementide arvuga ainult ühe juurde (joonised 12.21, 12.22 ja 12.23). Elementide paigutust nurgamõõtmete abil pole vaja näidata.



Joonis 12.21

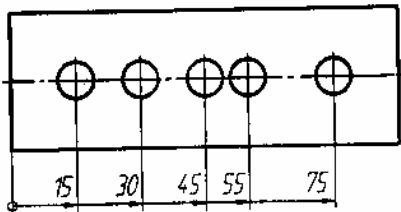


Joonis 12.22

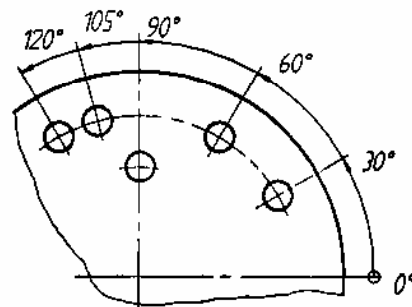


Joonis 12.23

Suure arvu ühisest baasist lähtuvate joon- ja nurgamõõtmete korral tõmmatakse ühisnullpunktist üksainus mõõtjoon, mille noole otsad toetuvad üksteise kannul vastu distantsjooni. Seejuures mõõdetarvud võib asetada kas vastava distantsjoonega kohakuti või mõõtnoole kohale (joonised 12.24 ja 12.25).



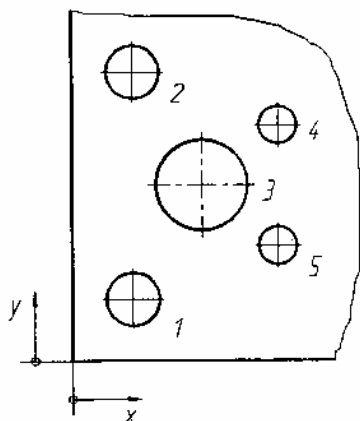
Joonis 12.24



Joonis 12.25

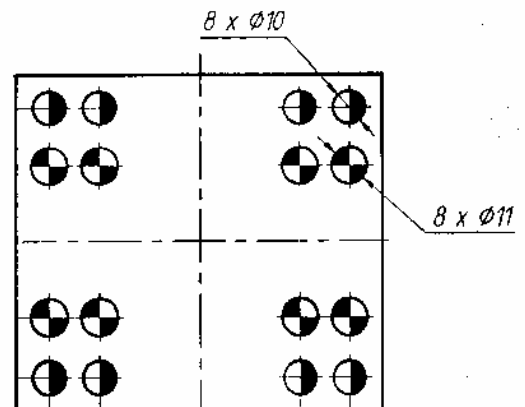
Ühetüübiliste elementide, näiteks silindriliste avade, ebaühtlasel paigutusel saab mõõtmete märkimiseks kasutada koordinaatide meetodit. Elementide suuruse ja asukoha mõõtmed kirjutatakse vastavasse tabelisse (joonis 12.26).

Kui joonisel on kujutatud mitu läbimõödult lähedaste avade gruppi, siis soovitatakse ühesugused avad tähistada ühtmoodi ringi sektorite mustaks värvimisega (joonis 12.27).



N°	1	2	3	4	5
Ø	7	7	12	5	5
x	8	8	17	27	27
y	8	38	23	31	15

Joonis 12.26



Joonis 12.27

12.4 Keermete tähistamine

Keeret iseloomustavad järgmised mõõtmed (joonis 12.28):

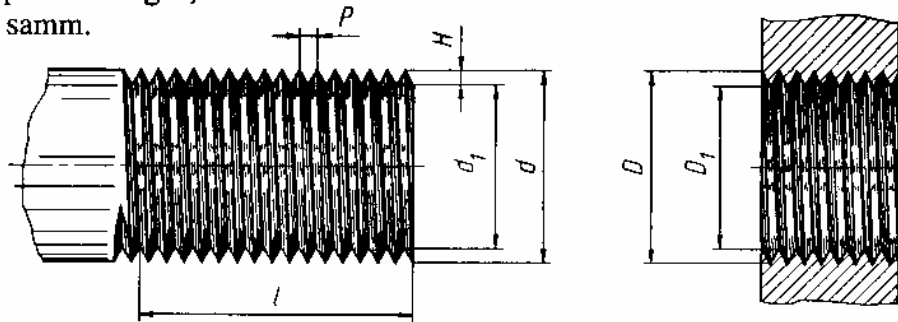
D, d – keermes välisläbimõõt (vastavalt sise- ja väliskeermel);

D_1, d_1 – keermes siseläbimõõt (vastavalt sise- ja väliskeermel);

l – keermes pikkus;

H – keermesprofiili kõrgus;

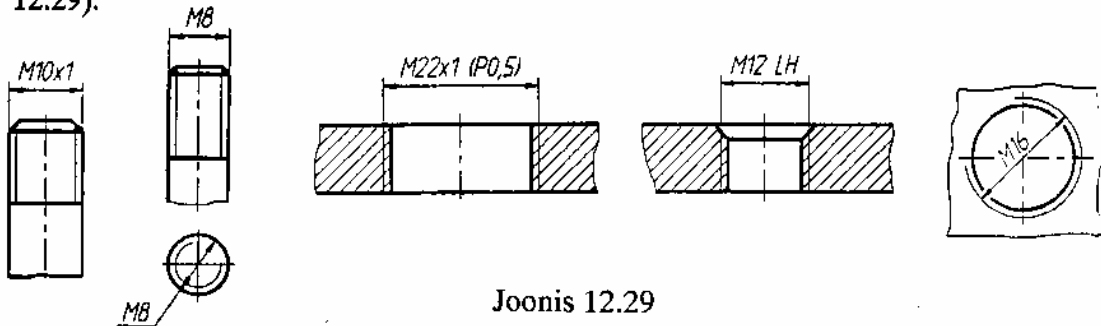
P – keermes samm.



Joonis 12.28

Kasutusala järgi võib keermes jaotada kinnitus- ja käigukeermeseks. Enamkasutatavad kinnituskeermes on meeterkeere, tollkeere ja silindriline torukeere. Käigukeermesest kasutatakse enam trapetskeeret ja ruutkeeret. Kõik nimetatud keermes peale ruutkeermes on standardsed, st nende valmistamiseks vajalikud mõõtmed on antud standardis. Standardse keermes joonisele märgitakse vaid tema tähis.

Meeterkeere on kolmnurkse profiiliga (tipunurk 60°) keere, mille tähiseks on täht M ja sellele järgnev keermes välisläbimõõt mm-tes. Igale välisläbimõõdule vastab tavaliselt mitu erineva sammuga keeret. Kõige suurema sammuga keeret nimetatakse jämekeermeseks ja selle sammu suurus tähises ei näidata (näiteks $M8$). Väiksema sammuga keermes tähises näidatakse ka keermesamm (näiteks $M10 \times 1$) (joonis 12.29).

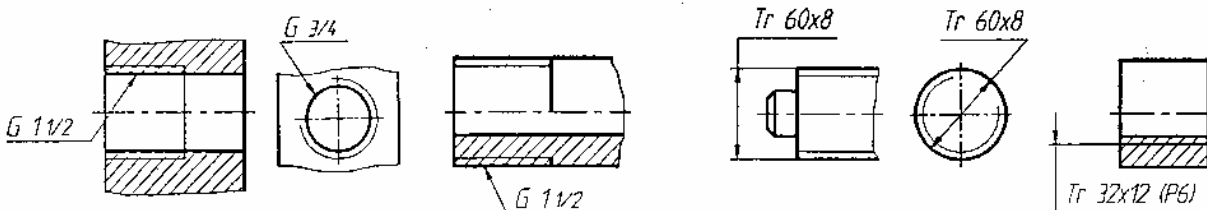


Joonis 12.29

Tollkeere on kolmnurkse profiiliga (tipunurk 55°) keere, mille tähiseks on keermes välisläbimõõt tollides (näiteks $\frac{1}{2}''$). ($1'' = 25,4 \text{ mm}$)

Silindriline torukeere on kolmnurkse profiiliga (tipunurk 55°) keere, mille tähiseks on täht G ja toru siseläbimõõt tollides (joonis 12.30).

Trapetskeere on trapetsikujulise profiiliga (külgdevaheline nurk 30°). Tema tähis on lühend Tr , millele lisatakse keermes välisläbimõõt, keermes käik ja sulgudes ka keermes samm (joonis 12.31).

