

Joonestamine

Tea Hunt
Harri Annuka
Sergei Letunovitš

3D modelleerimine CNC pink Joonestamine

Kalle Kivi, Aivar Lüiste, Aron Lips,
Tea Hunt, Harri Annuka, Sergei Letunovitš



Tiigrihüppe
Sihtasutus



Euroopa Sotsiaalfondi meetme 1.1.7 alameede 1.1.7.5
"Kaasav, mitmekesine ja turvaline üldharidus"
Projekt TehnoTiiger+

Kalle Kivi, Aivar Lüiste, Aron Lips, Tea Hunt, Harri Annuka, Sergei Letunovitš
3D modelleerimine. CNC pink. Joonestamine

ISBN 978-9949-21-889-9

Trükikoda: G` [bq] f

Kujundus: Kalle Kivi

Kirjastus: Tiigrihüppe Sihtasutus

Ilmumisaeg: 2011

Tiraaž: 800 eksemplari

Litsents: Creative Commons 3.0, BY-SA

Õppematerjali väljaandmist toetab Euroopa Sotsiaalfond



Tiigrihüppe Sihtasutus ja autorid tänavad töö- ja tehnoloogiaõpetuse` [Y joonestamise õpetajaid, kes aitasid kaasa õppematerjali valmimisele.

Eessõna

Hea lugeja,

Hoiad käes õpikut, mis on valminud Tiigrihüppe Sihtasutuse projekti TehnoTiiger+ raames. Projekti rahastab Sihtasutus Innove, eraldades Euroopa Sotsiaalfondi vahendeid õpetajate koolitamiseks, õppematerjalide loomiseks ja üleriigiliste õpilaskonkursside tarbeks.

Tiigrihüppe Sihtasutuse tegevuse algusaegadest saadik on üheks olulisemaks eesmärgiks olnud innovaatilistele ja edumeelsetele ideedele rakenduse leidmine Eesti koolides. 2005. aasta alguses alustati projektiga, mille tulemusena said kõik koolid õiguse kasutada modelleerimistarkvara *Solid Edge*. Lisaks on praeguseks hetkeks üle 50 kooli saanud endale CNC freespingi ja vastava tarkvara pingi juhtimiseks.

CNC freespingid, mida juhitakse arvutiga, ei ole kasutatavad ainult maailma suurte tootjate tehastes. Neid võib kohata mööblitööstuses, masinaehituses ja mitmel muul tegevusalal paljudes ettevõtetes ka Eestis. Läheb veel aega, kuni iga soovija hakkab kodustes oludes kasutama ka näiteks 3D printerit, aga kindlasti ei ole see võimalus väga kaugel. Küllap jõuab peagi kätte ka aeg, kus igaüks võib olla disainer, tootearendaja, kunstnik ning valmistada oma loomingut ise. Mõne vajaliku detaili asendamine kodustes oludes enda looduga võiks olla jõukohane igaühele, kes algõpet saanud.

Käesolev raamat ongi mõeldud kasutamiseks üldhariduskooli põhikooli kolmanda astme tehnoloogiaõpetuse tundides, kuid siit leiavad huvipakkuvat ja õpetuslikku ka gümnaasiumiõpilased ning tudengid. Õppematerjal sisaldab kolme eriteemalist osa – „3D modelleerimine“, „CNC“ ja „Joonestamine“. Neist igaüks koosneb omakorda kahest osast – õpilase- ja õpetajaraamatust. Õpe on suunatud siduma mõttetööd ja käelist tegevust, kirjeldama toote valmimise protsessi ning mõistma koolis õpitava seoseid elukeskkonnaga.

Raamat aitab õpetajal kokku panna ühe ülevaatliku või soovi korral mitu iseseisvat kursust, kasutada õppetöös nii personaalset kui rühmatööd – vastavalt õpetaja, õpilase ja kooli soovile, vajadustele ning võimalustele. Siinjuures täname üldhariduskoolide õpetajaid, kes oma antud tagasisidega toetasid materjali valmimist sellisel kujul.

Edukat kasutamist!

Õpiku autorid
Tiigrihüppe Sihtasutus

Sisukord

Sisukord	1
1 Kujutava geomeetria algkursus	3
1.1 Nõuded joonestustööle	3
1.1.1 Jooned	3
1.1.2 Normkiri	4
1.1.3 Formaat	6
1.1.4 Raamjoon ja kirjanurk	6
1.1.5 Mõõtkava	7
1.1.6 Kordamisküsimused	7
1.2 Projekteerimine	8
1.2.1 Tsentraalprojektsioon	8
1.2.2 Paralleelprojektsioon	9
1.2.3 Ristprojektsioon	10
1.2.4 Projektsioonidele esitatavad nõuded	11
1.2.5 Kordamisküsimused	12
1.3 Monge'i meetod	13
1.3.1 Monge'i meetodi olemus. Punkti kaksvaade	13
1.3.2 Punkti kolmvaade. Projektsioonid koordinaatide järgi	14
1.3.3 Kordamisküsimused	16
1.4 Aksonomeetria	16
1.4.1 Aksonomeetria üldisloomustus ja liigid	16
1.4.2 Kordamisküsimused	18
1.5 Geomeetrilised kehad	19
1.5.1 Geomeetrilised kehade liigitus	19
1.5.2 Tahkkehaded	19
1.5.3 Pöördkehaded	22
1.5.4 Kordamisküsimused	24
1.6 Kirjandus	24
2 Tehniline joonis	25
2.1 Kujutised	25
2.1.1 Vaated	25
2.1.2 Lõiked	29
2.1.3 Ristlõiked	32
2.1.4 Väljatoodud element	34
2.2 Joonise mõõtmestamine	34
2.3 Eskiis	39
2.4 Detaili tööjoonis	39

2.5	Koostejoonis.....	40
2.6	Tükitabel	41
2.7	Kordamisküsimused	43
2.8	Kirjandus	44
	Lisad	44
	Lisa 1. Materjalide viirutused.....	44
	Lisa 2. Auto mudel, koostejoonis ja detailide tööjoonised	44

1 Kujutava geomeetria algkursus

Õppematerjalis kasutatakse geomeetriliste elementide ja nende vastastikuste asendite kirjeldamiseks järgmisi üldisi **tähiseid** ja **märke**:

Tähistus	Märk	Selgitus
A, B, C, ...; 1, 2, 3, ...		ruumi punktid
a, b, c, ...		jooned
α, φ, \dots		pinnad ja nurgad
$a \parallel b$	\parallel	paralleelsus (a on paralleelne b-ga)
$b \times c$	\times	lõikumine (b lõikub c-ga)
$c \perp d$	\perp	ristseis (c on risti d-ga)
$A \subset a$	\subset	kuuluvus (punkt A kuulub joonele a)
$A' \equiv B'$	\equiv	samasus, ühtimine (punktid A' ja B' ühtivad)
	\square	täisnurk
	\curvearrowright	pinnalaotus

1.1 Nõuded joonestustööle

Joonis on tehnika keel. Et inimesed joonisest ühte moodi aru saaksid, tuleb selle valmistamisel arvestada joonestustööle esitatavate nõuetega. Nõuetele peavad vastama:

jooned (rahvusvaheline standard ISO 128) - on joonisel kindla kuju, laiuse ja tähendusega;

normkiri - kõik tähed, märgid ja numbrid kirjutatakse jooniste jaoks loodud kirjas ning vastavalt mõõtmetele (kõrgus, laius, tähemärkide vahe);


formaad - jooniselehe suurus;







raamjoon ja **kirjanurk** - jooniseleht raamitakse ja raami alumisse paremasse nurka joonestatakse kirjanurk joonise andmetega (joonise nimi, tegija(d), mõõtkava, jms);

mõõtkava - kujutatava eseme suurus joonisel.

1.1.1 Jooned

[ISO 128-20:1996, ISO 128-23:1999(E) ja ISO 128-24:1999(E)]:

Jrk nr	Joone kirjeldus ja kujutis	Joone laius mm	Kasutamine
1.	Lai pidevjoon 	0,5	Eseme nähtavad kontuurid (piirjooned). Eseme liigendus- ja servjooned. Joonise raamjooned. Tiitelnurga (erialases kirjanduses ka kirjanurga) alaliidete lahtrite jooned.

<i>Jrk nr</i>	<i>Joone kirjeldus ja kujutis</i>	<i>Joone laius mm</i>	<i>Kasutamine</i>
2.	Kitsas pidevjoon 	0,25	Koordinaatteljed ehk ekraanide omavahelised lõikejooned. Projektsioonilist seost näitavad sidejooned. Konstruktsioonjooned. Tasandite jälgjooned. Viirutusjooned. Viitejooned ja nende laudid. Lühikesed tsentrijooned (kui ringi läbimõõt alla 12 mm).
3.	Kitsas kriipsjoon 	0,25	Eseme varjatud kontuurid (piirjooned). Eseme varjatud liigendus- ja servjooned.
4.	Kitsas pikk-kriipspunkt joon 	0,25	Kujutise sümmeetriatelgjooned. Tsentrijooned (kui ringi läbimõõt on suurem kui 12 mm).
5.	Kitsas pikk-kriipskakspunkt joon 	0,25	Murdejooned pinnalaotustel.
6.	Kitsas vabakäe pidevjoon  Kitsas siksak pidevjoon 	0,25	Katkestusjooned * * Ühel joonisel kasutatakse korraga ainult ühte liiki katkestusjooni.

MÄRKUS. Joone laius valitakse, olenevalt joonise suurusest ja tüübist, järgnevast reast: 0,13 mm; 0,18 mm; 0,25 mm; 0,35 mm; 0,5 mm; 0,7 mm; 1 mm; 1,4 mm; 2 mm. Kitsa ja laia joone laiuste suhe on 1:2.

Tabel 1

1.1.2 Normkiri

Joonisel kirjutatakse kogu tekst normkirjas. Kiri peab olema kogu joonise ulatuses ühetüübiline - kas A- või B-tüüpi ja loetav (ka pärast joonise paljundamist).

A-ja B-tüüpi kirjades on tähe kõrgus jagatud vastavalt 14-ks ja 10-ks osaks. Kiri võib olla püstine või kaldkiri.

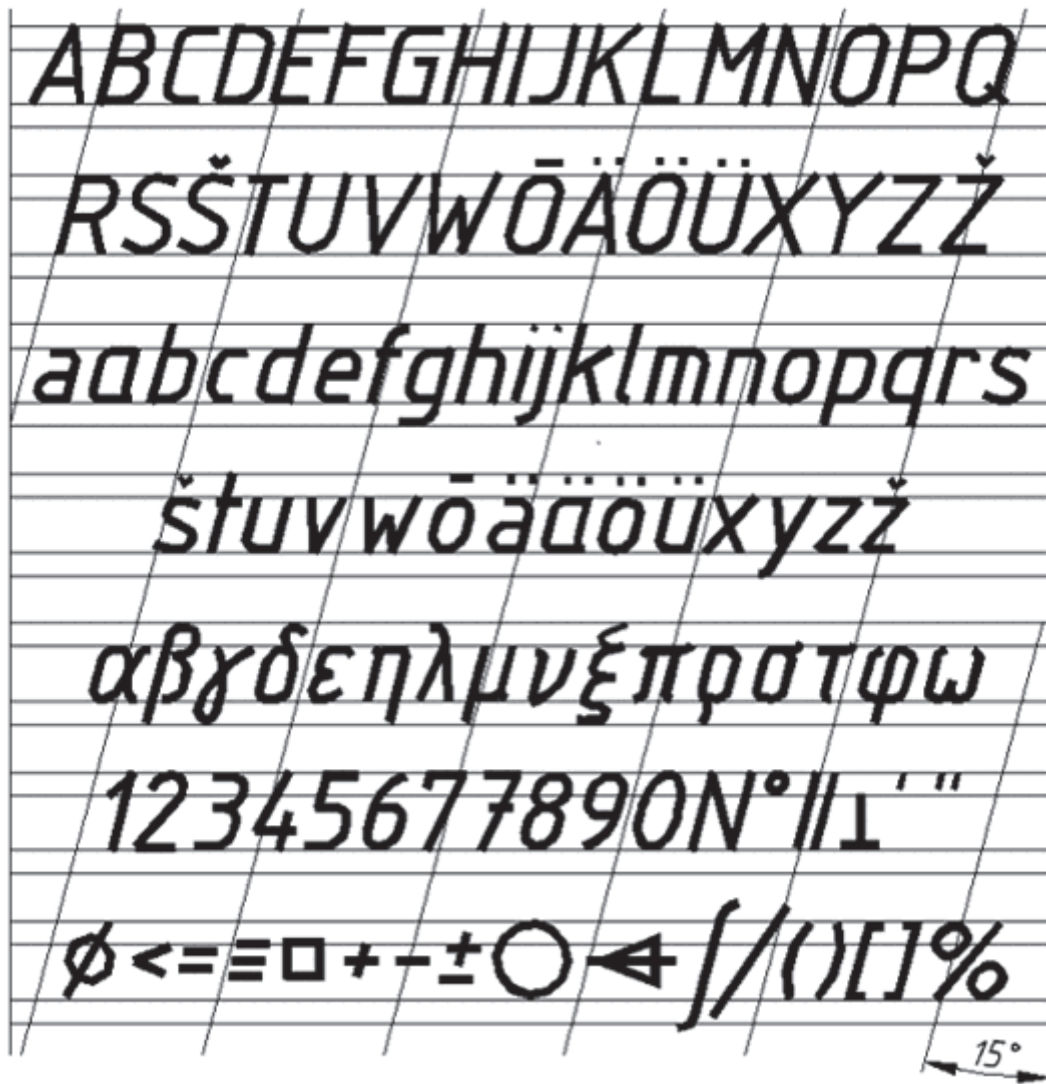
Kirja suuruseks loetakse suurtähtede kõrgust h millimeetrites. Kehtestatud on järgmised suurused: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14 ja 20 mm. Väiketähtede kõrgus ei tohi olla väiksem kui 2,5 mm. Seega kirja suurusega 2,5 saab kirjutada vaid suurtähtedega.



Joonis 1

Suurtähe kõrgusele vastav ühe rea joonestik koosneb neljast joonest. Kahe järjestikuse rea vahele jäetakse vaba ruum, mille suurus sõltub suurtähtede kõrgusest. Väiketähtede üla- ja alapikenduse, väiketähtede kõrguse ning reavahe arvutusvalemiga arvutatakse joonte vahed vastavalt suurtähtede kõrgusele (h) (joonis 1).

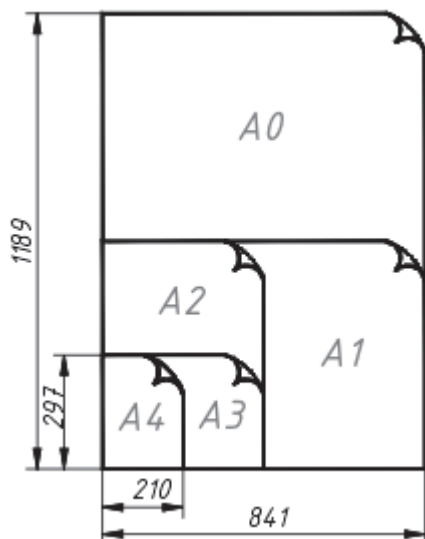
Enamkasutatava B-tüüpi normkirja suur- ja väiketähtede, numbrite ja sümbolite kuju näide (joonis 2).



Joonis 2

1.1.3 Formaats

Joonised tehakse joonestuspaberi lehtedele, mille kõrguse ja laiuse vahetegur ehk formaat on kindlaks määratud. Formaadid saadakse 1 m² suuruse pindalaga paberi järkjärgulisel jaotamisel (möödud 841 x 1189 mm). Formaatide tähistatakse tähistega A0, A1, A2, A3, A4 (joonis 3, tabel 2).