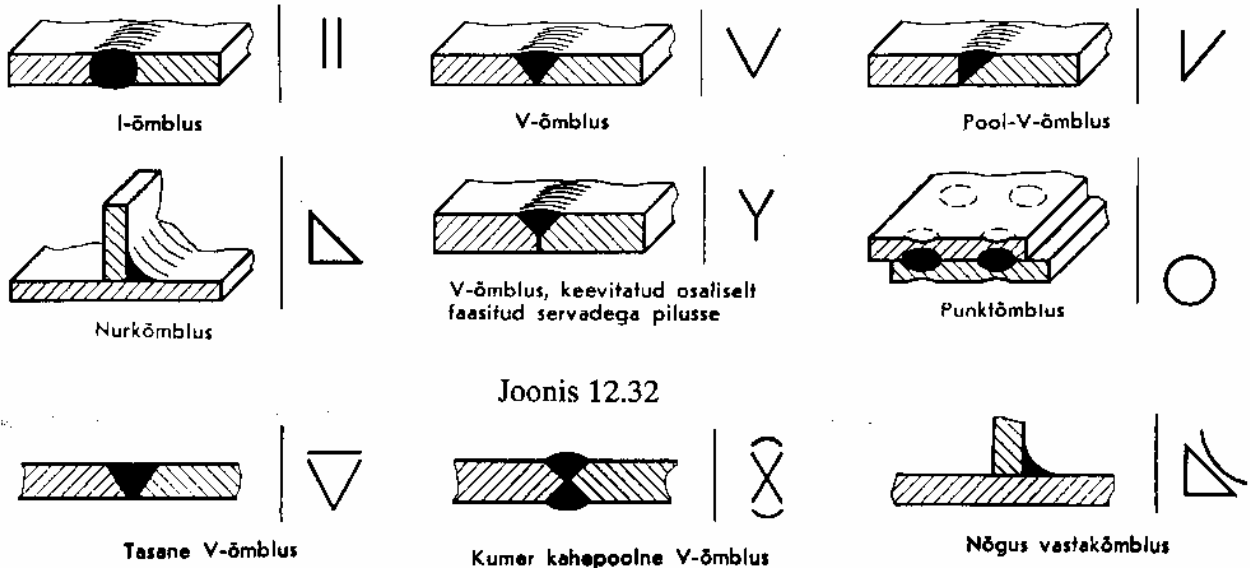


Joonis 12.30

Joonis 12.31

12.5 Keevisõmbuste tähistamine

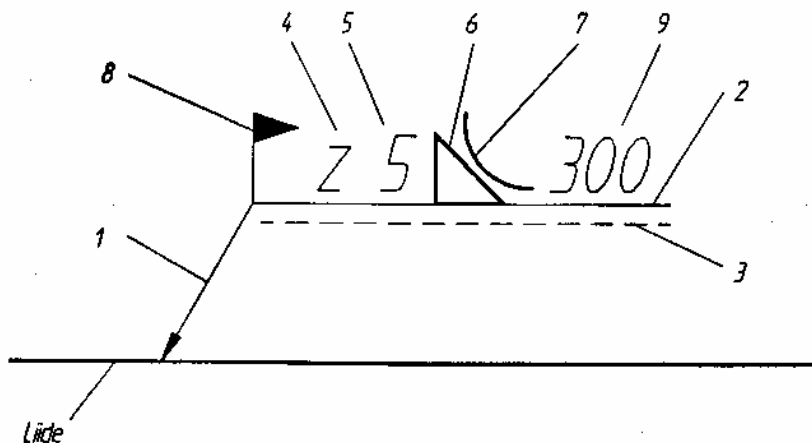
Keevitamisel luuakse kuumutamise ja (või) plastse deformatsiooni abil detailide aatomitevahelised sidemed, kusjuures tekib kinnisliide. Nähtavaid keevisõmbusi kujutatakse joonisel tinglikult pideva jämejoonega. Keevisõmbuste tüübid tähistatakse põhimärkidega ja õmbuse pinna kuju lisamärkidega. Tähise juurde kirjutatakse keevisõmbuse mõõde ja vajaduse korral lisatakse täiendavad märgid. Enamkasutatavad keevisõmbuste põhimärgid on toodud joonisel 12.32 ja lisamärgid joonisel 12.33.



Joonis 12.32

Joonis 12.33

Joonisel tähistatakse keevisõmbus viitenooli ja viitenooli laudiga, mille peale või alla kantakse õmblust tähistavad märgid ja vajalikud mõõtmed (joonis 12.34).



Joonis 12.34

Joonisel 12.34 on: 1 – viitenool, 2 – viitenooli laudi pidev joon, 3 – viitenooli laudi kriipsjoon, 4 – kolmnurkse keevisõmbuse ristlõike mõõtme tähis (a või z joonis 12.35) 5 – õmbuse mõõt, 6 – põhimärk, 7 – lisamärk, 8 – lisamärk (koosteõmbus, O - kontuurõmbus), 9 – keevisõmbuse pikkus.

Viitejoone laudi peaks eelistatult olema paralleelne joonise kirjanurgaga. Kui see pole aga võimalik, siis on lubatud joonestada ta risti kirjanurgaga.

13. DETAILIJOONIS

13.1. Detailide tööjoonistele esitatavad nõuded

Detaili tööjoonis peab määrama detaili täpse kuju ja suuruse üheselt, st joonis peab olema tehtud nii, et seda võiks tõlgendada ainult ühte moodi. Selleks paigutatakse tööjoonisele vajalikud kujutised vaadete, lõigete ja ristlõigete näol.

Tööjoonisel antakse kõik detaili valmistamiseks vajalikud mõõtmed ja nende tolerantsid.

Detaili pindade töötlemistasemest annavad ülevaate joonisele kantavad pinnakaredusmärgid.

Detaili tööjoonis peab sisaldama andmeid detaili materjali, termilise töötlemise ja viimistluse kohta. Vajaduse korral lisatakse veel märkused joonisel näitamata raadiuste suuruse või muude tehniliste nõuete kohta.

Tööjooniseid ei tehta standardsetest toodetest (poltidest, mutritest, kruvidest, seibidest jne) ning ostetavatest detailidest. Samuti võib loobuda lihtsate profiil- või lehtmaterjalidest detailide joonistest. Nende detailide andmed näidatakse koostejoonise tükitabelis.

13.2. Tolerantsid ja istud ning nende märkimine joonistel

Detaili tööjoonisel annab konstruktor igale mõõtmele nimiväärtuse - nimimõõtme ja lisaks veel mõõtme suurima ja vähima väärtuse – *ülemise piirmõõtme* D_{max} , d_{max} (3, lk 10, joonis 6) ja *alumise piirmõõtme* D_{min} , d_{min} (3, lk 10, joonis 6). Suurima ja vähima piirmõõtme vahet nimetatakse *tolerantsiks* - T_d (3, lk 10, joonis 6). Näiteks mõõtme $60 \pm 0,5$ puhul on 60 nimimõõt, 60,5 on ülemine piirmõõt, 59,5 on alumine piirmõõt, 1,0 on tolerants. Suurima piirmõõtme ja nimimõõtme algebralist vahet nimetatakse *ülemiseks hälbeks*, ES ja es (3, lk 10, joonis 7), alumise piirmõõtme ja nimimõõtme algebralist vahet nimetatakse *alumiseks hälbeks*, EI ja ei (3, lk 10, joonis 7). Eeltoodud näites on ülemine hälve + 0,5 ja alumine hälve – 0,5.

Hälvetest, tolerantsidest ja mõõtmetest parema ülevaate saamiseks võib kujutada neid graafiliselt diagrammil, kus nulljoon vastab nimimõõtmele (3, lk 10, joonis 8 ja lk 11, joonised 9, 10). Hälbed üle nimimõõtme (positiivsed hälbed) kantakse nulljoonest kõrgemale ja hälbed alla nimimõõtme (negatiivsed hälbed) kantakse nulljoonest allapoole. Tolerantsi graafilist kujutist nimetame tolerantsiväljaks.

Tolerantsi suurus määrab detaili valmistamise täpsuse. Väiksema tolerantsi puhul on detail täpsem, kuid ka kallim. Tolerantsid jaotatakse suuruse järgi kvaliteetidesse. Vähimad on tolerantsid kvaliteedis numbriga 01 ja suurimad kvaliteedis numbriga 17 (3, lk 12, tabel 1). Seega kvaliteedi numbri suurenedes suureneb ka tolerants ja väheneb mõõtme täpsus. Muidugi olenevad tolerantsid ka nimimõõtmetest.