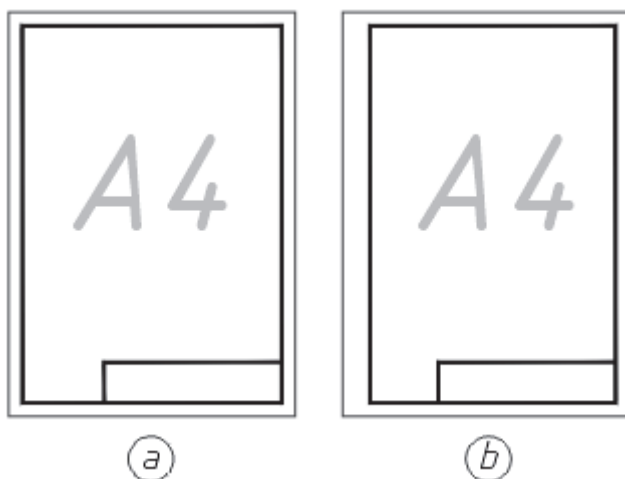


Joonis 3

Formaat	Suurus, mm
A0	841 x 1189
A1	594 x 841
A2	420 x 594
A3	297 x 420
A4	210 x 297

Tabel 2

1.1.4 Raamjoon ja kirjanurk



Joonis 4

Raamjoon joonestatakse laia pidevjoonega (laius vähemalt 0,5 mm), mille kaugus formaatilehe servadest on formaatidel A4, A3 ja A2 vähemalt 10 mm (joonis 4, a). Kui soovitakse joonise hiljem kausta kaitsta, jäetakse formaatilehe vasakpoolse püstserva ja raamjoone vahele 20 millimeetri laiune kaitseriba (joonis 4, b).

Formaatleht A4 võetakse alati ette lühem külj joonestaja poole (joonis 4).

Kirjanurk asub joonise alumises parempoolses nurgas toetudes kahe küljega vastu raamjoont (joonis 4). Sellesse kantakse järgmised andmed: asutuse nimi või selle lühend, joonise tegija ja kontrollija nimi, joonise nimi, mõõtkava, kuupäev jms informatsioon.

Iga firma koostab enda jaoks sobivaima kirjanurga vormi, arvestades ISO soovitusetega.

1.1.5 Mõõtkava

Kõik joonised luuakse kasutades kujutatava objekti suuruse määramiseks mõõtkava. Alljärgnevas on toodud meeldetuletus mõistetest, milliseid käesoleval kursusel jätkuvalt vaja läheb.

Mõõtkava (ehk mastaap) on joonisel oleva lõigu pikkuse ja lõigu tegeliku pikkuse jagatis. Ta näitab, mitu korda väiksemana (või suuremana) on joonisel tegelikkust kujutatud.

Mõõtkava võib olla esitatud kas arv- või joonmõõtkavana (mõõtskaala, skaala).

Mõõtühik (ehk ühik) on mõõtmisel aluseks võetav objekt, mille suurus loetakse võrdseks ühega.

Joonestamises on kasutusel pikkusühikud n.o pikkuste mõõtmisel aluseks võetavad mõõtühikud. Antud kursuse kontekstis on pikkusühikuks - 1 millimeeter.

Arvmõõtkava esitatakse kahe arvu suhtena.

Näiteks:

- arvmõõtkava 1:1 puhul on ese kujutatud tegelikus ehk originaalsuuruses,
- 1:2 puhul kaks korda väiksemana s.o vähendatuna,
- 5:1 korral aga viis korda suuremana s.o suurendatuna.

Arvmõõt kirjutatakse joonisel vabale pinnale lisades ette tähe "M", näiteks M1:100. Kirjanurga vastavasse lahtrisse aga lihtsalt - 1:100.

Joonmõõtkava (mõõtskaala, skaala) kujutab pikkusi (ühikuid) osadeks jaotatud sirglõigu abil. Jaotiste juures on tegelikkuse vastavad pikkused. Viimase jaotise juurde kirjutatakse mõõtühik (joonis 5).



Joonis 5. Skaala mõõtkavale M1:100

Võrdlusemõõtkava väljendab kujutatud pikkuste ja tegelike pikkuste suhet lühendatult sõnadega.

Näiteks, arvmõõtkava 1:100 puhul on võrdlusemõõtkava 1 cm - 1 m (loe: ühele sentimeetrile joonisel vastab looduses 100 sentimeetrit [1 meeter]).

Kvooditud ristprojektsiooni meetodil joonist tegema hakates on soovitatav antud arvmõõtkava väljendada esmalt võrdlusemõõtkavana. Nii on lihtne arvutada ühiklõigu pikkus (peab vastama ühele meetrile looduses) ning joonestada skaala (joonmõõtkava).

1.1.6 Kordamisküsimused

1. Nimeta kuue joonisel kasutatava joone nimetused koos iga joone kasutusotstarbega.
2. Mida nimetatakse normkirja suuruseks? Nimeta millised nõuetekohased kirja suurused on joonisel kasutusel.
3. Kui normkirja suurus on 7 mm, siis millise kõrgusega on tähtede üla- ja alapikenduste ning väiketähtede vahe ühel joonestiku real?
4. Kirjelda kuidas joonestada a) köiteribata ja b) köiteribaga raamjoont formaadile A4.
5. Mida tähendavad M1:100, M5:1 ja M1:1?
6. Joonesta mõõtkavale M1:200 joonmõõtkava.

1.2 Projekteerimine

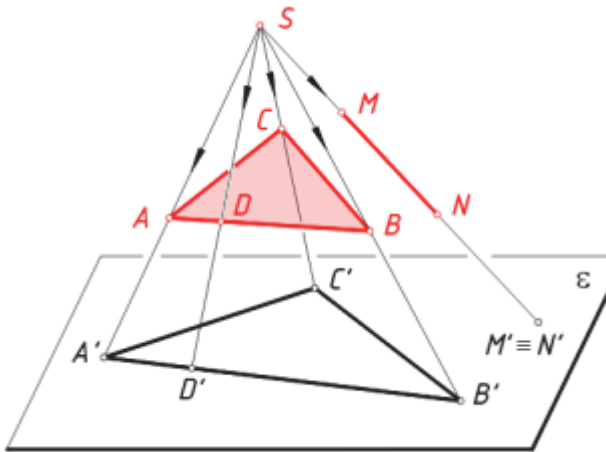
Projekteerimine on geomeetiline toiming, milles osalevad

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

Toimingu praktilist valdamist raskendab tihti asjaolu, et kaks esimest elementi esinevad harilikult kujutletavatena. Projekteerimise tulemuseks on **projektsioon** ehk **kujutis**, mida tuleb vaadelda kui objekti kõiki punkte läbivate kujutamiskiirte ja ekraani lõikepunktide kogumit. Tegelikult tuletatakse kujutised jooniste valmistamisel ainult teadlikult valitud punktide järgi, kasutades oskuslikult geomeetriliste elementide projektsioonilisi omadusi. Projektsioone (kujutisi) liigitatakse kujutamiskiirte vastastikuse asendi põhjal tsentraal- ja paralleelprojektsiooniks.

1.2.1 Tsentraalprojektsioon

Tsentraalprojektsioon on saanud oma nimetuse sellest, et projekteerimisel kasutatakse tsentraalseid kujutamiskiiri. Tsentraalprojekteerimist selgitab piltlikult joonis 6.



Joonis 6

Antud on projektsioonitasand ε ja väljaspool seda punkt S (silmapunkt, millest kujutamiskiired lähtuvad). Kujutamiskoobjektideks on kolmnurk ABC ja sirglõik MN.

Tuletada kolmnurga ABC ja sirglõigu MN tsentraalprojektsioon ekraanil ε .

Projekteerimis- ehk kujutamistsentrist S väljuvad kujutamiskiired läbivad antud kolmnurga tippe A, B ja C ning tekitavad ekraanil ε vastavate punktide kujutised. Saadud kolmnurk A'B'C' on kolmnurga ABC **tsentraalprojektsioon**. Eeltoodu põhjal võime sõnastada järgmised projektsioonide omadused.

1 - Punkti kujutiseks ekraanil on seda punkti läbiva kujutamiskiire ja ekraani lõikepunkt ($A' \equiv SA \times \varepsilon$, joonis 6).

2 - Sirgjoone projektsioon on üldjuhul sirge; erijuhul punkt, kui sirge ühtib kujutamiskiirega (MN, joonis 6).

3 - Kui punkt on mingil joonel, siis tema kujutis on selle joone kujutisel (kui $D \subset AB$, siis $D' \subset A'B'$, joonis 6).

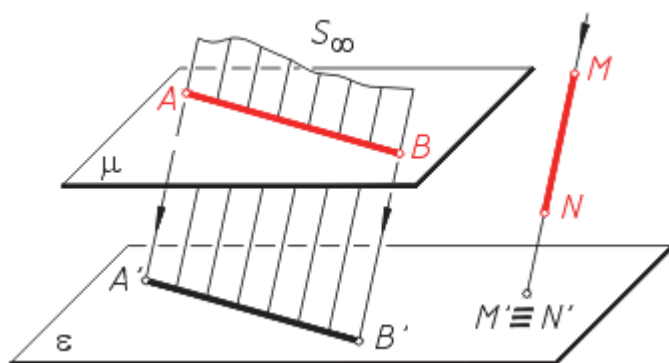
4 - Objekti üksainus kujutis ilma lisaandmeteta ei määra seda objekti ruumis.

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

1.2.2 Paralleelprojektsioon

Paralleelprojekteerimisel on kujutamiskiired omavahel paralleelsed ja saadavat kujutist nimetatakse seetõttu paralleelprojektsiooniks. Et paralleelprojektsiooni võib vaadelda kui tsentraalprojektsiooni erijuhtu, kus kujutamistsenter S on viidud lõpmata kaugemale, siis kehtivad siin eespool toodud laused 1...5. Neile lisaks on paralleelprojektsioonile omased järgmised seaduspärasused.

6 - Kui sirglõik on paralleelne ekraaniga, siis tema paralleelprojektsioon sellel ekraanil on pikkuselt võrdne ja paralleelne lõigu enesega (kui $AB \parallel \varepsilon$, siis $AB \subset \mu$, kus $\mu \parallel \varepsilon$; parallelogrammi omaduste põhjal $A'B' = AB$ ja $A'B' \parallel AB$; joonis7).



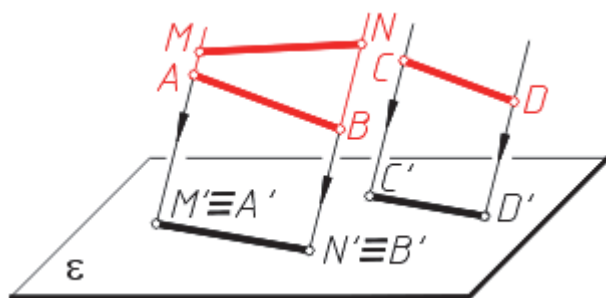
Joonis 7

Antud on ekraan ε ,
tasand $\mu \parallel \varepsilon$,
sirglõik $AB \subset \mu$ ning
sirglõik MN .

Tuletada sirglõikude AB
ja MN
paralleelprojektsioonid
ekraanil ε .

7 - Kui tasandiline kujund on paralleelne ekraaniga, siis tema paralleelprojektsioon on **kongruentne** kujundi enesega (järeldeb lausest 6).

8 - Paralleelsete sirgete paralleelprojektsioonid on üldjuhul jälle paralleelsed sirged; erijuhtudel punktikujulised või ühine joonkujutis (Kui $AB \parallel CD$, siis $A'B' \parallel C'D'$. Vastupidine ei kehti, sest $MN \nparallel CD$, ehkki $M'N' \parallel C'D'$; joonis 8).



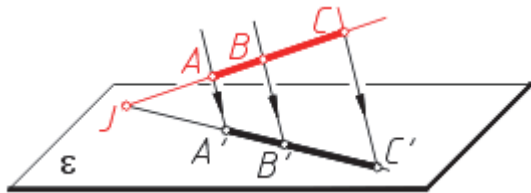
Joonis 8

Antud on ekraan ε ning kolm
sirglõiku - AB , CD ja MN .

Tuletada sirglõikude AB , CD ja
 MN paralleelprojektsioonid
ekraanil ε .

9 - Sirgjoone lõigud on võrdelised oma paralleelprojektsioonidega.

$$\left(\frac{AB}{BC} = \frac{A'B'}{B'C'} \text{ ja } \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C'}{BC} \right) \text{ (joonis 9).}$$



Joonis 9

Antud on ekraan ε ja sirglõik AC, millel on märgitud punkt B.

Tuletada punkti B paralleelprojektsioon sirglõigul AC.

Sirglõigu paralleelprojektsiooni pikkuse ja lõigu enda pikkuse suhet nimetatakse sirglõigu **moondeteguriks** (m).

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

Paralleelprojekteerimisel võib lõigu moondetegur m olla vahemikus

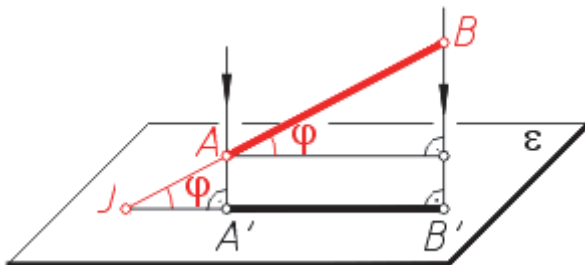
$$0 \leq m < \infty.$$

Paralleelprojektsioon jaguneb **kald- ja ristprojektsiooniks** vastavalt sellele, kas kiired langevad ekraanile kaldu või risti.

1.2.3 Ristprojektsioon

Et ristprojektsioon on paralleelprojektsiooni alaliik, siis kehtivad siin kõik eespool toodud laused 1...9. Lisaks sellele on ristprojektsioonil veel järgmised eriomadused.

10 - Sirglõigu ristprojektsiooni pikkus võrdub lõigu enda pikkuse ja kaldenurga koosinuse korrutisega ($A'B' = AB \times \cos \varphi$; joonis 10).



Joonis 10

Antud on ekraan ε ja sirglõik AB.

Tuletada sirglõigu AB ristprojektsioon ekraanil ε .

Sirgjoone kaldenurgaks ekraani suhtes nimetatakse teravnurka (kaasa arvatud 0° ja 90°) selle sirge ja tema ristprojektsiooni vahel.

Järelikult on ristprojekteerimisel lõigu moondetegur avaldatav nurgafunktsiooni kaudu

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \cos \varphi.$$

Et $\cos \varphi \leq 1$, siis jääb ristprojekteerimisel lõigu moondetegur m vahemikku

$$0 \leq m \leq 1.$$

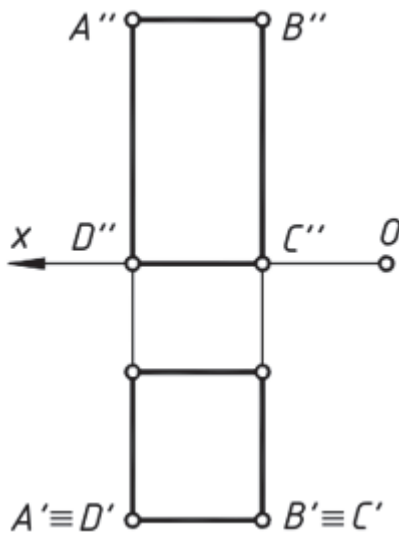
11 - Täisnurk projekteerub ristprojekteerimisel täisnurgaks, kui tema üks haar asetseb ekraanil või on sellega paralleelne, teine haar aga pole ekraaniga risti.

Teravnurga ristprojektsioon võib nurga asendist tingitult olla piires 0° kuni 180° .

1.2.4 Projektsioonidele esitatavad nõuded

Valmistamise ja kasutamise seisukohalt on kujutisel kolm olulist omadust: **lihtsus**, **möödetavus** ja **piltlikkus**. Ühe või teise omaduse eelistatus sõltub kujutise kasutamise valdkonnast ja eesmärgist. Kujutavas geomeetrias ja tehnikas peetakse oluliseks kujutiste lihtsust ja möödetavust, sest joonised siin peavad olema **objekti määravad**, s.o. üheselt määrama objekti kõik geomeetrilised omadused. Teatavasti üksainus kujutis lisaandmeteta ei suuda täita seda nõuet. Seetõttu kasutatakse praktikas lisaandmete valikust olenevalt järgmisi objekti määravate jooniste saamise meetodeid:

1) **Monge'i** (loe: monž) **meetod**;

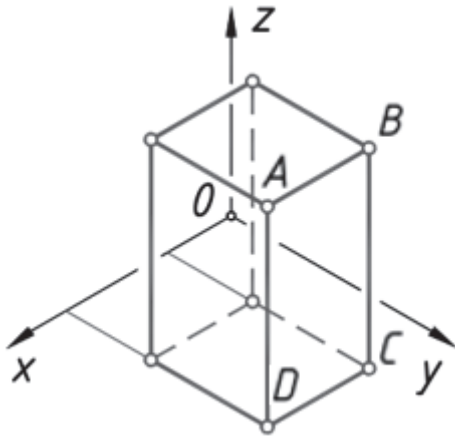


Joonis 11

Monge'i meetodi puhul kasutatakse objekti määramiseks selle objekti kahte ristprojektsiooni teineteisega ristuvatel ekraanidel. Seejärel pööratakse ekraanid koos kujutistega ühele tasapinnale – joonisepinna (joonis 11). Keerukamate tehniliste objektide kujutamisel tuleb objektist täiendavaid ristprojektsioone, mis samuti pööratakse joonisepinna. Niiviisi saadud joonist, mis koosneb mitmest omavahel seotud ristprojektsioonist, nimetatakse **mituvaateks**.

Seda meetodit on viimistlenud prantsuse matemaatik Gaspard Monge ning siit ka nimetus **Monge'i meetod**, mis on käesoleval ajal üks põhilisemaid selles geomeetria osas, mis käsitleb geomeetriliste kehade kujutamise viise tasapinnal ja mida nimetatakse **kujutavaks geometriaks**. Monge'i meetodit kasutatakse laialdaselt ehitiste, hoonete plaanide, detailide või seadmete projekteerimisel. Selle meetodiga teostatakse joonisel konstruktsioone, mis baseeruvad planimeetria ja stereomeetria mõistetel.

2) aksonomeetria meetod;

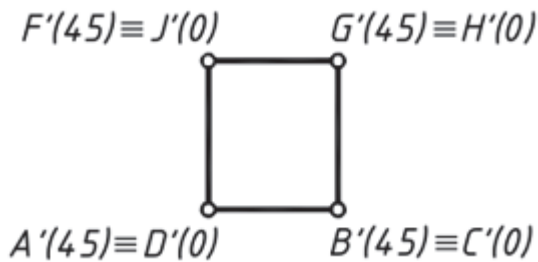


Joonis 12

Aksonomeetria meetodit kasutatakse detailide, koostude jt objektide ilmekamaks kujutamiseks, mille järgi oleks võimalik määrata objekti mõõtmeid. Piltkujutist, mille konstrueerimisel kasutatakse abivahendina teljestiku kujutist, nimetatakse **aksonomeetriliseks kujutiseks**.

Aksonomeetriline projektsioon võimaldab objekti ruumilist kujutamist ühes vaates s.o. korraga kolmes mõõtnes: pikkus, laius, kõrgus. Selline olukord saavutatakse objekti paigutamise ruumi nii, et ühele projektsioonipinnale projekteerub nähtavalt üheaegselt tema kolm eri tasapinnas asetsevat külge. Nimetatud külgede kujutamiseks tuleb tõmmata kontuurid paralleelselt aksonomeetria teljestiku telgedega (joonis 12).

3) kvooditud ristprojektsiooni meetod;



Joonis 13

Lihtsaim viis ruumilise objekti kujutise saamiseks on selle objekti ristprojektsiooni tuletamine ühel ekraanil (tasandil). See ekraan võetakse harilikult rõhtne ning kiired on siis püstsihilised. Et objekti punktide asukohad ekraani suhtes oleksid üheselt määratud, tuleb peale ristprojektsioonide anda ka punktide kaugused ekraanist. Seda kaugust või vastavat mõõtarvu nimetatakse punkti kvoodiks (lad. k. „quot“ – kui palju).

Kui lisaks eseme punktide ristprojektsioonidele on antud ka kvoodid, siis nimetatakse kujutist **kvooditud ristprojektsiooniks** (joonis 13). Kvooditud ristprojektsiooni põhimõttel on valmistatud kõik topograafilised kaardid.

Kujutava geomeetria kursuses kasutatakse põhiliselt kahte esimest meetodit.

1.2.5 Kordamisküsimused

1. Mis vahe on tsentraal- ja paralleelprojekteerimisel?
2. Kuidas jaguneb paralleelprojektsioon ja mille poolest need projektsioonid üksteisest erinevad?
3. Miks ühest projektsioonist koosnev joonis ilma lisaandmeteta ei määra objekti?
4. Mis juhtumil sirgjoone projektsiooniks tuleb punkt?
5. Mis juhtumil tasapinnalise kujundi paralleelprojektsiooniks tuleb sirglõik?
6. Mis on sirglõigu moondetegur?
7. Millistes piirides võib muutuda sirglõigu moondetegur: 1) ristprojekteerimisel, 2) paralleelprojekteerimisel?
8. Mis kujundiks projekteerub paralleelprojekteerimisel ring, kui ta on: 1) paralleelne kiirtega, 2) paralleelne ekraaniga?
9. Kuidas avaldub sirglõigu ristprojektsiooni pikkus selle lõigu kaldenurga ja pikkuse kaudu?
10. Mis on sirglõigu kaldenurk?
11. Millistes piirides võib muutuda teravnurga ristprojektsiooni suurus?
12. Sõnastage lause täisnurga ristprojektsiooni kohta.
13. Missugustele nõuetele peavad joonised vastama?
14. Nimetage objekti määravate jooniste saamise põhilised meetodid.
15. Mida mõistame mõiste "joonise lugemine" all.

1.3 Monge'i meetod

1.3.1 Monge'i meetodi olemus. Punkti kaksvaade

Objektist tuletatakse mitu ristprojektsiooni ekraanidel, mis on üksteisega risti. Seejärel pööratakse ekraanid koos kujutistega ühele tasandile - joonisepinnaile. Niiviisi saadud joonist, mis koosneb mitmest omavahel seotud ristprojektsioonist, nimetatakse **mituvaateks**.

Meetodi võttis kasutusele prantsuse õpetlane ja insener **Gaspard Monge** (1746 - 1818). Kaksvaate saamiseks võetakse kaks teineteisega risti olevat ekraani (joonis 14, 15), kus

- $\varepsilon_1 \equiv xy$ -tasand - põhiekraan;
- $\varepsilon_2 \equiv xz$ -tasand - esiekraan;
- $x \equiv \varepsilon_1 \times \varepsilon_2$ - kaksvaate telg;
- k_1 ja k_2 - põhi- ja esikiir.

Näiteks pärast punkti A projekteerimist ekraanidele ja punkti kujutise A' pööramist koos põhiekraaniga ümber x-telje ühtimiseni esiekraaniga saadaksegi joonis (kaksvaade), kus

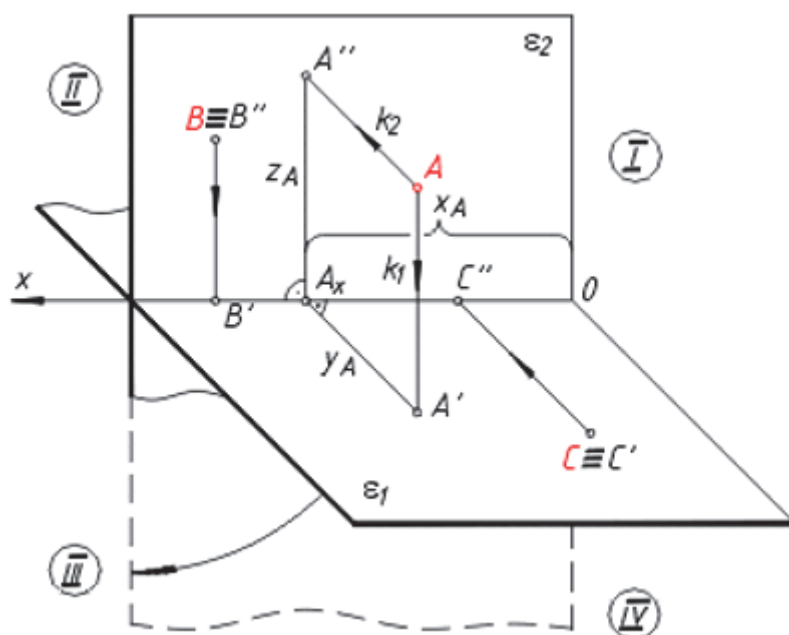
A' (loe: A prim) - punkti A pealtvaade;

A'' (loe: A sekund) - punkti A eestvaade;

$A'A''$ - sidejoon (projektsioone ühendav sirge);

$Ax A'' = A'A$ - põhikvoot (kaugus ε_1 -st);

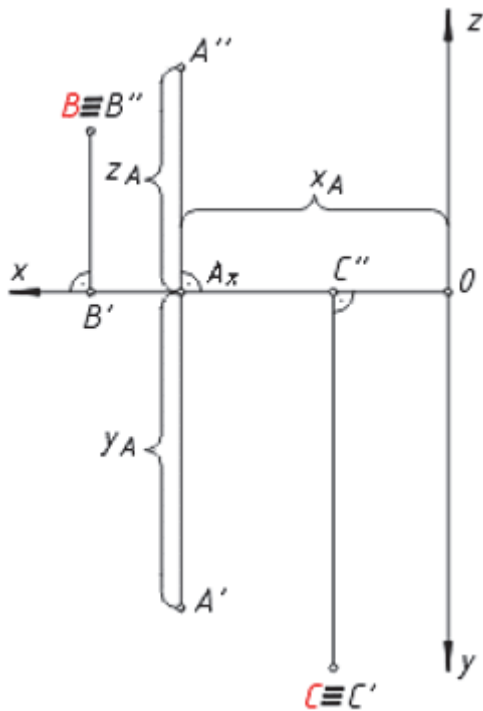
$Ax A' = A''A$ - esikvoot (kaugus ε_2 -st).



Antud on ekraanid ε_1 ja ε_2 ning punktid A, B ja C.

Tuletada punktide A, B ja C kaksvaade (joonis 15).

Joonis 14



Punktide A, B ja C kaksvaade.

Joonis 15

Kaksvaate tähtsamad omadused:

1. Sidejoon on alati risti kaksvaate teljega ($A'A'' \perp x$) ja tema kaudu avaldub kujutistevaheline projektsiooniline seos.
2. Punkti kaugust põhiekraanist (põhikvooti) näitab eestvaate kaugus x-teljest ($A''A_x = AA'$); punkti kaugust esiekraanist (esikvooti) aga näitab pealtvaate kaugus x-teljest ($A'A_x = AA''$).
3. Kui punkt on esiekraanil (nagu B), siis tema eestvaade ühtib punkti enesega, pealtvaade aga on x-teljel. Paikneb aga punkt põhiekraanil (nagu C), siis ühtib tema pealtvaade punkti enesega ja eestvaade on x-teljel.

Nagu näha jooniselt 14, jaotavad ristuvad ekraanid kogu ruumi neljaks ruumiveerandiks (I, II, III, IV). Harilikult asetatakse kujutatav objekt esimesse ruumiveerandisse. Sel juhul saadakse kaksvaatel harjumuspärane kujutiste paiknemine - eestvaade teljest kõrgemal, pealtvaade madalamal. Punkti asukoha määramiseks ruumis kaksvaate järgi peab teadma, et

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

1.3.2 Punkti kolmvaade. Projektsioonid koordinaatide järgi

Kaksvaade määrab küll punkti asukoha ekraanide suhtes, kuid ei suuda ära määrata keerukamaid objekte, sest suure arvu punktide tähistamine joonisel pole võimalik. Objekti määrava joonise saamiseks võetakse siis kasutusele x-teljega risti asetsev kolmas ekraan (joonis 16, 17)

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

Ekraanide ε_1 ja ε_3 pööramisega esiekraani ε_2 tasandile saadaksegi kolmvaade, kus

A''' (loe A terts) on külgvaade.

Sisuliselt koosneb kolmvaade kahest kaksvaatest, moodustatuna ekraanipaaridest $\varepsilon_1 \perp \varepsilon_2$ ja $\varepsilon_2 \perp \varepsilon_3$. Et esiekraan esineb kummaski kaksvaates, siis nimetatakse siin esiekraani **peaekraaniks**, eestvaadet aga **peakujutiseks**. Eeltoodust tingitult esineb punkti esikvoot ehk peakvoot kolmvaates kaks korda - pealtvaate kaugusena x-teljest ja külgsaate kaugusena z-teljest (joonis 16):

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

Seda seost nimetatakse **kolmvaate peomaduseks** ja ta on aluseks objekti kolmanda kujutise tuletamisel antud kaksvaate põhjal.

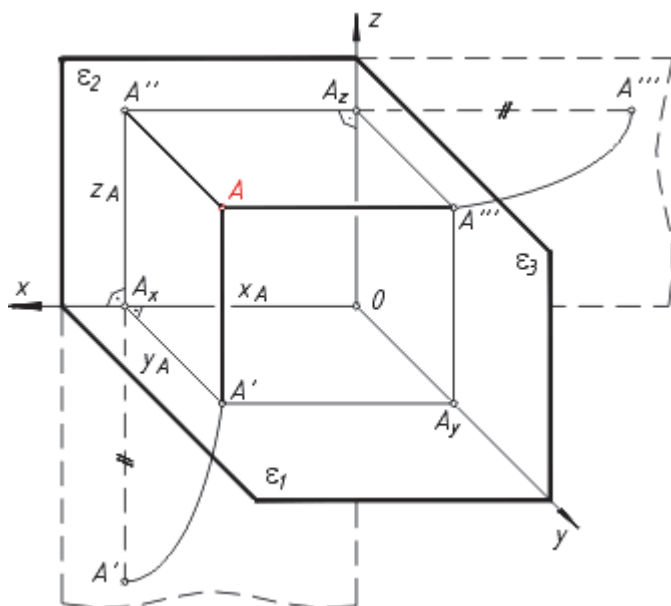
Kui punkt on antud oma koordinaatidega (ja soovitakse saada tema kaks- või kolmvaadet, siis tuletatakse kujutised koordinaatlõikude abil (joonis 14, 16).

x-koordinaatlõik (külgsaate)	$\mathbf{x}_A = OA_x = A''A;$
y-koordinaatlõik (esikvoot)	$\mathbf{y}_A = OA_y = A'A;$
z-koordinaatlõik (põhikvoot)	$\mathbf{z}_A = OA_z = A'''A.$

Et koordinaatlõigud on suunatud suurused, s.o. positiivsed ja negatiivsed, tuleb kujutiste märkimisel igale ekraanile hoolikalt jälgida telgede suundi. Ei tohi unustada, et telg y_1 kuulub põhiekraani ja y_3 külgekraani juurde. Seega märgitakse y-koordinaatlõik pealtvaate tuletamisel y_1 ja külgsaate tuletamisel y_3 järgi.