Tolerantsivälja asendi nimimõõtme ehk nulljoone suhtes määrab talle lähim hälve - *põhihälve*. Põhihävete väärtustele on omistatud tähised. Nendeks on völli puhul väikesed ladina tähed (3, lk 13, tabel 2) ja avade puhul suured ladina tähed (3, lk 14, tabel 3). Põhihävete asendeid nimimõõtme suhtes on näha joonisel 9 (3, lk 11) völli jaoks ja joonisel 10 (3, lk 11) avade jaoks.

Sageli kasutatakse masinates avade ja völli ühendusi. Seejuures on mõlemal ühendataval detailil, nii aval kui völli ühine *nimimõõde*, kuid tolerantsiväljad paiknevad mõlemal erinevalt. Olenevalt tolerantsiväljade vastastikusest asendist saadakse ühenduse erinev iseloom – ist. Võib tekkida kas liikuv ühendus – *liikuvist*, mil ava ja völli vahel on lõtk, või liikumatu ühendus – *kinnisist*, mil ava ja völli vahel valitseb ping. Viimasel juhul toimub ava ja völli ühendamisel nende elastne või plastne deformeerumine.

Lõtk on ava ja võlli läbimõõtude positiivne vahe ($D_{ava} - d_{võll} > 0$).

Ping on ava ja võlli läbimõõtude negatiivne vahe ($D_{ava} - d_{võll} < 0$).

Kolmas liik iste - **siirdeistud** on sellised, kus ava ja võlli tolerantsiväljad kas osaliselt või täielikult kattuvad. Siis on võimalikud nii lõtkud kui ka pingud. Kumb variant realiseerub see selgub koostamise käigus.

Ava ja võlli tööjoonistele kirjutatakse nimimõõt ja selle järel põhihülbe tähis ning kvaliteedi number (3, lk 11, joonis 11). Koostejoonisele kirjutatakse nii ava kui ka võlli ühine nimimõõt ja selle järel murrujoon, mille lugejas antakse andmed ava kohta ja nimetajas andmed võlli kohta. Mõlemal juhul võib lisada sulgudes hälvete numbrilised väärtused.

Ühendustesse mittekuuluvate pindade mõõtmed ei ole vastastikku nii seotud kui iste moodustavatel pindadel. Istude puhul kasutatakse tolerantse 6.-9. kvaliteedist. Ülejäänud mõõtmetel kasutatakse tavaliselt tolerantse 14. kvaliteedist. Ava tüüpi pinnale märgitakse tolerant $H14$, võlli tüüpi pinnale $h14$ ja joonmõõtmetele tolerant $\pm IT 14/2$ (IT on kvaliteedi üldtähis). Et selliseid mõõtmeid on detailil tavaliselt palju, siis võib tööjoonise kirjanurka või selle kohale tehniliste nõuete hulka kirjutada märkusena nii: $H14, h14, \pm IT 14/2$.

13.3. Pinnakaredus ja selle märkimine joonistel

Detailide pinnad ei ole kunagi täiesti siledad, sest nende töötlemiseks kasutatavad lõikeriistad jätavad neile töötlemisjälgi. Pinnakareduse all mõistetakse konarusi, mis moodustavad pinna reljeefi ja mida vaadeldakse teatud kindlal nn lähtepikkusel.

Pinnakaredus mõjutab oluliselt liidete ja laagerduste kvaliteeti. Pinnakareduse vähenedes vähenevad liitepindade hõõrdumine ja kulumine, paranevad määrimistingimused, suurenevad detailide liikumise täpsus ja sujuvus. Kinnisliidetes on võimalik täpsemalt hinnata liites valitsevat pingut, hermeetilisust ja korrosioonikindlust.

Erinevate töötlemisviisidega saadakse erineva karedusega pinnad. Tabelis 13.1 on toodud mõned tüüpiliste tehnoloogiatega saadud ja mõnede tüüpdetailide pindade kareduse kvantitatiivsed näitajad.

Tabel 13.1

Detaili element	R_a μm
Valatud detailide pinnad	50
Puuritud avad, treitid ja freesitud pinnad	12,5
Poltide ja mutrite pinnad, võllide ja pukside teiste detailidega mittekokkupuutuvad pinnad	6,3
Istuvabalt paigaldatud detailide kokkupuutuvad pinnad	3,2
Veerelaagrite ja tihendite paigalduspinnad, tsentreerivad pinnad	1,6
Liugelaagrite tööpinnad, kinnisistudega ühendatud pinnad	0,8
Silindri ja kolvi hõõrdepinnad, klappide tööpinnad	0,4

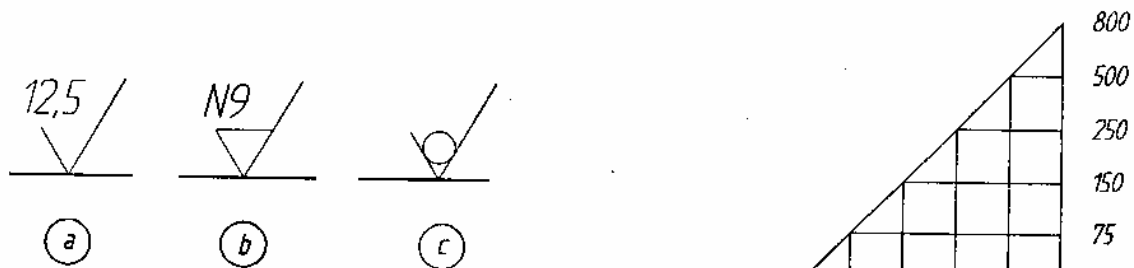
Tabelis toodud pinnakareduse näitaja R_a on profiili hälvete aritmeetiline keskmine ja tema olemust on selgitatud joonisel 2 (3, lk 20). Ta on profiili punktide ja keskjoone vaheliste kauguste Y_1 keskvaartus mõõdetuna lähtepinna ulatuses.

Pinnakaredust võib kvantitatiivselt iseloomustada ka konaruste keskmise kõrgusega lähtepikkusel valitud 10 punkti järgi – R_z . Sellist konaruste kõrguse määramisviisi on selgitatud joonisel 3 (3, lk 20).

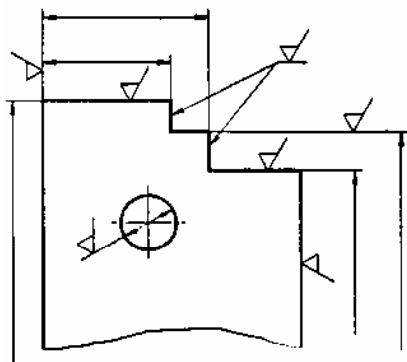
Kolmas pinnakonaruste iseloomustaja võib olla pinnakonaruste suurim kõrgus – R_{max} , mida selgitab joonis 4 (3, lk 21).

Võimaluse korral tuleks eelistada pinnakareduse näitajat R_a .

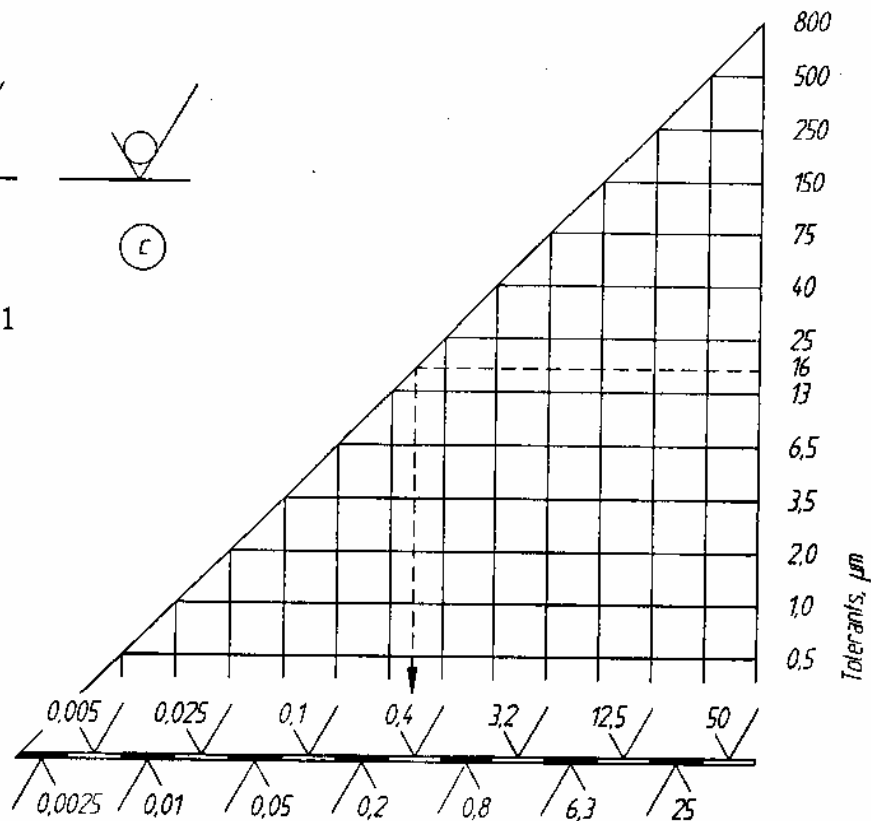
Pinnakareduse suurus valitakse pidades silmas detaili ekspluatatsioonitingimusi ja majanduslikult põhjendatud pinnatöötlemismeetodeid. Tuleb aga arvestada seda, et pinnakareduse väärtus võib moodustada vaid teatud osa mõõtme tolerantsist. Seost nende vahel võib näha joonisel 13.3.