Praktiliselt seisneb näiteks punkti $A(x; y; z)$ kolmvaate tuletamine järgmiselt koostatud murdjoonte joonestamises (joonis 16):

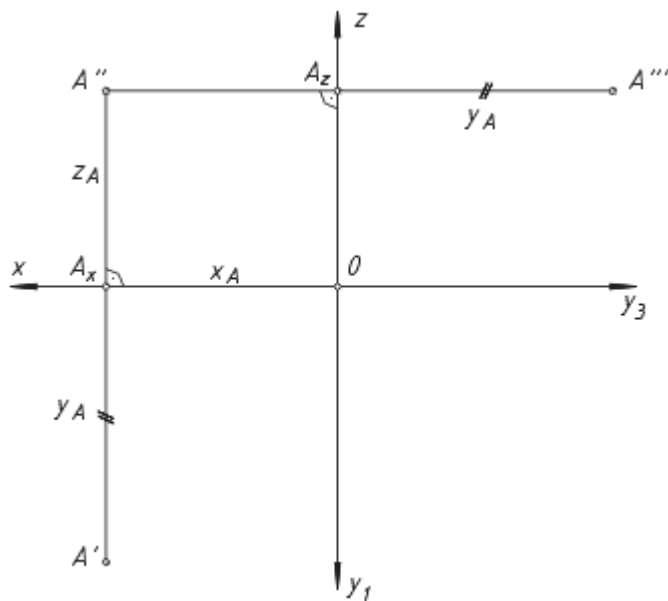
- pealtvaate $A'(x,y)$ jaoks lõikudest OA_x ja A_xA' ;
- eestvaate $A''(x,z)$ jaoks lõikudest OA_z ja A_zA'' ;
- külgsaate $A'''(y,z)$ jaoks lõikudest OA_y ja A_yA''' .



Joonis 16

Antud on kolm ekraani $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ning punkt A.

Tuletada punkti A kolmvaade.



Punkti A kolmvaade.

Joonis 17

1.3.3 Kordamisküsimused

1. Mis on punkti koordinaadid?
2. Missugustele koordinaatlõikudele vastavad põhi-, esi- ja külgvoot?
3. Missuguse koordinaatlõiguga võrdub punkti külgvaate kaugus z-teljest?
4. Missugust joont punkti kaksvaatel nimetatakse sidejooneks?
5. Sõnastage kolmvaate peaomadus.

1.4 Aksonomeetria

1.4.1 Aksonomeetria üldiseloomustus ja liigid

Aksonomeetriaks nimetatakse niisugust kujutamisi, milles kujutis konstrueeritakse objekti punktide ristkoordinaatide järgi teljestiku kujutise baasil. Sel viisil valmistatud kujutisi nimetatakse **aksonomeetrilisteks kujutisteks**. Aksonomeetrilise kujutise tuletamiseks on vaja:

- siduda kujutatav objekt ristteljestikuga;
- joonestada teljestiku kujutis ja täpsustada moondeegurid telgedel;
- tuletada objekti kujutis, kasutades punktide märkimiseks koordinaatlõikude murdjooni.

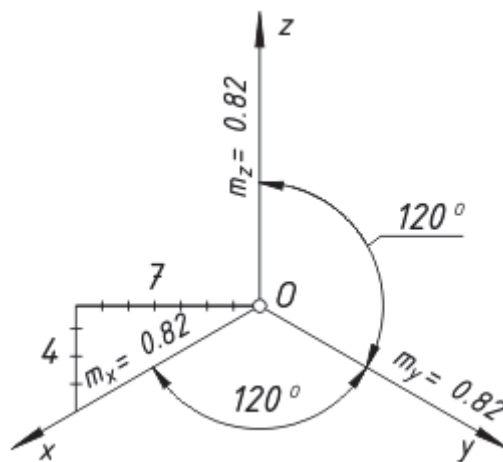
Aksonomeetria põhiliseks probleemiks on seega õigete ja sobivate projektsioonide tuletamine teljestikust kui omaette kujutamisiobjektist. Põhiliselt kasutatakse aksonomeerias paralleelprojekteerimist. Sõltuvalt sellest, kas teljestikust tehakse rist- või kaldprojektsioon, liigitatakse ka aksonomeetriat vastavalt **rist- ja kaldaksonomeetriaks**. Aksonomeetriliste kujutiste konstrueerimisel tuleb arvestada telgede asendist tingitud moondeegureid (ühiklõigu kujutise ja tõelise pikkuse suhe). Teljestiku ja temaga seotud objekti aksonomeetrilisi kujutisi liigitatakse telgede moondeegurite vahekorral alusel järgmiselt:

1. **Isomeetrilised** ehk võrdmõõdulised ($m_x = m_y = m_z$).
2. **Dimeetrilised** ehk kahemõõdulised ($m_x = m_z; m_x \neq m_y$).
3. **Trimeetrilised** ehk kolmemõõdulised ($m_x \neq m_y \neq m_z$).

Vastavalt kasutatud projektsiooni liigile ja moondetegurite vahekorrale saavad aksonomeetria liigid ka oma nimetuse. Järgnevalt tutvustame rist- ja kaldaksonomeetria olulisemaid liike.

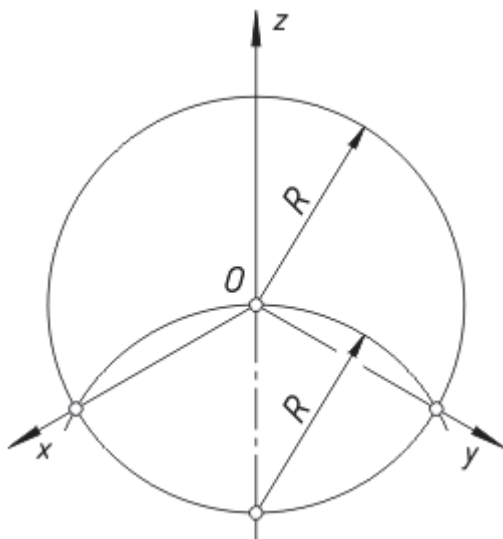
1. Isomeetiline ristaksonomeetria ehk **ristisomeetria** on ristprojektsioon, kus teljestik on kujutise saamiseks paigutatud ekraani suhtes võrdkaldeliselt. Nurgad telgede

kujutiste vahel on sel juhul 120° ja moondetegurid kõigil telgedel $\sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0,82$. Teljestikku saab konstrueerida kahte moodi: vaba pikkusega ühiklõigu (joonis 18) ja vaba pikkusega raadiuslõigu abil (joonis 19).



Joonis 18

Praktikas kantakse kõik koordinaatlõigud vastavate telgede kujutiste sihis tõelises suurus ja objektist saadakse suurendatud kujutis. Seega kasutatakse tegelikus joonestamistöös nn. **taandatud moondetegureid 1**. Eelnevast tulenevalt saame antud teljestikus kujutised tegelikkusega võrreldes suuremad 1,22 korda. Ristisomeetrilise kujutise **suurendusteguri** (k) arvutusvalem: $k=1/0,82 \cdot 1,22$.



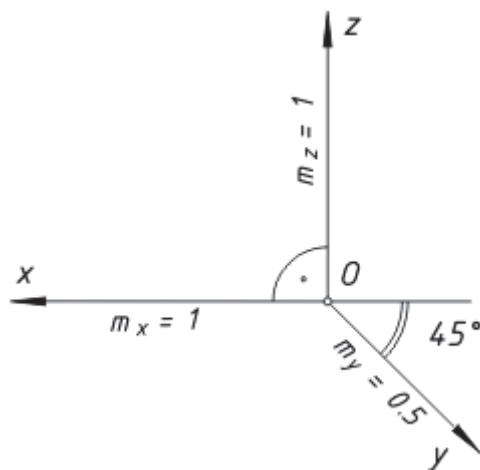
Joonis 19

Joonisel 19 on näidatud ristisomeetria teljestiku kujutise konstruktsioon kasutades sirklit. Alustatakse z-telje joonestamisest ja sellel koordinaatide alguspunkti O märkimisest.

NB! Ristisomeetrias on telgede vahelised nurgad 120° , telgede moondetegurite vahekorrd võetakse 1:1:1 ning kõik sirglõigud, mis asetsevad telgedel või on nendega paralleelsed, kantakse üle tegelikus pikkuses.

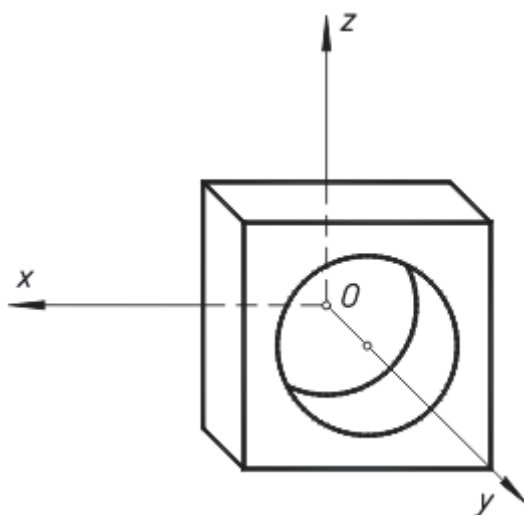
Praktikas tuletatakse objekti ristsomeetri-line kujutis objekti iseloomulike punktide kandmisega teljestikku vastavalt punkti koordinaatlõikudele (x,y,z) . Hiljem punktid ühendatakse vastavalt objekti kujule ja servade nähtavusele (joonis 12).

2. Frontaalne dimeetriline kaldaksonomeetria ehk **frontaalne kalddimeetria** on kaldprojektsioon, kus ekraaniks võetakse xz -pind ja y -telg projekteeritakse sinna kaldkiirte abil. Kui kujutamiskiired on valitud nii, et y -telje kujutis tuleb telgede x ja z vahelise täisnurga poolitajale ning ühiklõik teljel projekteerub poole lühemana, on tegemist kabinetprojektsiooniga (joonis 20).



Joonis 20

Frontaalse kaldaksonomeetria eriliseks omaduseks on see, et kõik xz -pinnaga paralleelsed tasandilised kujundid projekteeruvad moondevabalt, näitena on lihtsa objekti kabinetprojektsioon (joonis 21).



Joonis 21

1.4.2 Kordamisküsimused

1. Milles seisneb aksonomeetria meetodi olemus?
2. Kuidas liigitatakse aksonomeetrilisi kujutisi a) teljestiku projektsiooni liigi alusel; b) telgede moondetegurite vahekorra alusel?
3. Mis kujundiks projekteerub kera ristsomeetrias?

- Mis kujund on ringjoone ristisomeetiline kujutis, kui ringjoon on paralleelne $xy(xz, yz)$ -pinnaga?
- Skitseerige ristisomeetrilise teljestiku konstruktsioon (märkida juurde telgede moondetegurid).
- Skitseerige frontaalse kalddimeetria teljestiku konstruktsioon (märkida juurde telgede moondetegurid).

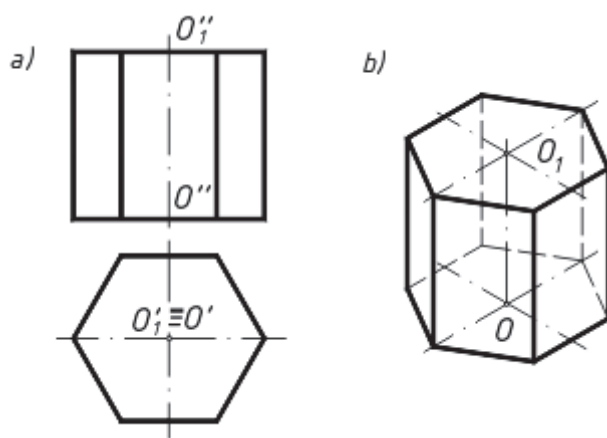
1.5 Geomeetrilised kehad

1.5.1 Geomeetrilised kehade liigitus

Geomeetrilist kujundit, mille kõik punktid ei asetse ühel tasandil, näiteks kuup, nimetatakse **ruumiliseks kujundiks**. Ruumi osa, mida piiravad pindade osad, nimetatakse **geomeetriliseks kehaks**. Tinglikult võib geomeetrilisi kehi liigitada kahte ruumiliste kehade gruppi - **tahkkehad** ja **pöördkehad**. Tahkkehad koosnevad hulknurkadest; pöördkehad tekivad tasandilise kujundi pöörlemisel ümber kujundi tasandil asetseva sirge.

1.5.2 Tahkkehad

Hulktahukaks e **polüeedriks** (kr *poly* - palju, *hedra* - tahk) nimetatakse geomeetrilist keha, mida piiravad hulknurgad. Hulktahukat piiravaid hulknurki nimetatakse hulktahuka **tahkudeks**, hulknurkade tippe hulktahuka **tippudeks**, ning hulknurkade külgi hulktahuka **servadeks**.



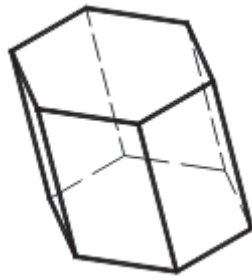
Prismaks nimetatakse niisugust hulktahukat, mille kaks tahku on võrdsete ja vastavalt paralleelsete külgedega hulknurgad ja kõik teised tahud on rööpkülilikud, millel on kummagi hulknurgaga üks ühine külg (joonis 22, a).

Paralleelseid tahke nimetatakse prisma **põhjadeks**, ülejäänud tahke aga **külgtahkudeks**. Prisma põhjade vaheline kaugus on prisma **kõrgus** - lõik OO_1 (joonis 22).

Joonis 22. Prisma: a) kaksvaatel b) piltkujutisena.

Prismad liigitatakse:

- püst- ja kaldprismadeks (joonised 22 ja 23, 24),
- korrapärasteks ja mittekorrapärasteks,
- kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne; üldiselt *n*-nurkseteks prismadeks.



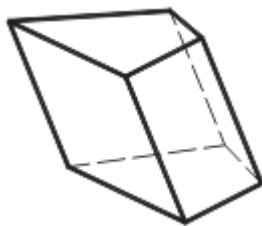
Joonis 23. Kaldprisma.

Püstprismaks nimetatakse prisma, mille külgservad on risti põhjadega (joonis 22, a). Püstprisma külgtahkudeks on ristkülikud.

Kaldprismaks nimetatakse prisma, mille külgservad ei ole risti põhjadega (joonis 23).

Korrapäraseks prismaks nimetatakse püstprisma, mille põhjadeks on korrapärased hulknurgad (joonis 22).

Kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne, üldiselt n -nurkseteks prismadeks nimetatakse prismaid, mille põhjaks on vastavalt kolmnurgad, nelinurgad jne, n -nurgad.



Joonis 24. Mittekorrapärane kaldprisma.

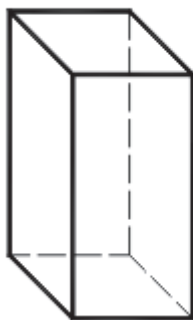
Mittekorrapäraseks

nimetatakse prisma, mis ei ole püstprisma, või püstprisma, mille põhjaks ei ole korrapärane hulknurk (joonis 24).