Joonis 13.1



Joonis 13.2



Joonis 13.3

Pinnakaredust näitaval märgil on mitu erinevat kuju. Joonisel 13.1 a on kõige üldisem märgi kuju. Joonisel 13.1 b toodud märk näitab, et antud karedusega pind tuleb töödelda materjalikihi eraldamisega (treimisega, freesimisega, puurimisega, lihvimisega jne). Joonisel 13.1 c antud märk tähistab pinnakaredust, mis saadakse töötlemisel laastu eraldamata (valtsimisel, sepistamisel, valamise jne). Selle märgiga tähistatakse ka neid pindu, mida antud joonise järgi ei töödelda.

Pinnakaredus märgitakse tööjoonistel detaili kõigile pindadele. Märgi asendit pinna suhtes võib näha joonisel 13.2.

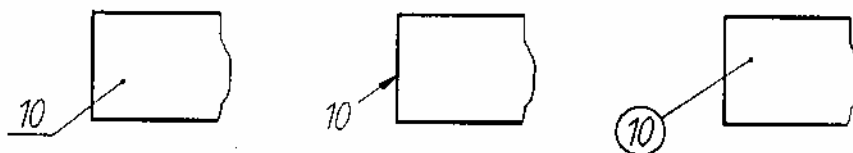
Pinnakareduse näitajate praktilist kasutamist võib jälgida joonisel 5 (3, lk 21).

Pinnakareduse kvantitatiivse näitaja R_a kasutamisel kantakse tema arväärtus joonisele ilma näitaja tähiseta, näiteks 3,2 joonisel 5 (3, lk 21). Teiste pinnakareduse kvantitatiivsete näitajate puhul kasutatakse arvnäitaja ees näitaja tähist, näiteks R_{z40} joonisel 5 (3, lk 21).

14. KOOSTEJOONIS JA TÜKITABEL

14.1 Koostejoonis

Koostejoonis on dokument, mis annab üksikdetailidest koostatava toote kokkumonteerimiseks ning kontrollimiseks vajalikud kujutised ja tehnilised andmed. Kujutised valitakse nii, et selguks toote kõigi detailide vastastikune asend, seadme tööprintsip, koostu gabariidid (pikkus, laius, kõrgus) ja mõõtmed, millega tuleb arvestada antud koostu kokkumonteerimisel ning ühendamisel teiste koostudega (näiteks kinnitusäärikus olevate avade mõõtmed). Kui koostus ulatub mõni osa gabariidist väljapoole, siis hõlmatakse gabariitmõõtmetega ka nende liikumise ulatus. Kõige ülevaatlikum on peakujutis. Koostejoonisel on ühe ja sama detaili viirutuse kalle tema kõigis lõigetes ühesuunaline ja viirutusjoonte vahekaugus ühesugune. Kokkupuutuvad detailid on viirutatud erinevas suunas, kui see aga võimalik pole, on muudetud viirutusjoonte vahekaugust või kõrvalseisva viirutuse suhtes nihutatud. Koostejoonisel on igale detailile ja joonisel kujutatud koostu koosseisu kuuluvale väiksemale koostule antud number, mis loob vastavuse koostejoonise ja tükitabeli vahel. Esmalt on antud numbrid koostu koosseisu kuuluvatele alakoostudele, siis detailidele, seejärel standardtoodetele ja materjalidele. Numbrid on kirjutatud normkirjas viitejoone laudile joonise kirjanurga suhtes paralleelselt (joonis 14.2). Numbrid on mõõtarmudest suurema kõrgusega ja viitavad detailile joonisel 14.1 näidatud viisil. Ühel joonisel kasutatakse ainult üht joonisel 14.1 näidatud viisidest. Parema loetavuse huvides on koostisosade tähised märgitud kujutisest väljapoole, grupeerides viitejoone laudid vertikaalsetesse veergudesse ja rõhtsatesse ridadesse. Viitejoon tõmmatakse pideva peenjoonega, nad ei tohi omavahel lõikuda, peavad olema võimalikult lühikesed ja viirutuse kaldest erineva kaldega. Viitejoon on laudi suhtes nurga all ja lõpeb kujutise pinnal punktikesega või ruumpuudusel kontuurile näitava noolega. Ühesugustele detailidele viidatakse vaid üks kord.

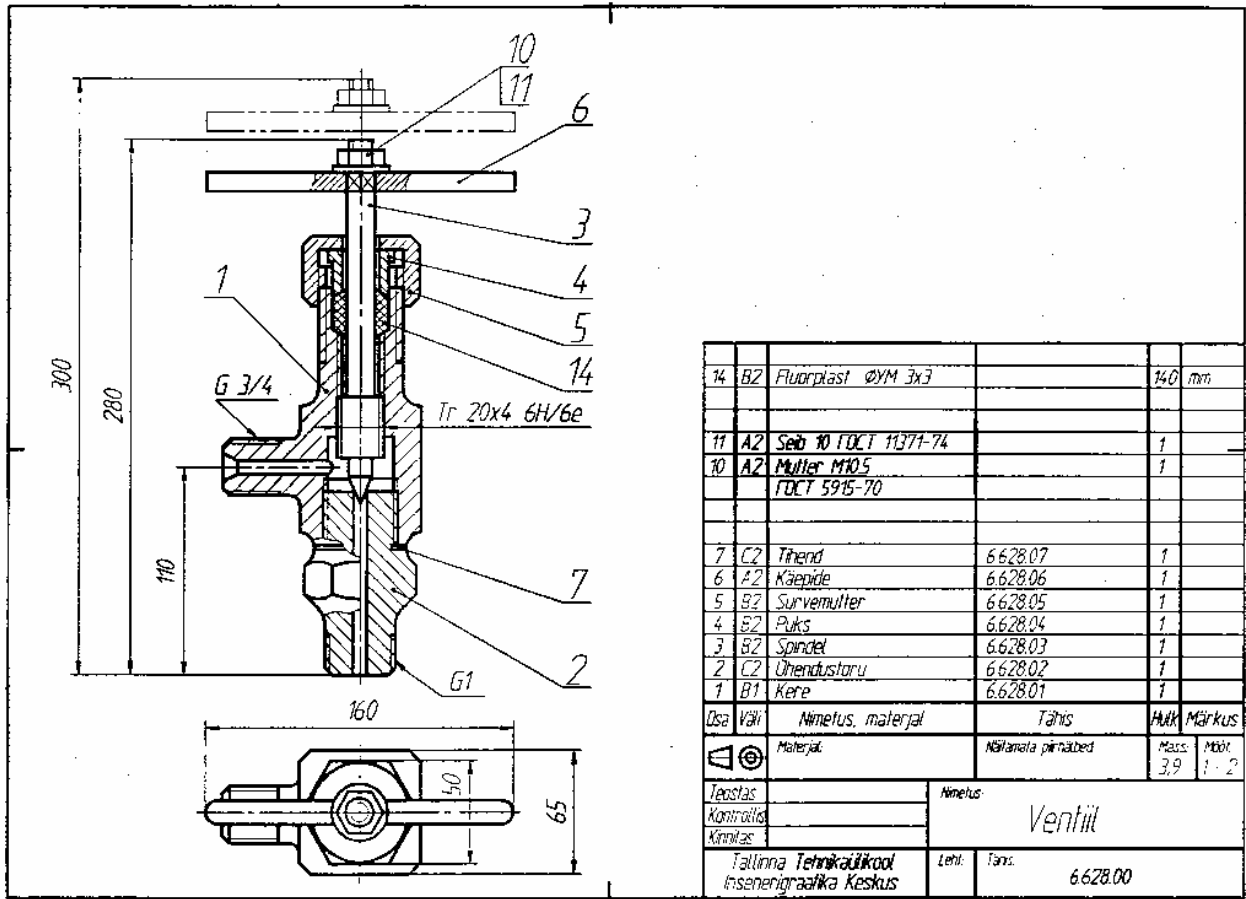


Joonis 14.1

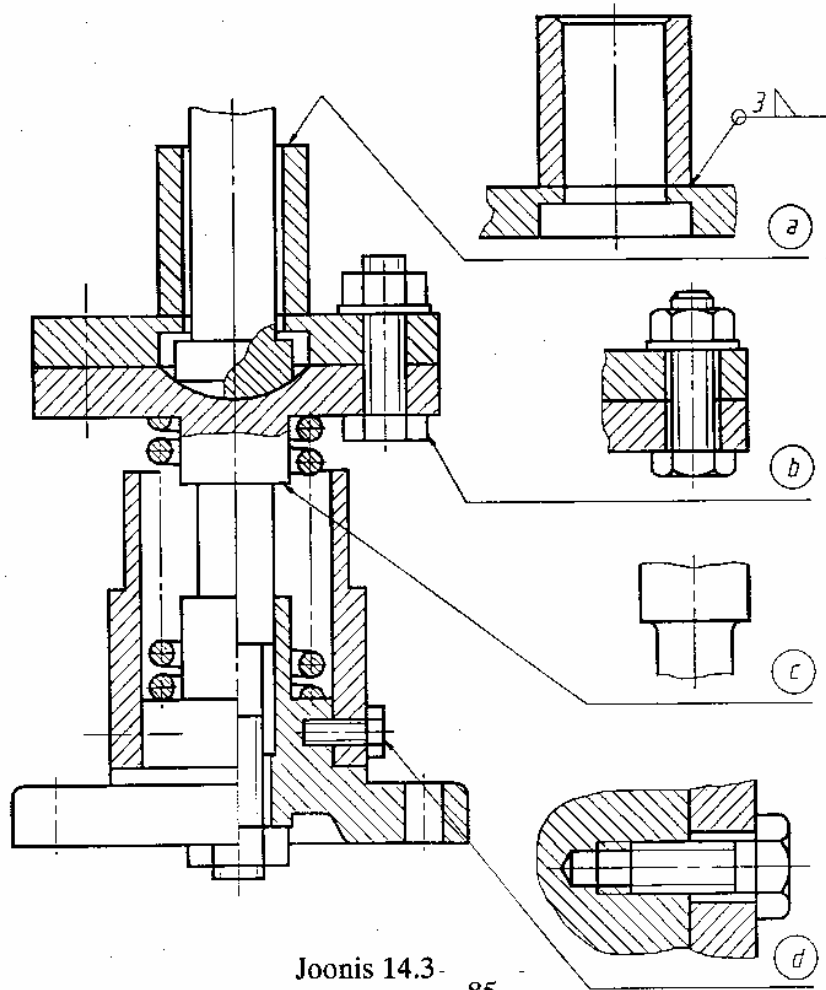
14.2 Lihtsustused koostejoonistel

Koostejooniseid saab muuta loetavamaks kasutades järgmisi lihtsustusi:

- ostetavaid alakooste (näiteks elektrimootorid, reduktorid jm) ei näidata detailselt, vaid ainult väliskontuure;
- väikesed koonilisused ja kalded näidatakse suurematena;
- kui kaas või mõni teine osa (näiteks käepide) varjab koostu detaile, siis võib need eemaldada, lisades vastava kujutise kohale sellesisulise märkuse;
- läbipaistvast materjalist tooted näidatakse läbipaistmatutena;
- pindade lõikejooned joonestatakse ringjoone osadena või sirgetena;
- kokkukeevitatud detaile viirutatakse nagu üht detaili (joonis 14.3 a);
- ei näidata faase, ümardusi, sooni, süvendeid, astmekesi, rihveldusi sälke (joonis 14.3 b, c ja d);
- võib jätta näitamata varda ja ava vahelise pilu ning poldi või tikkpoldi põhjaga ava (joonis 14.3 d);



Joonis 14.2



Joonis 14.3

- ei lõigata polte, mutreid, kruvisid, seibe, neete, liiste ja kuule. Samuti ei lõigata võlle, vardaid, telgi, spindleid, käepidemeid. Kui neis on avasid, siis tehakse avast kohtlõige;
- vedrudel võib jätta välja joonestamata osa keerde (joonis 14.3);
- ühesugused ja ühtlaselt paigutatud detailid (näiteks kinnitusdetailid), samuti detaili elemendid (näiteks hambad, avad) kujutatakse vaid üks kord; ostetavaid alakooste või detaile (näiteks veerelaagreid, tihendeid, vedrusid) kujutatakse tinglikult.

14.3 Tükitabel

Tükitabeliks nimetatakse dokumenti, mis sisaldab koostu koostisosade loetelu (alakoostud, detailid, standardse tooted, materjalid). Kõigil tükitabelis näidatud osadel on samad tähised (numbrid) mis koostejooniselgi.

ISO standardid annavad vaid üldised soovitused tükitabeli vormistamiseks. Iga projektorganisatsioon valib enda jaoks kõige sobivama tükitabeli vormi.

Tükitabel koostatakse eraldi lehtedel või ühildatakse koostejoonisega. Esimene variant on otstarbekas suure hulga (mitmekümne) koostisosade korral. Vastasel juhul on soovitatav kanda see koostejoonisele (joonis 14.2).

Eraldi lehtedel (formaadis A4) oleval tükitabelil on kirjanurgas seesama tähis mis koostejooniselgi. Kõik sissekanded tükitabelisse tehakse normkirjas.

14.4 Koostejoonise lugemine

Koostejoonise lugemise all mõistetakse joonisel kujutatud toote otstarbe selgitamist, tema ehituse ja üksikosade ühenduse ning koostöö lahtimõtestamist. Koostejoonise lugemine toimub järgmiselt.

1. Määratakse kindlaks toote nimetus ja suurus ning tutvutakse koostejoonisel leiduvate eksploatatsiooniliste andmetega.
2. Tutvutakse joonisel olevate põhiliste ja lisakujutistega ning luuakse tootest üldine ettekujutus.
3. Mõtestatakse lahti iga üksiku detaili kuju ja leitakse tükitabelist toote nimetus ja muud tema kohta esitatud andmed. Detaili otsimist alustatakse sellelt kujutiselt, kus ta on varustatud viitenumbriga. Teistelt kujutistelt leitakse ta siis juba projektsioonilist seost ja lõigete viirutust jälgides.
4. Määratakse kindlaks detailide omavaheline ühendus liidete abil (keevis-, neet-, liist-, hammas-, keermesliited) ja ühenduse iseloom (liikuv või liikumatu), samuti töötamise ajal liikuvate osade ümberpaigutuse ulatus ja toote üldine tööpõhimõte.
5. Leitakse tükitabelist kinnitusdetailid, mille abil toimub toote montaaž ja määratakse toote kokku- ja lahtimonteerimise järjekord.

15. SKEEMID

Skeem on graafiline konstruksioonidokument, milles toote koostisosi ja nendevahelisi seoseid esitatakse tinglike kujutiste (tingmärkide) abil.

Standardsete tingmärkide tähendust ei ole vaja skeemil selgitada, mittestandardsete kohta tuleb lisada selgitus.

Skeemid joonestatakse standardsetele paberiformaatidele ja varustatakse kirjanurgaga. Skeemide joonestamisel ei kasutata mõõtkava. Skeemi elemendid paigutatakse lehel ühesuguse tihedusega vältides võimaluse korral ühendusjoonte lõikumist. Kõrvutiastsevate paralleelsete ühendusjoonte vahekaugus peaks olema vähemalt 3 mm. Elemendid, mis moodustavad funktsionaalse grupi, lubatakse eraldada skeemi ülejäänud osast kriipspunkt-peenjoonega, näidates ära grupi nimetuse.

Ilmekuse huvides või skeemi piirata seadme kujutise lihtsustatud kontuuriga, mis joonestatakse välja peenjoone abil.

Skeemile võib märkida mitmesuguseid tehnilisi andmeid, mis paigutatakse vastava tingkujutise juurde või kirjanurga kohale.

Toote skeemile võib paigutada tema tööpõhimõtet selgitavaid teiste seadmete elemente, mis sellesse tootesse ei kuulu. Need elemendid eraldatakse skeemi ülejäänud osast kriipspunkt-peenjoonega ja varustatakse selgitavate andmetega.