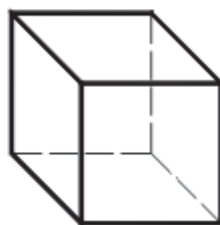
Rööptahukaks nimetatakse niisugust prisma, mille põhjadeks on rööpkülikud. Rööptahukas nagu prisma võib olla kas püst- või kaldrööptahukas. Püströöptahukat, mille põhi on ristkülik, nimetatakse **risttahukaks** (joonis 25, a). Nendest mõistetest järeldeb:

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

a)

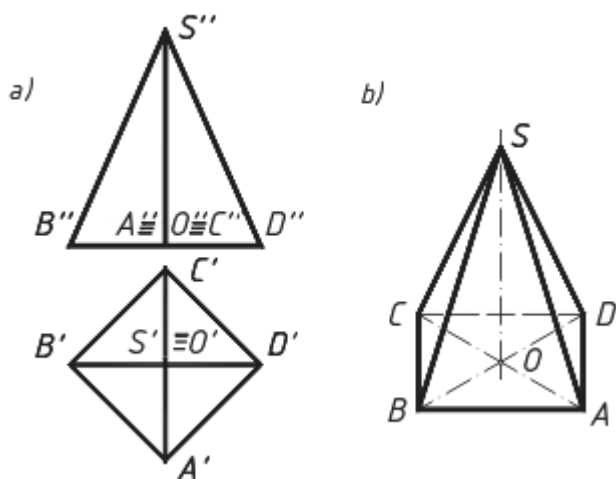


b)



Risttahukat nimetatakse **kuubiks**, kui kõik tema tahud on ruudud (joonis 25, b).

Joonis 25. Rööptahuka (a) ja kuubi (b) piltkujutis.



Joonis 26. Püramiid: a) kaksvaatel, b) piltkujutisena.

Püramiidiks nimetatakse hulktahukat (joonis 26), mille üks – **põhjaks** nimetatav tahk on hulknurk ABCD ja kõik teised – **külgtahkudeks** nimetatavad on ühise tipuga kolmnurgad ASB, BSC, jne.

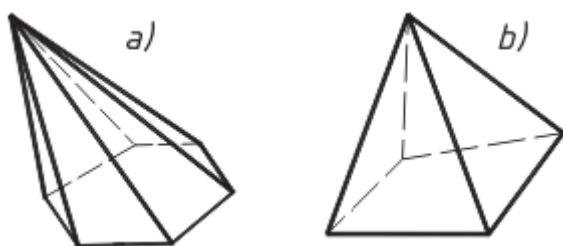
Püramiidi põhja servi AB, BC, ... nimetatakse püramiidi **põhiservadeks** ja külgtahkude ühiseid servi AS, BS, ... püramiidi **külgservadeks**. Kolmnurkade ühist tippu S nimetatakse püramiidi **tipuks** ja tipust põhjale konstrueeritud ristlõiku SO (joonis 26, b) nimetatakse püramiidi **kõrguseks**. Püramiidi tähtedega tähistades kirjutatakse esikohale tipu tähis, näiteks SABCD.

Püramiidid liigitatakse:

- püst- ja kaldpüramiidideks (joonis 26 ja 27, a),
- korrapärasteks ja mittekorrapärasteks,
- kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne; üldiselt *n*-nurkseteks püramiidideks.

Püramiidi nimetatakse **korrapäraseks** (joonis 25), kui tema põhjaks on korrapärane hulknurk ja tema kõrguse alguspunkt ühtib põhja keskpunktiga. Korrapärase püramiidi külgservad on kõik võrdsed, seega on ka püramiidi külgtahud kongruentsed võrdhaarsed kolmnurgad. Sirget, mis läbib korrapärase püramiidi tippu ja põhja keskpunkti, nimetatakse püramiidi **teljeks**.

Põhiservade arvu järgi liigitatakse püramiide kolmnurkseteks, nelinurkseteks jne vastavalt sellele, mis on põhjaks, kas kolmnurk, nelinurk jne. Kolmnurkset püramiidi nimetatakse nelitahukaks e **tetraeedriks**.

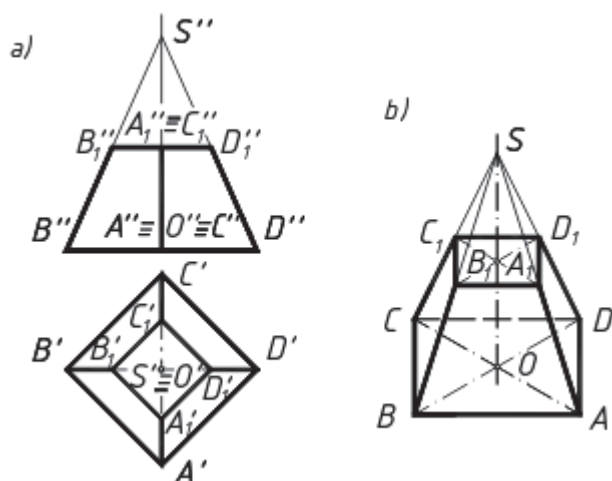


Joonis 27. Mittekorrapärane püramiid.

Mittekorrapäraseks

nimetatakse püramiidi, mille põhi ei ole korrapärane hulknurk ning külgtahud ei ole võrdse suurusega kolmnurgad (joonis 27).

Kui püramiidi lõigata põhjaga paralleelse tasandiga, siis jaotub püramiid kaheks osaks. Püramiidi osa, mis jääb lõike ja põhja vahele, nimetatakse **tüvipüramiidiks** (joonis 28).



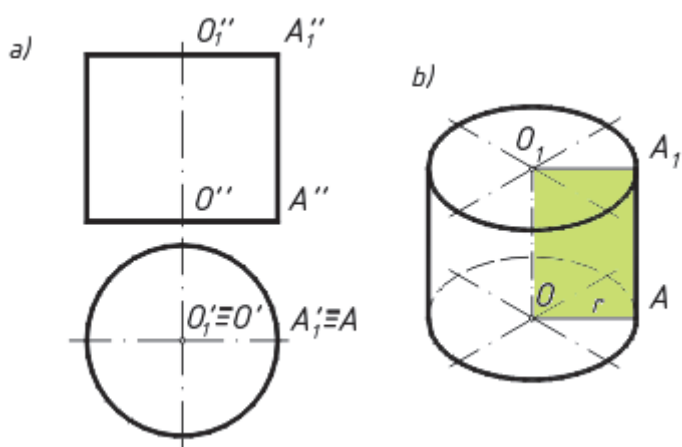
Joonis 28. Tüvipüramiid: a) kaksvaatel, b) piltkujutisena.

Tüvipüramiidi paralleelseid tahke nimetatakse tüvipüramiidi **põhjadeks** ja nendevahelist kaugust tüvipüramiidi **kõrguseks**. Tüvipüramiidi külgtahud on trapetsid. Tüvipüramiidi, mis saadakse korrapärase püramiidi lõikamisel põhjaga paralleelse tasandiga, nimetatakse **korrapäraseks tüvipüramiidiks**. Korrapärase tüvipüramiidi külgtahud on võrdsed võrdhaarsed trapetsid ning põhjadeks on sarnased korrapäraseid hulknurgad.

1.5.3 Pöördkehad

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

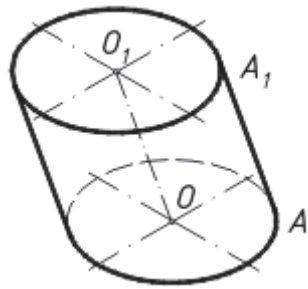
Sirget, mille ümber toimub pöördkeha tekitava kujundi pöörlemine, nimetatakse pöördkeha **teljeks**. Pöördekeha telg on ühtlasi selle keha sümmeetriateljeks.



Joonis 29. Silinder: a) kaksvaatel b) piltkujutisena.

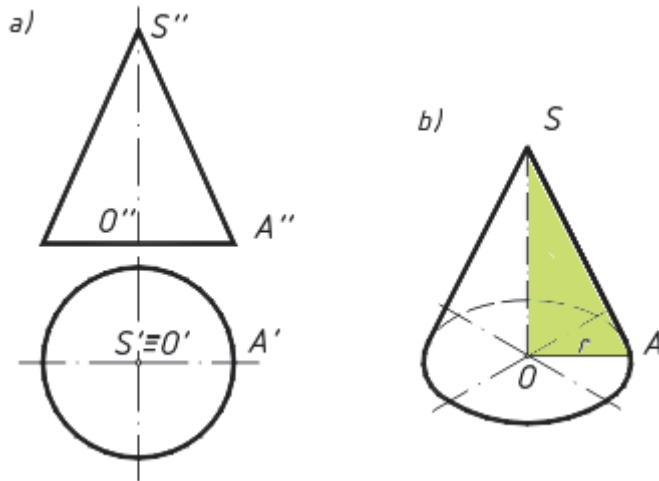
Silinder on keha, mille moodustab ümber oma ühe külje OO_1 pöörlev ristkülik OO_1A_1A (joonis 29). Ristküliku külge OO_1 , mille ümber pöörleb silindrit moodustav ristkülik, nimetatakse **silindri teljeks**. Silindri telje vastas asetsev ristküliku külge AA_1 on silindri **moodustaja**, ristküliku kaks ülejäänud külge on silindri **raadiusteks r**.

Seda osa silindri pinnast, mille kujundab moodustaja, nimetatakse **silindri külgpinnaks**. Silindri raadiuse kujundavad ringid, mida nimetatakse silindri **põhjadeks**. Seega koosneb silindri pind külgpinnast ja kahest põhjast. Silindri põhjade vahelist kaugust nimetatakse silindri **kõrguseks** - lõik OO_1 (joonis 29, b).



Joonis 30. Kaldsilinder.

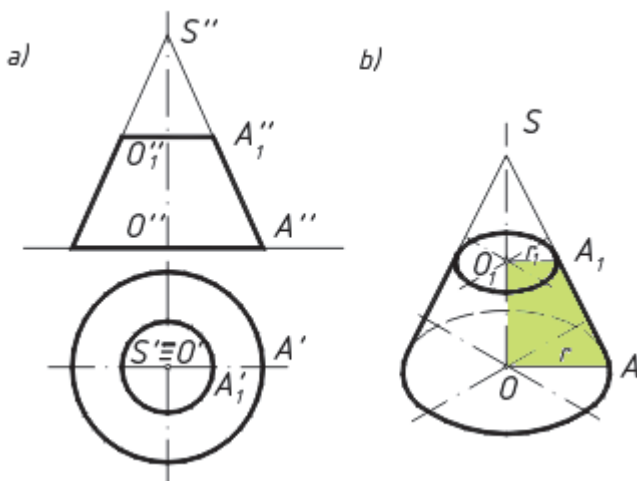
Silindrit nimetatakse kas **püst-** või **kaldsilindriks** vastavalt sellele, kas moodustajad on põhjaga risti või kaldu.



Joonis 31. Koonus: a) kaksvaatel b) piltkujutisena.

Koonus on keha, mille moodustab ühe oma kaateti ümber pöörlev täisnurkne kolmnurk (joonis 31). Kaatet SO , mille ümber pöörleb koonust moodustav täisnurkne kolmnurk on **koonuse teljeks**. Kolmnurga hüpotenuus SA on koonuse **moodustajaks** ning pöörlemisel moodustab see **koonuse külpinna**. Pöörleva kolmnurga teine kaatet OA moodustab ringi raadiusega r , mida nimetatakse **koonuse põhjaks**. Punkti S nimetatakse **koonuse tipuks** ning tipu kaugust koonuse põhjast **koonuse kõrguseks** - lõik SO .

Tüvikoonuseks nimetatakse pöördkeha, mis tekib täisnurkse trapetsi OAA_1O_1 pöörlemisel ümber lühema haara OO_1 (joonis 32). Lühem haar OO_1 on ühtlasi ka tüvikoonuse **teljeks**. Pikemat haara nimetatakse tüvikoonuse **moodustajaks**. Ringe raadiustega r ja r_1 , mis tekivad trapetsi aluste OA ja O_1A_1 pöörlemisel, nimetatakse **tüvikoonuse põhjadeks**. Tüvikoonuse põhjade vahelist kaugust nimetatakse **tüvikoonuse kõrguseks**.



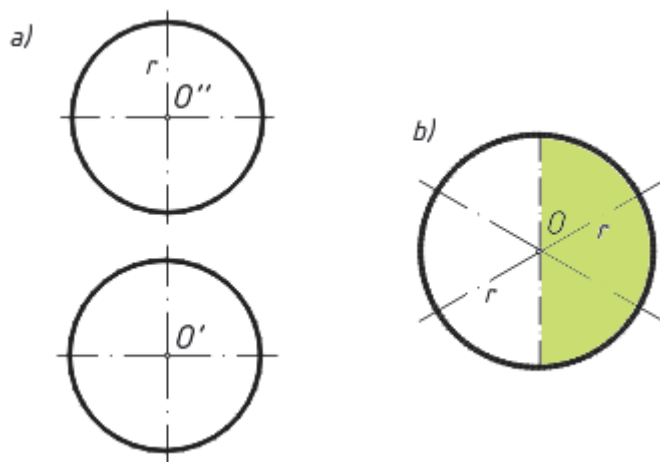
Joonis 32. Tüvikoonus: a) kaksvaatel b) piltkujutisena.

Koonust nimetatakse kas **püst-** või **kaldkoonuseks** (joonis 31 ja 33) vastavalt sellele, kas koonuse kõrguse algpunkt ühtib põhja keskpunktiga.



Joonis 33. Kaldkoonus.

Kera on keha, mis tekib poolringi pöörlemisel ümber oma diameetri d (joonis 34). Kera piirav pind on **sfäär**. Lõiku, mis ühendab keskpunkti O kera pinna mingi punktiga, nimetatakse kera **raadiuseks** r ja kera pinna kahte punkti ühendavat lõiku, mis läbib keskpunkti, nimetatakse kera **diameetriks** ($d = 2r$).



Joonis 34. Kera: a) kaksvaatel b) piltkujutisena.

Kera ristsomeetriliseks kujutiseks taandatud moondetegurite kasutamisel on **ring raadiusega** $R = 1,22 r$, kus r on kera raadius. Seega võime tõdeda, et ringjoon kera piltkujutisel on 1,22 korda suurem kui kera projektsioon ringjoonena kaks- või kolmvaatel (Monge'i meetod).

1.5.4 Kordamisküsimused

1. Mida nimetatakse hulktahukaks?
2. Kuidas määratakse prisma kõrgust?
3. Kuidas liigitatakse prismsid?
4. Milles seisneb kald- ja püstprisma erinevus?
5. Kuidas defineerida rööptahukat?
6. Sõnastage kuubi definitsioon.
7. Mida nimetatakse püramiidiks?
8. Mida nimetatakse tetraeedriks?
9. Sõnastage tüvipüramiidi definitsioon.
10. Mida nimetatakse silindriks (koonuseks)?
11. Mida nimetatakse koonuse moodustajaks?
12. Kuidas tekib silindri (koonuse) külgpind?
13. Mida nimetatakse tükikoonuseks?
14. Sõnastage kera definitsioon.

1.6 Kirjandus

Põhiline kirjandus

- E. Kogermann, N. Paluver, V. Tapper. Joonestamine üldhariduskoolidele. - Tln, 1977.
 E. Kogermann, V. Tapper, K. Tihase. Joonestamine üldhariduskoolile. - Tln, 1985.
 O. Rünk, V. Tapper. Joonestamine üldhariduslikele koolidele. - Tln, 1969.