Ühte liiki skeemil on lubatud näidata sama toote kohta koostatud mõne teist liiki skeemi elemente. Näiteks tuuakse elektriskeemil ära kine- või hüdro skeemi elemente. Kui üks skeem joonestatakse mitmele lehele, siis elementide vahelised ühendused (elektrijuhtmed, torujuhtmed jm), mis viiakse üle ühelt lehelt teisele, katkestatakse eelmisel lehel väljaspool skeemi kujuteldavaid piire. Katkestuste juurde kirjutatakse ühenduse tähis ja lehe number, kus skeemi jätkatakse. Järgmisel lehel skeemi jätkates märgitakse katkenud ühenduste juurde samad tähised, mis olid eelmisel lehel.

Sõltuvalt toote elementide liigist ja nende omavahelisest seosest eristatakse järgmisi **skeemide liike**:

Elektriskeemis näidatakse ära kõik elemendid, mis osalevad tootes toimuvais elektrilistes protsessides, samuti nende elementide vahelised elektrilised seosed. Elektriskeemidel kasutatavate elektriseadmete tingmärkidega ja skeemide endaga tutvuvad üliõpilased elektrotehnika ja elektriohutuse õppeaines.

Hüdro skeem sisaldab toote hüdrauliliste koostisosade graafilisi tingkujutisi või tähiseid ning seoseid nende vahel. Nende skeemidega kohtuvad üliõpilased hüdraulika ja pumpade kursuses.

Pneumoskeem sisaldab toote pneumaatiliste koostisosade graafilisi tingkujutisi või tähiseid ning seoseid nende vahel.

Kineskeem sisaldab mehaanilist liikumist ülekandvate toote koostisosade tinglike kujutisi või tähiseid ja nendevahelisi seoseid. Rakendusmehaanika kursuses käsitletakse lähemalt mehaanilisi ülekandeid ja nende elemente. Kinemaatiliste elementide enamkasutatavaid tähiseid ja vertikaalpuurpingi kineskeemi võib näha 3, lk. 22 – 24.

Optikaskeem määrab toote optiliste koostisosade koosseisu, paigutuse ja sidemed valguskiire käigu sihis ning mis selgitab toote optilise süsteemi ehitust ja tööd.

Vaakumiskeemil näeme seadme vakumeeritud osi, vaakumpumpasid ja torustikke.

Gaasiskeem näitab gaasiseadmeid ja neid ühendavaid torustikke.

Automaatikaskeemides kasutatavate tingmärkide ja skeemide endiga tutvuvad üliõpilased automaatika aluste ja mitmete erialakursuste raames.

Kombineeritud skeem sisaldab ühte seadmesse kuuluvate üht tüüpi, kuid erinevat liiki skeemide elemente ja sidemeid.

Lähtudes skeemi koostamise eesmärgist jaotatakse *skeemid* järgmistesse *tüüpidesse*:
Struktuuriskeem määrab toote põhiliste talituslike koostisosade ülesanded ja seosed nende vahel ning seda kasutatakse üldise ettekujutuse andmiseks tootest tema projekteerimisel ja kasutamisel.

Talitlusskeem selgitab tootes või tema koostisosades toimuvaid talituslikke protsesse ja teda kasutatakse toote tööpõhimõtte ilmentamiseks ning toote häälestamisel, reguleerimisel, kontrollimisel ja remontimisel.

Põhimõtteskeem määrab toote talituslike koostisosade täieliku koosseisu ja annab täpse ettekujutuse toote tööpõhimõttest. Põhimõtteskeemi kasutatakse toote loomisel vajalike konstruktsioonidokumentide koostamiseks ja samuti toote häälestamisel, reguleerimisel, kontrollimisel ning remontimisel.

Montaaziskeem määrab toote koostisosade omavahelised (sisemised) ühendused (iseloom, viis, vahendid, kohad jne).

Ühendusskeem määrab toote ühendused tema sidustoodetega (välised ühendused).

Üldskeem määrab kompleksi koostisosad ja nendevahelise seose kasutuskohas.

Paigutusskeem määrab toote koostisosade suhtelise asendi (omavahelise paigutuse) ja vajaduse korral ka seosed nende vahel ning mida kasutatakse muude konstruktsioonidokumentide koostamisel, toote valmistamisel ja kasutamisel.

Ühisskeemis on ühitatud eri tüüpi, kuid ühte liiki skeemid ühe toote kohta.

Skeemi nimetus määratakse kindlaks tema liigi ja tüübiga. Nimetus kirjutatakse kirjanurga nimetuse lahtrisse.

Kui skeemi elementide loetelu vormistatakse iseseisva dokumendina A4 formaadis lehtedel, siis kirjutatakse kirjanurga nimetuse lahtrisse toote nimetuse alla *Elementide loetelu*.

Skeemide koostajad püüavad teha skeemid selged, arusaadavad ja ülevaatlikud, et neid oleks mugav kasutada ja nad oleksid üheselt mõistetavad.

15.1 Operatiivkaart

Operatiivkaart on iseseisev konseptiivne plaan. Ta on:

1. vahetu ja tähtis osa tulekustutus- ja päästetööde planeerimisel;
2. oluline vahend tegevuse kiireks ja korrapäraseks alustamiseks;
3. infoallikas kohalike olude ja hoone(te)ga tutvumiseks.

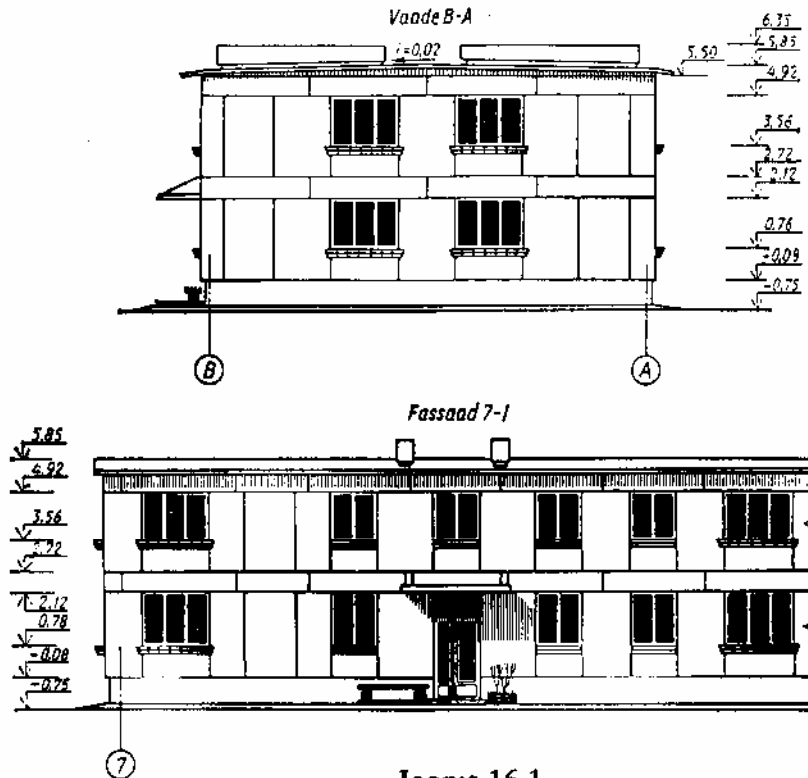
Operatiivkaardid koostatakse kõigi oluliste objektide kohta. Need on plaanid, millele on kantud objekti iseloomustav info ja tehnilised objektid tingmärkidega, millised on toodud selle konsepti lisa 1.

16.EHITUSJONISED

16.1 Kujutised ehitusjoonistel

Ehitiste kujutiste saamiseks kasutatakse peamiselt ristprojekteerimist. Arhitektuuris tehakse hoonest ilmekama pildi saamiseks ka tsentraalprojektsioone – perspektiive. Hoonete kujutised on **vaated**, horisontaallõiked – **plaanid** ja vertikaallõiked – **lõiked**. Nende abil antakse hoonest ja tema konstruktsioonidest täielik ülevaade. Hoone suurte mõõtmete tõttu vormistatakse nii vaated, plaanid kui ka lõiked tavaliselt eraldi joonistena. Väikeste hoonete puhul võib paigutada kõik kujutised ühele lehele pidades kinni projektsioonilistest seostest.

Vaadeteks nimetatakse hoone väliskujutisi esi- ja tagaküljest ning otstest. Vaadet esiküljest nimetatakse *fassaadiks* (joonis 16.1).



Joonis 16.1

Plaaniks nimetatakse hoone horisontaallõiget mõttelise tasapinna abil (joonis 16.2). Plaanil kujutatakse hoone elemente, mis asetsevad lõikepinnal ja mis jäävad selle taha vaatesse. Plaani ülesandeks on selgitada hoone põhielementide, ruumide ja neis asuvate seadmete paigutust ja suurust. Näidatakse välimised ja sisemised kandeseinad ning vaheseinad, ahjud, pliivid, vannid, sanitaartechnilised seadmed jm. Hoone põhielementide ja sanitaartechniliste seadmete tingkujutisi võib näha tabelites 16.1 ja 16.2.