Täiendav kirjandus

- O. Rünk, E. Targo, K. Tihase. Joonestamise ja joonistamise põhikursus. - Tln., 1970.
 J. Riives, K. Tihase. Joonestamine. - Tln, 1983.
 B. Mohry. Matemaatika geomeetria taskuteatmik. Pocket Teacher. - Tln, 2001.
 E. Abel, M. Abel, Ü. Kaasik. Koolimatemaatika entsüklopeedia. - Tln, 2001.
 O. V. Loktev. Kratkii kurs natšertatelnoi geometrii. - Moskva, Võšaja škola, 1999 (venekeelne).
 B. F. Tarassov jt. Natšertatel'naja geometria. - Izd. Lan. 2001.
 ISO 128 - 23:1999 (E) (Joonte liigid)
 ISO 3098 - 2:2000 (E) (Normkiri)

2 Tehniline joonis

2.1 Kujutised

Oluline osa tehnilisest informatsioonist mistahes eseme kohta talletatakse kujutiste abil.

Kujutised tehnilisel joonisel esitatakse ristprojektsioonis omavahel mõtteliselt seotud projektsioonide näol.

Kujutiste tuletamisel võib juhinduda kahest võrdväärsest projekteerimise meetodist:

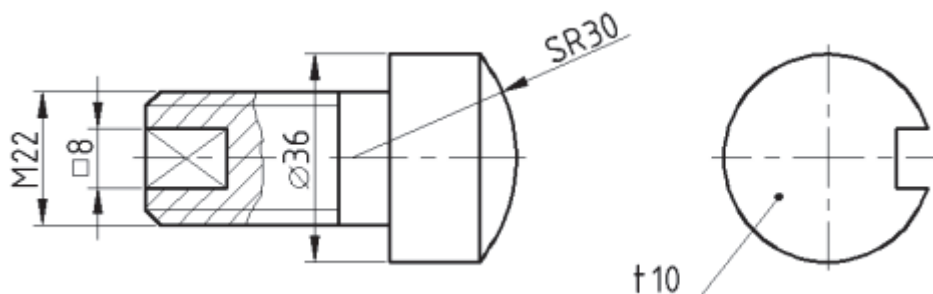
- esimese ruuminurga meetodist (E-süsteem, s.o. Euroopa süsteemis);
- kolmanda ruuminurga meetodist (A-süsteemis, s.o. Ameerika süsteemis).

Tehnilisel joonisel ei näidata projektsioonpindade ehk ekraanide piirdejooni ega ekraanide lõikejooni - telgi x, y ja z. Samuti ei näidata kujutistevahelisi sidejooni.

Masinaehitusjooniste valmistamisel juhindutakse põhimõttest, mille kohaselt eset iseloomustavate kujutiste hulk peaks olema minimaalne, kuid samal ajal piisav eseme kuju ja kõikide mõõtmete näitamiseks.

Õige joonise seisukohalt tuleb pidada vääraks nii kujutiste vähest kui ka liigset arvu.

Mõnikord aitab kujutiste hulka miinimumini viia leppemärkide ja sümbolite kasutamine mõõtarmude ees, nagu läbimõõdumärk (\varnothing), ruudumärk (\square), sfääri (S) ja paksuse sümbol (t) (joonis 1).



Joonis 1. Leppemärke ja tähiseid joonisel.

Kõiki tehnilisel joonisel esinevaid kujutisi võib liigitada nende sisu järgi:

- vaadeteks;
- lõigeteks;
- ristlõigeteks.

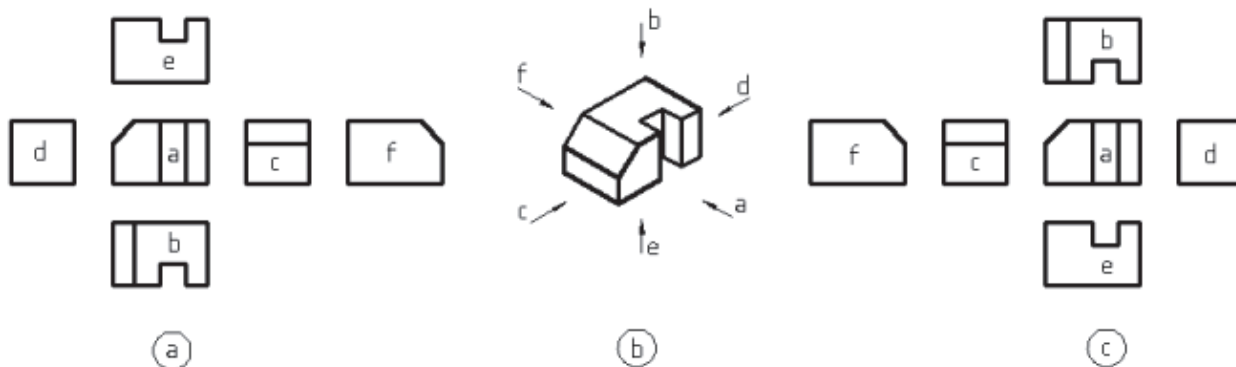
2.1.1 Vaated

Vaade on kujutis vaatleja poolt paistvatest eseme pinnaosadest.

Vaated võib liigitada:

- põhilisteks vaadeteks;
- lisavaadeteks.

Põhilised vaated

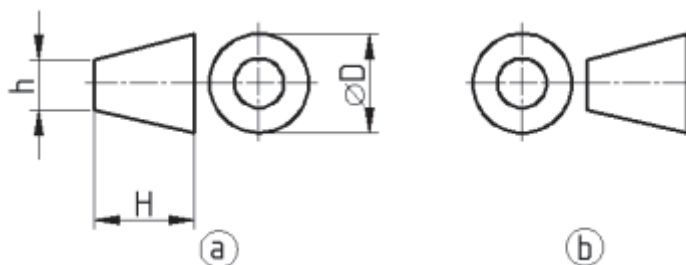


Joonis 2. Põhilised vaated a) vaadete paigutus esimese ruuminurga projektsioonmeetodil, b) vaate suund, c) vaadete paigutus kolmanda ruuminurga projektsioonmeetodil

Põhiliste vaadete nimetused (joonis 2):

- vaade **a** on eestvaade ehk **peavaade**;
- vaade **b** on pealtvaade;
- vaade **c** on vasakultvaade;
- vaade **d** on paremaltvaade;
- vaade **e** on altvaade;
- vaade **f** on tagantvaade.

Joonisel 3. on toodud ruuminurga projektsioonimeetodi tunnus ehk erisümbol. Niisugune kahes vaates esitatav tüvikoonus paigutatakse iga joonise kirjanurga vastavasse lahtrisse.

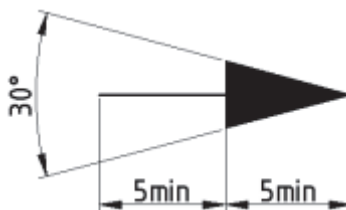


Joonis 3. Erisümbol kirjanurka: a) esimese ruuminurga projektsioonimeetodi tunnus (h =kirja suurus, $D=2h$ ja $H=D$); b) kolmanda ruuminurga projektsioonimeetodi tunnus

2.1.1.1 Projektsiooniliselt sõltumatud vaated

Vaateid ei pealkirjastata, kui nad on joonestatud projektsioonilises seoses.

Kui aga kujutised joonisel on omavahel nihutatud, ei asetse ühel ja samal lehel või on neid sattunud eraldama mõni kolmas kujutis, tuleb kasutada vaate suunda näitavaid nooli (joonis 4, joonis 5).

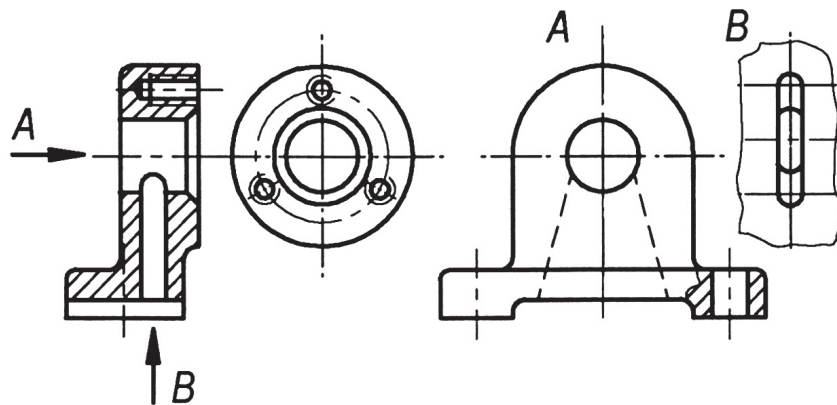


Joonis 4. Vaate suunda näitav nool (minimaalne pikkus).

Vaate suunda näitavaid nooli kasutatakse koos ladina tähestiku algusest võetud suurtähtedega.

Sama suurtäht kirjutatakse tähisena ka vastava vaate juurde.

Täht-tähised tuleb kirjutada joonisel olevatest mõõtarmudest kaks korda suurema kirjaga ja alati joonise kirjanurga suhtes paralleelselt.

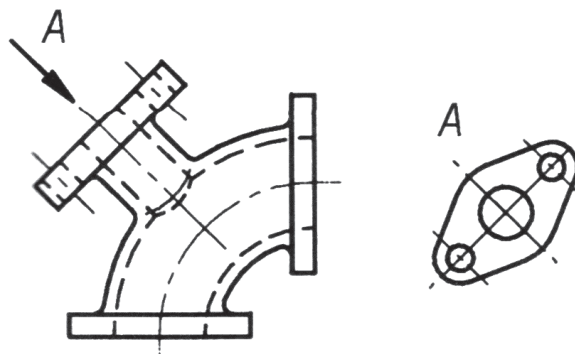


Joonis 5. A – peakujutisest eraldatud vaade; B – osaline vaade.

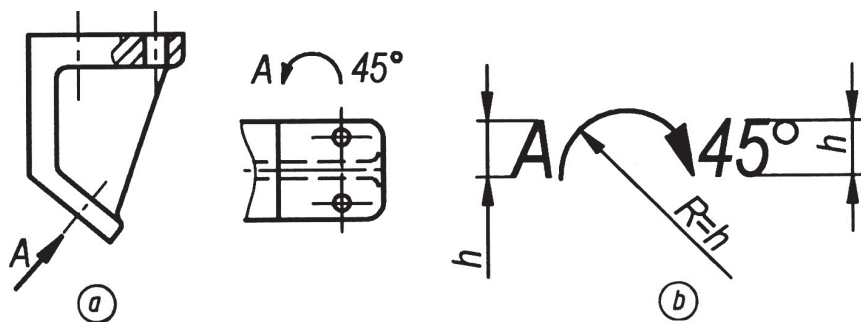
2.1.1.2 Lisavaated

Kui detaili mõni element projekteerub põhilistes vaadetes moonutatud kujul või mõõtmetega, kasutatakse tema kujutamiseks lisavaadet. Niisugustel juhtudel tuleb noole ja suurtähelga ära näidata vaate suund ning saadav kujutis märgistada sama täht-tähisega (joonis 6).

Kui lisavaade on joonestatud pööratud asendis, näidatakse lisavaate tähise juures ka pööramise märk. Olenemata vaate suunast, tuleb täht-tähised kirjutada paralleelselt joonise alumise äärega (joonis 7).

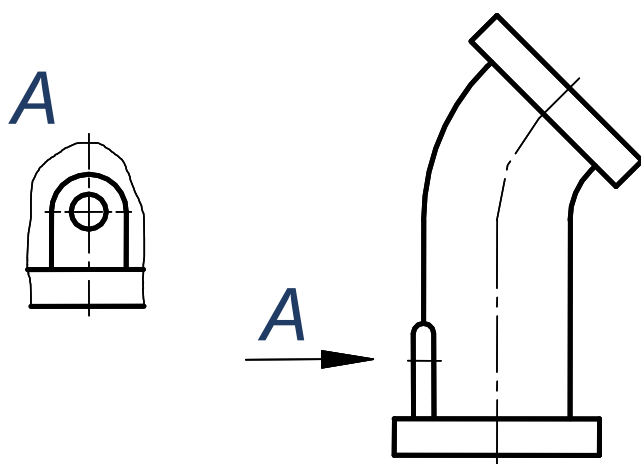


Joonis 6. Lisavaade



Joonis 7. a – pööratud lisavaade; b – pööramismärgi kuju ja mõõtmed.

2.1.1.3 Osalised vaated

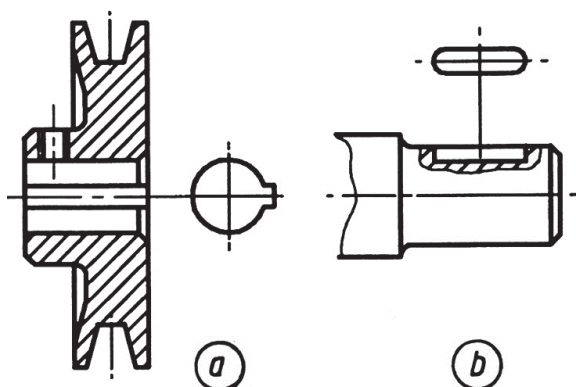


Joonis 8. Osaline vaade.

Osalised vaated näitavad eseme kitsapiirilisi osi.

Osaline vaade ümbritsetakse kas kitsa vabakäe pidevjoone või kitsa siksak pidevjoonega (joonis 8).

2.1.1.4 Kohtvaated



Joonis 9. Kohtvaade.

Kui eseme vaadeldav osa on mõni selgelt eristatav geomeetriline vorm, võib selle esitada **kohtvaatena**.

Kohtvaade projekteeritakse kolmanda ruuminurga meetodil ehk Ameerika süsteemis.

Kohtvaade seotakse põhilise kujutisega kitsa pikk-kriipspunkt joone abil ja joonestatakse välja pideva laijoonega (joonis 9).

2.1.2 Lõiked

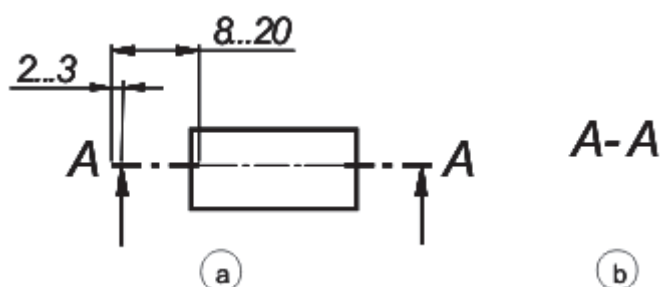
Lõikeid kasutatakse detaili sisemise ehituse näitamiseks.

Lõige on kujutis, mis saadakse eseme mõttelisel lõikamisel ühe või mitme tasandiga.

Lõikel näidatakse seda, mis jääb lõikepinnale ja sellest tahapoole.

Eseme lõigatud pinnad viirutatakse. Viirutuse kujuga iseloomustatakse detaili valmistamiseks kasutatud materjali liiki (Lisa 1).

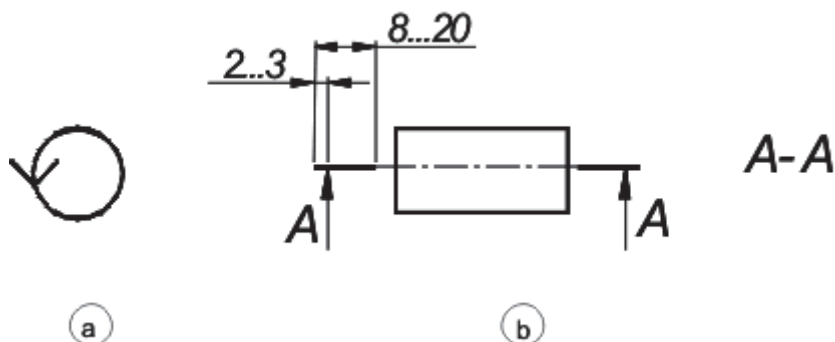
Üldjuhul kuuluvad lõiked tähistamisele ja pealkirjastamisele.



Joonis 10. a – lõikepinna märkimine ja tähistamine lõigatava detaili vaate juures;
b – lõikekujutise pealkirjastamine (ISO järgi)

Lõike suunda näitavad nooled (noole saba on pidev jäämejoon) paigutatakse risti lõikepinnaga 2...3 mm kaugusele lõikepinnamärkide välimistest otstest. Tähed (mõõt- arvudest kaks korda suuremad suurtähed) kirjutatakse noolte lähedale väljapoole nooli. Sama suurte tähtedega pealkirjastatakse lõige. Olenemata jämedate kriipsude ja vaate suunda näitavate noolte asendist, kirjutatakse täht-tähised alati paralleelselt joonise alumise servaga (joonis 10).

Tänapäeval on veel ringlemas hulk tehnilisi jooniseid nõukogude ajast, kus pööratud vaadet ja lõiget tähistati teistsuguselt. Selliseid tähistamisi kasutatakse Venemaal ka praegu.



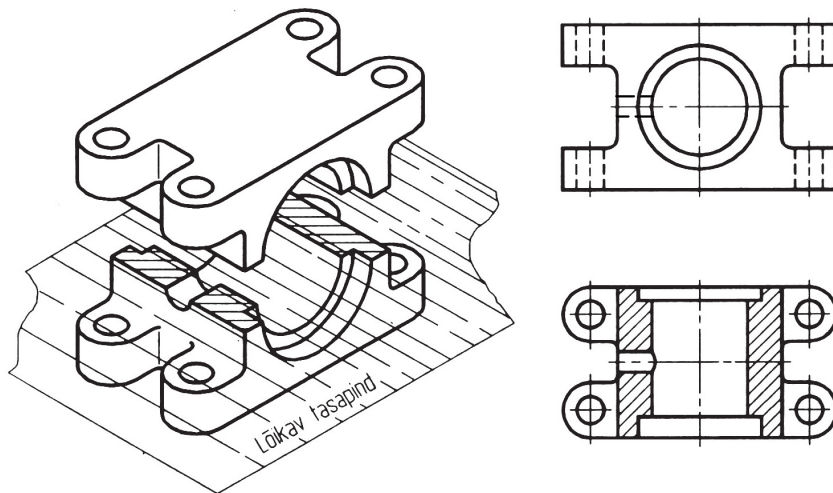
Joonis 11. Vastavalt GOST-ile: a – pööramise märk; b – lõike märgistamine ja tähistamine

2.1.2.1 Lõiked ühe tasapinnaga

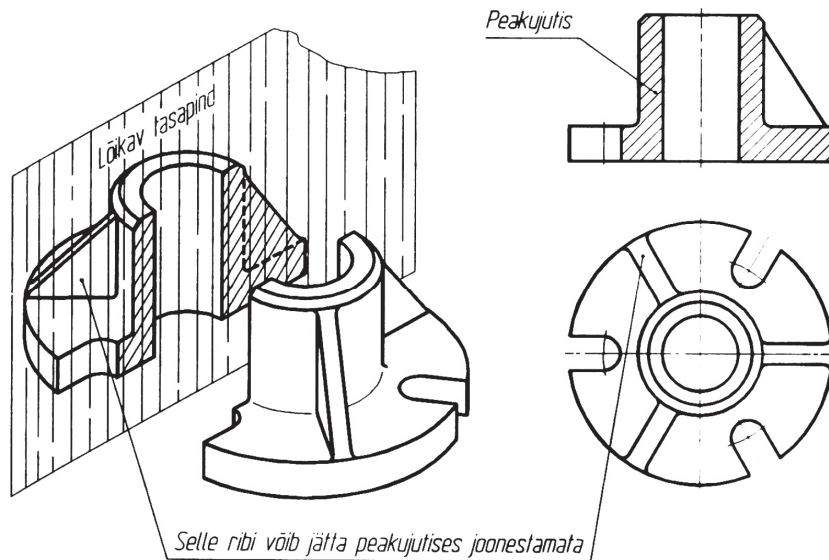
Lihtlõiked – detaili lõiked ühe tasapinnaga:

- horisontaallõige (joonis 12);
- vertikaallõige (joonis 13);
- kaldlõige.

Kui lõikepinna asend on ilmne ja lõige ise üheselt mõistetav, siis lõiget ei tähistata ega pealkirjastata. Keerulisematel juhtudel tähistatakse ja ka pealkirjastatakse.



Joonis 12. Horisontaallõige ühe tasapinnaga



Joonis 13. Vertikaallõige ühe tasapinnaga

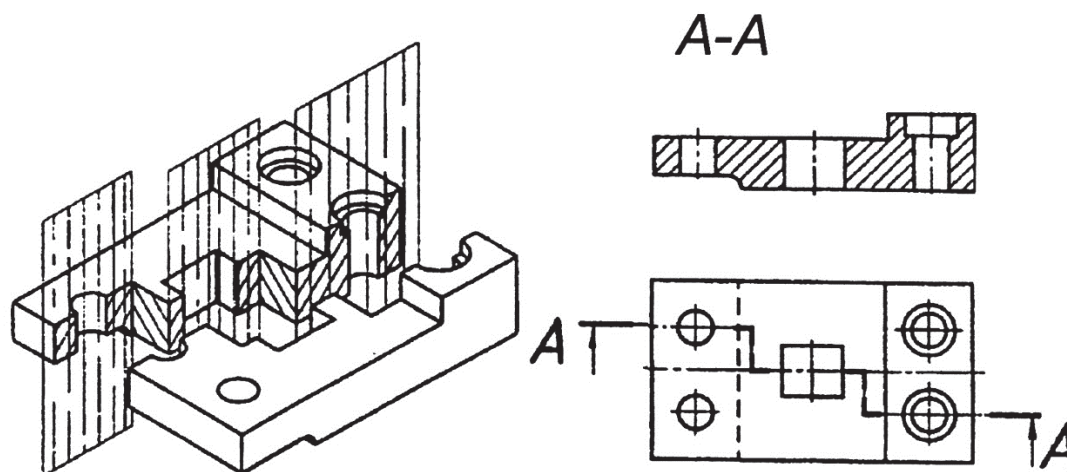
2.1.2.2 Lõiked mitme tasapinnaga

Liitlõiked – detaili lõiked mitme tasapinnaga:

- astmelised lõiked;
- murdlõiked.

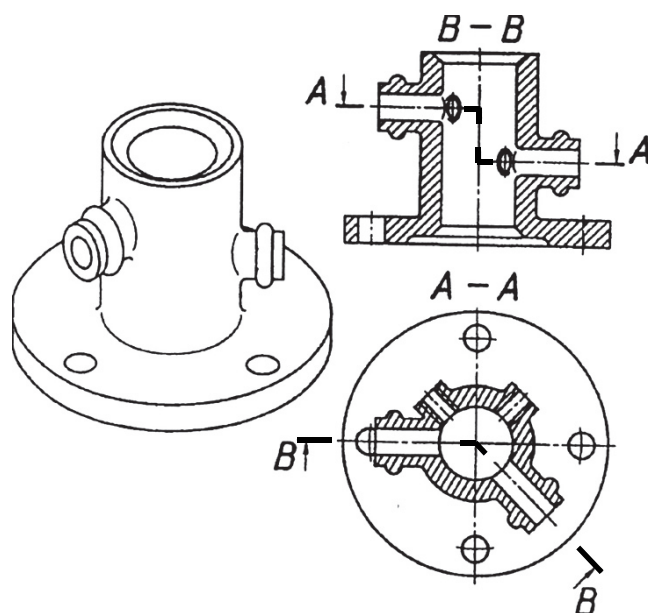
Lõikava pinna kulgemise muutus tuleb ära näidata jämedate kriipsudega: astmelisel lõikel astmete koht, murdlõikel murdekoht.

Astmelisel lõikel paiknevad lõikepinnad astmeliselt ja on eset läbides üksteisega paralleelsed. Kõikidele astmetele langevaid elemente kujutatakse ühel tasapinnal asuvatena, kusjuures astmete vahejooni välja ei joonestata (joonis 14).



Joonis 14. Kolme vertikaalse tasapinnaga tehtud astmeline lõige

Murdlõike puhul lõikepinnad lõikuvad omavahel mingi nurga all. Nad asetatakse läbi detaili sümmeetriliste elementide telgjoonte. Murdlõikel pööratakse lõikepinnad mõtteliselt ühte tasapinda. Pööramise suund ei pruugi kokku langeda vaatesuunaga (joonis 15).



Joonis 15. A-A astmeline lõige, tehtud kahe horisontaalse tasapinnaga; B-B murdlõige, tehtud kahe teineteise suhtes nurga all oleva vertikaalse tasapinnaga

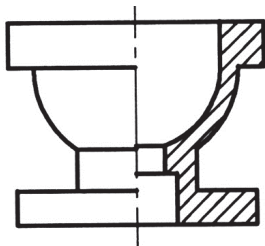
2.1.2.3 Vaatega ühendatud lõiked

Siia kuuluvad:

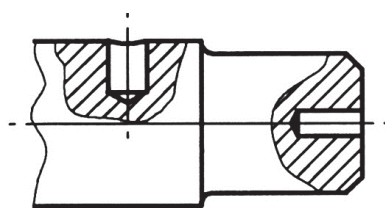
- poolvaatlõiked;
- kohtlõiked.

Mõlemad on ühe tasapinnaga tehtavad lõiked. Eset ei lõigata mitte terves ulatuses läbi vaid ainult teatud osas. Lõigatud osa joonestatakse kokku lõikamata jäänud vaateosaga.

Poolvaatlõige joonestatakse ainult sümmeetrilistest kehadest. Vaate ja lõike osa eraldusjooneks on sümmeetriatelg. Poolvaatlõiget ei tähistata (joonis 16). Poolvaatlõiget võib kasutada ka selliste esemete juures, mis tervikuna ei ole sümmeetrilised, kuid omavad pöördekeha kujulist sümmeetrilist elementi.



Joonis 16. Poolvaatlõige



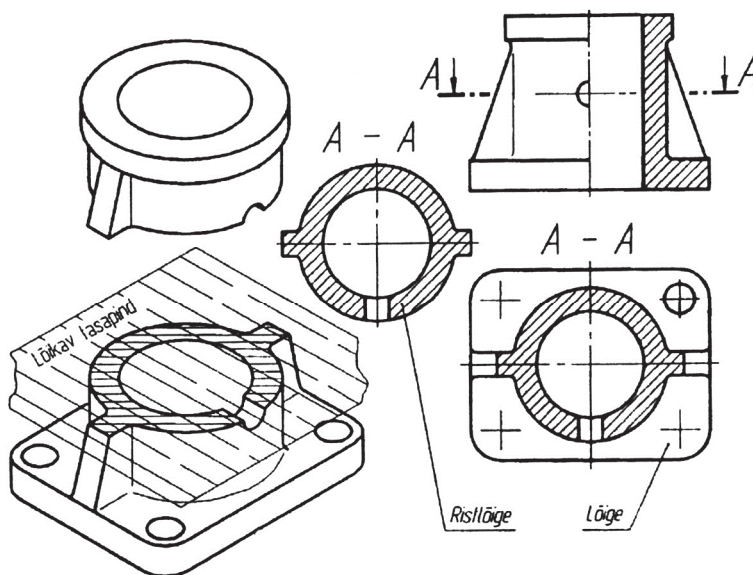
Joonis 17. Kohtlõiked

Kohtlõiget kasutatakse eseme sisemise konstruktsiooni näitamiseks kitsalt piiratud kohas. Kohtlõige eraldatakse vaateosast kas kitsa vabakäe pidevjoonega või kitsa siksak pidevjoonega abil. Kohtlõiget ei tähistata (joonis 17).

2.1.3 Ristlõiked

Ristlõige on kujutis, mis saadakse detaili mõttelisel läbilõikamisel tasapinnaga.

Ristlõike ülesandeks on selgitada läbilõigatud koha geomeetrilist kuju moondevabalt. Ristlõike joonisel kujutatakse üldjuhul ainult lõikavale tasapinnale jäävaid detaili elemente. Ristlõige ja lõige pealkirjastatakse ühtemoodi. Joonestamisel tuleb aga jälgida – kui lõikepind läbib sellise ava või süvendi telgjoont, mis on pöördpind, siis tuleb ristlõikes kujutada ka selle lõikepinna taha vaatesse jääva pöördpinna kontuurid (joonis 18).



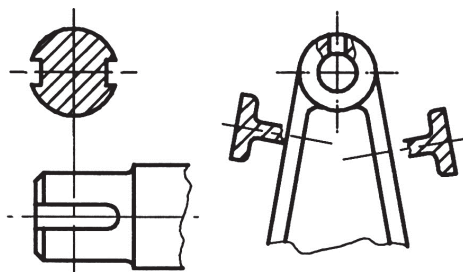
Joonis 18. Lõige ja ristlõige

Eristatakse kaht ristlõike vormistamise viisi:

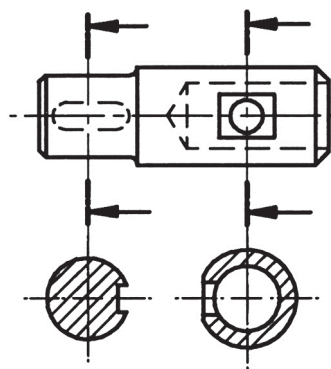
- väljatoodud ristlõige;
- pealejoonestatud ristlõige.

Väljatoodud ristlõike kujutis joonestatakse pideva jämejoonega.

Kui kujutis joonestatakse lähtekujutise vahetusse lähedusse ja seotakse sellega kitsa pikk-kriipspunkt joone abil, siis väljatoodud ristlõiget ei tähistata. Sümmeetrilise ristlõike korral ei näidata ka vaate suunda (joonis 19), ebasümmeetrilise lõikepinnaga ristlõike korral tuleb vaate suund noolega näidata (joonis 20). Muudel juhtudel väljatoodud ristlõiked tähistatakse ja pealkirjastatakse ning paigutatakse joonise vabale pinnale.

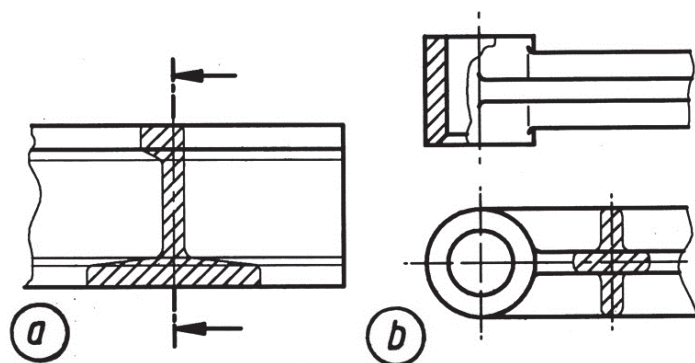


Joonis 19. Väljatoodud sümmeetrilised ristlõiked



Joonis 20. Väljatoodud ebasümmeetrilised ristlõiked. Nooled näitavad vaate suunda.

Pealejoonestatud ristlõige joonestatakse kitsa pidevjoonega detaili vaate peale selle detaili kontuure katkestamata. Pealejoonestatud ristlõiget ei tähistata. Sümmeetrilise ristlõike korral ei näidata ka vaate suunda (joonis 21).