Treppidel joonestatakse välja kõik astmed ja näidatakse noolega tõusu suund. Plaanil on soovitatav kirjutada igasse ruumi selle nimetus või otstarve ja põrandapindala m^2 – tes.

Suure objekti maa-ala ja sellel asuvate hoonete plaani nimetatakse *generaalplaaniks* ehk asendiplaaniks. Tingituna suurest vähendusest kujutatakse hooneid skemaatiliselt ja neile omistatakse numbrid, mis seletatakse lahti *eksplikatsioonis*. Eksplikatsioon vormistatakse tabeli kujul kas generaalplaanile või eraldi paberile. Selles antakse

vastava numbri järel hoone nimetus, kubatuur, korruste arv jm. Hoonete asendi näitamiseks ilmakaarte suhtes joonestatakse välja põhja – lõuna suund.

Lõiked ehitusjoonistel on kujutised, mis on saadud hoone mõttelisel lõikamisel vertikaaltasapinnaga (joonis 16.3). Eesmärgiks on anda ülevaade hoone ruumijaotusest kõrguse suunas. Lõikepinnad võivad kulgeda läbi hoone risti- või pikisuunas. Lõikejoon plaanil võib olla sirge või astmeline. Lõikepindu ei asetata läbi seinte pikisuunas, enamkasutatavad on lõiked ristisuunas. Lõikesse peaksid jääma ukсед ja aknad, et saaks näidata nende kõrgusi.

Kõik kujutised pealkirjastatakse (joonised 16.1, 16.2 ja 16.3). Kujutise pealkiri antakse tavaliselt märktelgede, millega kujutis liigendatakse, tähiste järgi. Näiteks *Fassaad 7-1* või *Vaade B-A* (joonis 16.1). Esimesel juhul on vaatel näidatud hoone seda osa, mis jääb märktelgede 7 ja 1 vahele, teisel juhul märktelgede B ja A vahele.

Plaani pealkiri selgitab kujutise sisu, näiteks *I korruse plaan* või *II korruse plaan* (joonis 16.2). Hoonete kohta võib valmistada ka keldri plaani, vundamendi plaani ja üldse suvalisel kõrgusel kulgevaid plaane, mis saavad oma nime kõrgusmärgi järgi, näiteks *Plaan +8,40*.

Lõike puhul näidatakse kõigepealt plaanil lõike kulgemine jämedate joonekestega ja vaate suund noolekestega (joonis 16.2). Lõige ise pealkirjastatakse samade tähistega, mis on kirjutatud plaanil vaate suunda näitavate noolekeste juurde, näiteks *Lõige 1-1* (joonis 16.3).

16.2 Mõõtmete kandmine ehitusjoonistele

Hoonete ja seadmete mõõtmed antakse ehitusjoonistel millimeetrites ilma tolerantsideta. Kui kasutatakse teisi mõõtühikuid, siis tuleb need märkida joonisele.

Mõõtmed näidatakse mõõtjoonte ja mõõtvarude abil, mis kirjutatakse mõõtjoonte peale keskkoha lähedale. Mõõtjoonte otsesse lubatakse noolekeste asemel teha kaldkriipsukesed 45° all. Kriipsukesed asuvad mõõtjoonte ja distantsjoonte lõikkohtadel ning nende pikkus on ca 3 mm.

Hoone põhiliste konstruktsioonielementide asukohad määratakse kaugustega märktelgedest. Märkteljed tõmmatakse kriipspunkt-peenjoontega ja nende otsad tuuakse kujutise piiridest välja ning lõpetatakse ca 10 mm läbimõõduga ringidega. Ringidesse kirjutatakse märktelgede tähised.

Plaanidel tõmmatakse märkteljed välja igast neljast küljest, vaadatel ja lõigetel ainult alumisest küljest. Hoonega risti kulgevad märkteljed tähistatakse araabia numbritega vasakult paremale alates numbrist 1. Piki hoonet kulgevad märkteljed tähistatakse suurte tähtedega alates tähest A.

Erinevalt masinaehitusjoonistest lubatakse ehitusjoonistel anda mõõtmeid kinniste mõõtaheladena. Samuti võib ühte ja sama mõõdet erinevatel projektsioonidel korrata.

Vaadatel ja lõigetel näidatakse hoone konstruktsioonielementide asukohad kõrgusmärkide abil. Märki tipp on suunatud elemendi asendit tähistava kõrgusjooneni. Märki riulile kirjutatakse elementide suhtelised kõrgused meetrites täpsusega 1 cm. Nullnivooks võetakse esimese korruse puhta põranda pinna kõrgus. Lõigetel antakse kõikide korruste põrandapindade ja trepimademetes kõrgused. Samuti antakse uste ja akende kõrgused.

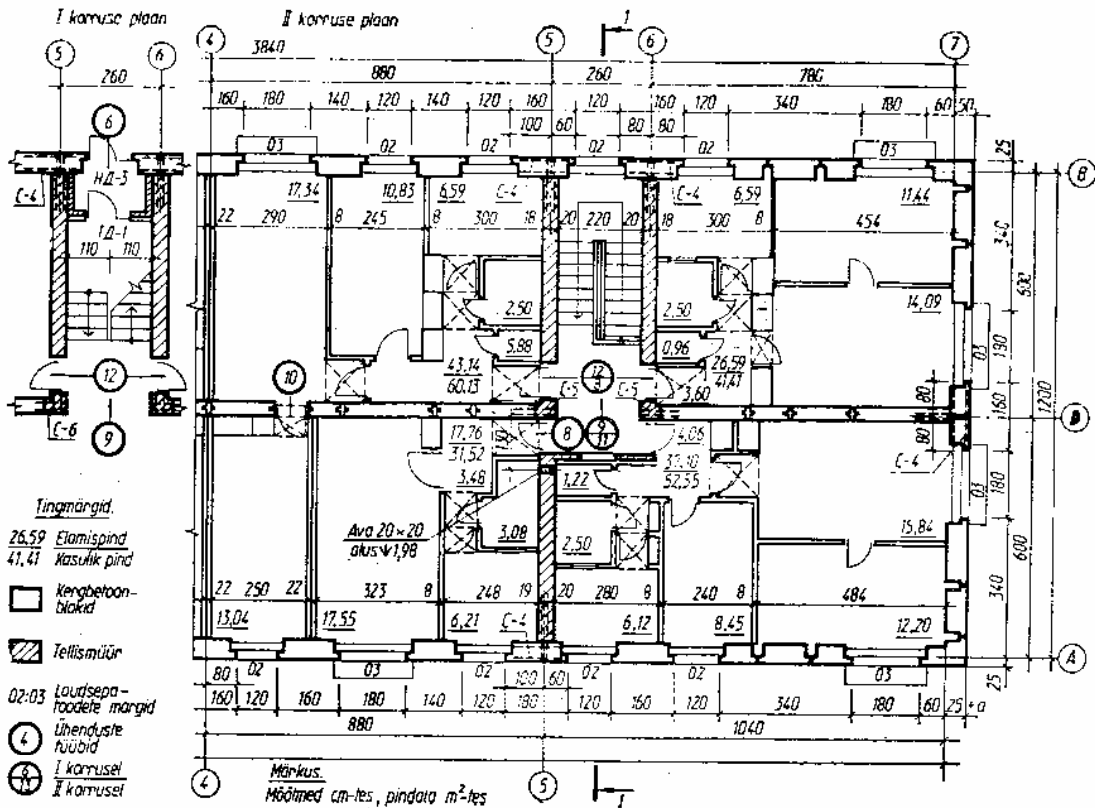
Vaadetele ei kanta horisontaalsuunalisi mõõtmeid.

Plaanidel antakse enamik mõõtmeid mõõtjoonte abil, mis paigutatakse kujutise piiridest väljaspoole. Mõõtjoonte arv võib olla vastavalt vajadusele ühest neljani. Kaugematele joontele kirjutatakse suuremad mõõtmed, näiteks võib kolmandale mõõtjoonele olla kantud märktelgede vaheline kaugus ja neljandale hoone üldine gabariitmõõde.

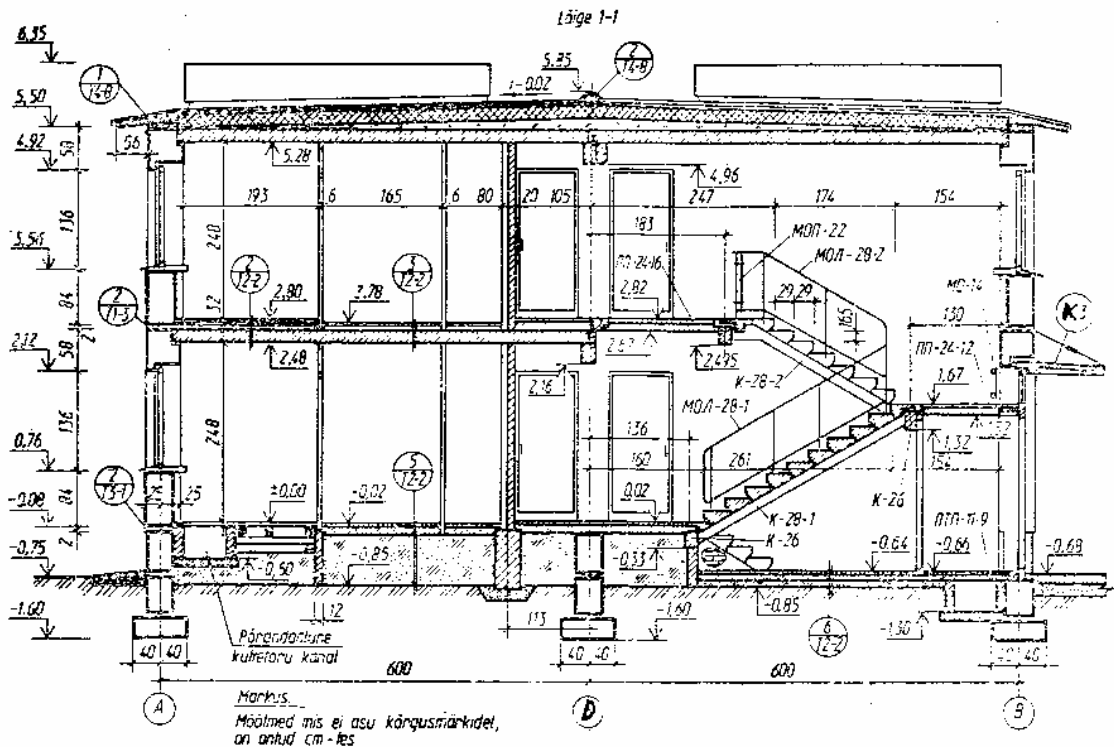
Sisemiste mõõtjoonte abil näidatakse ruumide pikkused ja laiused, seintes olevate avade mõõtmed, samuti ka seinte paksused ja seadmete paigutusmõõtmed.

7. Graafiline töö – “ELUASEME PLAAN”

Joonestada formaadile A4 oma eluaseme või selle osa plaan. Plaanil peaks olema kujutatud hoone põhilised konstruktsioonelemendid (uksed, aknad, seinad jm) ja sanitaartechnilised seadmed. Plaanile kanda ka vajalikud mõõtmed ja ruumide pindala.



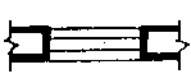

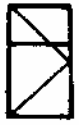
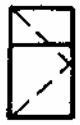



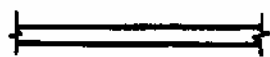

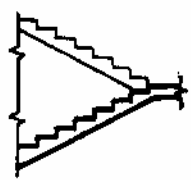
Joonis 16.2



Joonis 16.3









HOONE PÕHIELEMENTIDE TINGKUJUTISI

Tabel 16.1

Tingkujutis	Nimetus
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Plaanis</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Lõikes</p>  </div> </div>	<p>Kahekordne aken</p>
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 5px;"> <p>Väljapoole</p> <p>Sisepoole</p> </div> </div>	<p>Ühekordne aken hingedega vasakul piidal Avanemissuuna näitamisega</p>
	<p>Uks (värav) plaanis, avanemissuunaga paremale</p>
	<p>Vahesein</p>
	<p>Trepp plaanis</p>
	<p>Trepp lõikes</p>

SANITAARTEHNILISTE SEADMETE TINGKUJUTISI

Tabel 16.2

Tingkujutis	plaanil	külgsaates	Tingkujutis	plaanil	külgsaates
		WC pott			Dushialus
		Valamu			Vann

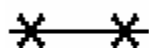
16.3 Operatiivkaart

Operatiivkaart on iseseisev konspektiivne plaan. Ta on:

1. vahetu ja tähtis osa tulekustutus- ja päästetööde planeerimisel;
2. oluline vahend tegevuse kiireks ja korrapäraseks alustamiseks;
3. infoallikas kohalike olude ja hoone(te)ga tutvumiseks.

Operatiivkaardid koostatakse kõigi oluliste objektide kohta. Need on plaanid, millele on kantud objekti iseloomustav info ja tehnilised objektid kasutades järgmisi tingmärke:

TAKISTUSED, LÄBIPÄÄSUD



Tara, aed



Värav

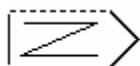


Läbipääsu kõrgus

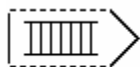


Läbipääsu laius

PÄÄSTETEHNIKA TÄHISTUS



Soovitatav päästetõstuki paigutuskoht

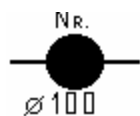


Soovitatav redelauto(de) paigutuskoht

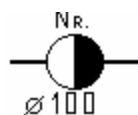


Päästetehnika ja lisajõudude kogunemiskoht

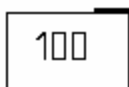
VÄLISVESIVARUSTUS



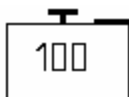
Tallinn tüüpi hüdrant



Moskva tüüpi hüdrant

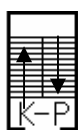


Tuletõrje veevõtukoht (maht)

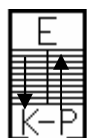


Tuletõrje veevõtukoht, millel on siiberkaev

EHITUSALASED TINGMÄRGID



Trepikoda (K- kelder, P- pööning ja korrused numbritega)



Evakuatsiooni trepikoda (E- tavaline evakuatsiooni trepikoda,
ESV- suitsuvaba evakuatsiooni trepikoda,
EÜR- ülerõhuga evakuatsiooni trepikoda)



Katuseaken



Katuse luuk, pööninguluuk



Lift (tuletõrje lift värvitakse punaseks)



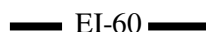
Sissepääs hoonesse (kuhu pääseb)



Statsionaarne tuletõrjeredel



Kuivtorusisend, toitesisend hoonesse



Tuletõkke sektsioon (viide juurde) punktiir



Tulemüür (punane pidev joon)



Ventilatsiooni seiskamine



Tulekustutuse tugipunkt



Automaatse tulekahjusignalisatsiooni (ATS) pult

OHUD



Ohtlik aine



Ohtlike ainete sulgemise kraanid



Elektri peakilp, varujõuseade



Elektrikilp



Suitsueraldusseadmed



Suitsuluuk



Suitsueraldusseadme käsitsi käivitus

TULEKUSTUTUSSEADMED JA SISEVESIVARUSTUS



Automaatne kustutusseade



Kustutusseadme käsitsi käivitus



Vesikustutusseade(sprinkler jt.)



Vahtkustutusseade



Gaasikustutusseade (gaasi keemilise sümbol)



Pulberkustutusseade



Tuletõrjevoolik

MUUD TINGMÄRGID



Koht, kus ööpäevaringselt viibivad inimesed



Evakueeritavate kogunemiskoht



Võtmete asukoht

Kasutatud kirjanduse loetelu

1. Riives, Jaan & Tihase, Karl. 1983. Joonestamine. – Kirjastus “Valgus”, Tallinn.
2. Riives, Jaan & Teaste, Andri & Mägi, Rein. 1996. Tehniline joonis. – Kirjastus “Valgus”, Tallinn.
3. Angelstok, Feliks. 1999. Tehniline mehaanika. – Sisekaitseakadeemia kirjastus, Tallinn.
4. Kleis, Ilmar. 1984. Rakendusmehaanika. – Kirjastus “Valgus”, Tallinn.
5. Rünk, Ott & Targo, Edgar & Tihase, Karl. Joonestamise ja joonistamise põhikursus. – Kirjastus “Valgus”, Tallinn.
6. Märtsion, Ivar. 1980. Konstruksioonidokumentide süsteemi põhimõisted. – TPI , Tallinn.
7. Kogermann, Edgar. 1998. Kujutava geomeetria üldkursus. – Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.
8. Tehnilise joonestamise põhimõisted. – Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.