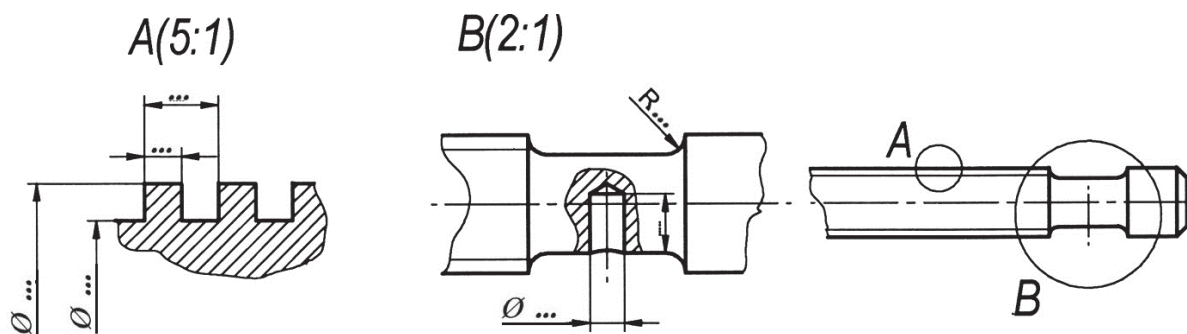


Joonis 21. Pealejoonestatud ristlõiked: a – ebasümmeetriline ristlõige (nooltega näidatakse vaate suund); b – sümmeetriline ristlõige

2.1.4 Väljatoodud element

Väljatoodud elementi kasutatakse eseme mõne elemendi konstruktsiooni täpsemaks selgitamiseks. Element joonestatakse joonise vabale pinnale võimalikult põhikujutise lähedale suurendavas mõõtkavas. Väljatoodud element võib sisaldada üksikasju, mis põhikujutisel näiliselt puuduvad. Väljatoodud element võib oma põhikujutisest erineda ka sisu poolest, näiteks põhikujutis on vaates, väljatoodud element lõikes.

Põhikujutisel ümbritsetakse väljatoodud element kitsa pidevpeenjoonringiga, mille juurde märgitakse tähisena suurtäht. Väljatoodud elemendi pealkirjaks on sama suurtäht koos sulgudes lisatud mõõtsuhtega (joonis 22).



Joonis 22. Väljatoodud elemendid

2.2 Joonise mõõtmestamine

Eseme suurusest annavad ülevaate joonisele kantavad mõõtmed. Kogu detaili geomeetrilise kuju määramiseks vajalik informatsioon tuleb esitada vahetult joonisel. Iga kujuelement mõõtmestatakse ainult üks kord.

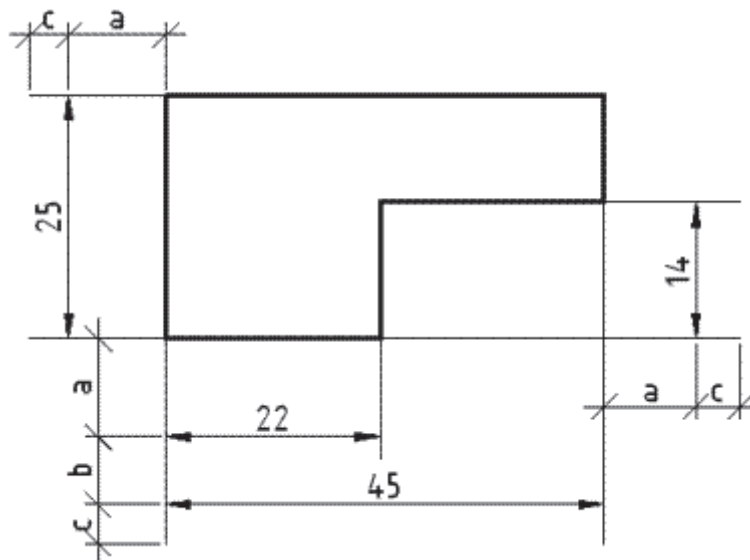
Mõõtmestamiselementideks joonisel on (joonis 23):

- distantsjooned (mõõtmisvahemikku näitavad jooned),
- mõõtjooned,
- mõõtjooneotsad (nooled, kaldkriipsud),
- mõõtarvud.

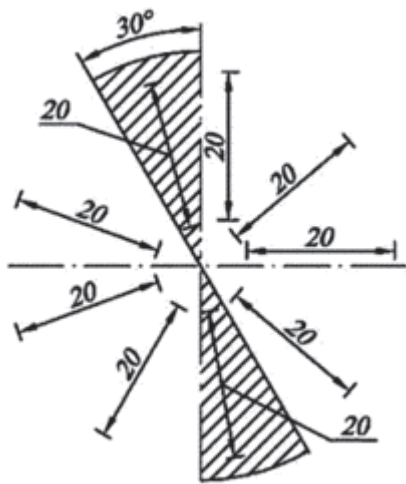
Mõõtmestamise olulisemad reeglid.

- Mõõtjoon tõmmatakse mõõdetava lõigu suhtes paralleelselt.
- Mõõtjoone noolotsad toetuvad risti vastu distants- ja kontuurjooni. Noole pikkus võib olla 4...6 mm.
- Mõõtjoon ei tohi olla kontuurjoone ega mõne muu joone pikenduseks.
- Mõõtjoonte omavahelist lõikumist ja lõikumist distantsjoonega tuleb võimaluse korral vältida.
- Lühemad mõõtjooned paigutatakse kujutisele lähemale, pikemad aga järk-järgult kaugemale.

- Üldine mõõtmete hulk joonisel peab olema minimaalne, kuid küllaldane toote valmistamiseks ja kontrollimiseks.
- Mõõtmed ei tohi korduda, s. t. iga mõõdet antakse ühel ja samal joonisel ainult üks kord.
- Masinaehitusjoonisele on keelatud mõõtmeid kanda suletud mõõtahelana (näiteks nii, et üksikute elementide summa annaks gabariitmõõtmel).
- Mõõtarvud kirjutatakse mõõtjoonte kohale ligikaudu 1 mm kaugusele võimalikult nende keskkoha lähedale, suunaga vasakult paremale või alt üles.
- Numbrid kirjutatakse normkirjas kogu joonise ulatuses ühesuguse kõrgusega (3,5 või 5 mm).
- Ükski joon ei tohi läbida mõõtarvu või eraldada seda tema ees seisvast kujumärgist.
- Telg- ja viirutusjooned mõõtarvu kohal katkestatakse.
- Nurgale mõõdet andes tõmmatakse mõõtjoon kaarekujuliselt keskpunktiga mõõdetava nurga tipus, distantsjooned aga radiaalselt.
- Mitme paralleelse mõõtjoone puhul paigutatakse mõõtarvud malekorras, s.t. järjestikused mõõtarvud nihutatakse mõõtjoone keskkoha suhtes esimene pisut vasakule, teine pisut paremale, kolmas pisut vasakule jne.
- Kui joonisel on kujutatud sümmeetriline või katkestatud ese, võib tõmmata pooliku, ühe noolega mõõtjoone. See peab ulatuma sümmeetriateljest või detaili katkestusjoonest kaugemale.
- Joonmõõtmel väljendatakse millimeetrites, mõõtühikut juurde märkimata. Kusjuures mõõtarv näitab alati joonisel kujutatud eseme tegelikku suurust, s. t. ei sõltu joonise mõõtkavast.



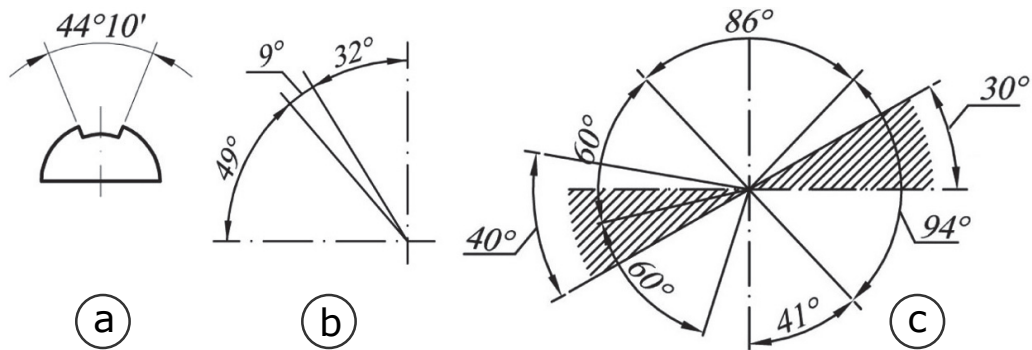
Joonis 23. Mõõtmestamise elemendid. Mõõtjoonte soovituslikud vahekaugused kontuurjoonest:
 $a=10$ mm, $b=7$ mm, $c=2\dots4$ mm



Kui sirge mõõtjoon satub oma kalde poolest viirutusega näidatud sektorisse (joonis 24), kirjutatakse mõõtjarv viitejoone rõhtsale laudile.

Joonis 24. Mõõtarvu kirjutamine sõltuvalt mõõtjoone asendist

Nurga mõõtmestamine



Joonis 25. Nurga mõõtmestamine a) nurgamõõdu märkimine, b) väikese nurgamõõdu märkimine suuremate vahel, c) mõõtarvu märkimine sõltuvalt selle asukohast täisringil

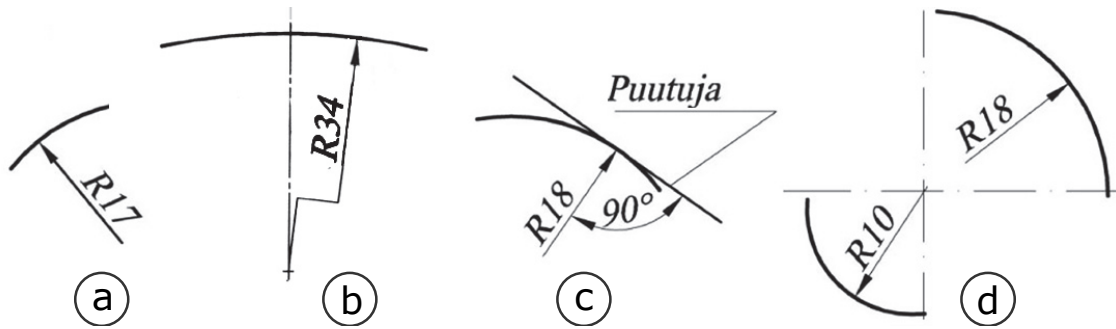
Kui nurgamõõdmetega mõõtjoone keskkohast satub oma kalde poolest viirutusega näidatud sektorisse või ruumipuudusel, võib mõõtarvu kirjutada viitejoone rõhtsale laudile (joonis 25, c).

Radius tähistatakse suurtähena **R**, mis on ühekõrgune mõõtarvuga tema järel (joonis 26, d).

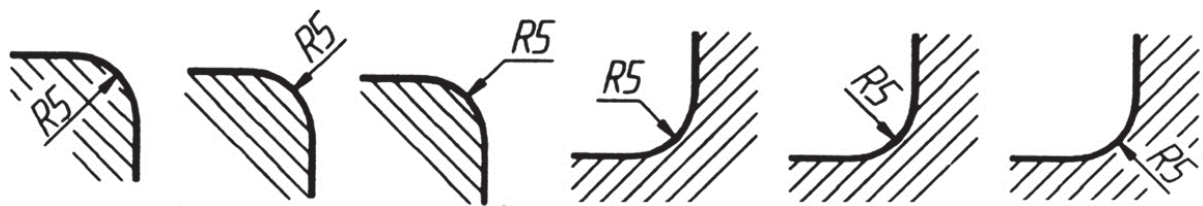
Raadiuse mõõtjoon peab alati olema risti mõõdetava kaarjoone kujuteldava puutujaga (joonis 26, c).

Kui pole oluline näidata kaare tsentri asukohta, võib raadiuse mõõtjoone jätta tsentrini tõmbamata (joonis 26, a).

Suure raadiuse puhul võib tsentri tinglikult kaarele lähemale tuua. Mõõtjoon tehakse sel juhul murdega (joonis 26, b).



Joonis 26. Raadiuste tähistamine

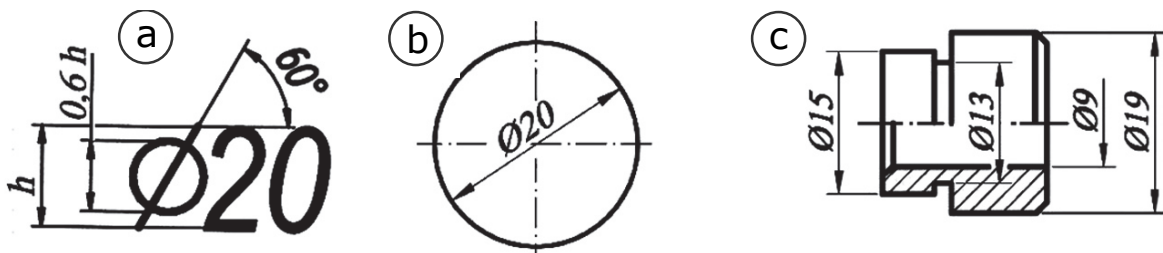


Joonis 27. Väliste ja sisemiste ümardusraadiuste märkimine

Kui ringjoonest on kujutatud vähem kui pool, antakse mõõde raadiusega (joonis 26 ja 27), vastasel juhul **läbimõõduga** (joonis 28, b).

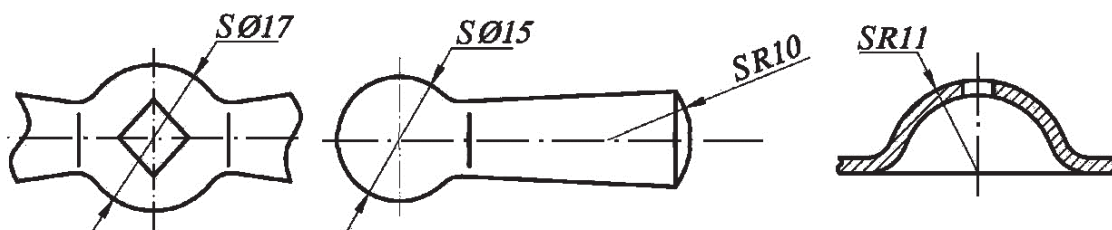
Raadius märgitakse alati kaarjoonele (joonis 26 ja 27), läbimõõtu on aga soovitatav näidata kujutisel, kus selgub pöördpinna (silinder, koonus jm.) moodustaja kuju (joonis 28, c).

Ringi või pöördkeha läbimõõtu (diameetrit) näitava mõõtaru ette pannakse alati läbimõõdumärk (joonis 28).



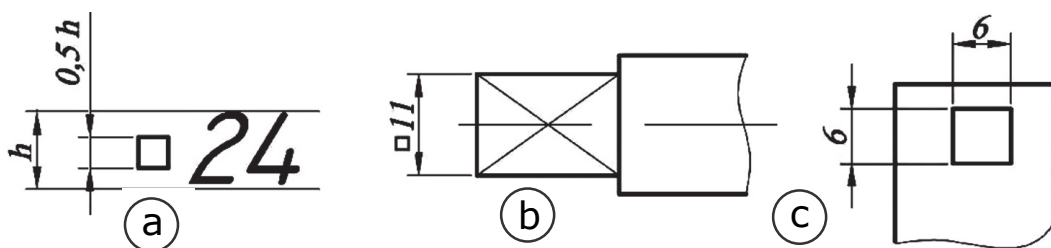
Joonis 28. Läbimõõtude märkimine joonisel

Sfääri ehk kerakujulise pinna puhul lisatakse läbimõõdumärgi või raadiusetähise ette mõõtarvu kõrgune täht **S** (joonis 29).



Joonis 29. Sfäärilise ehk kerakujulise pinna mõõtmestamine

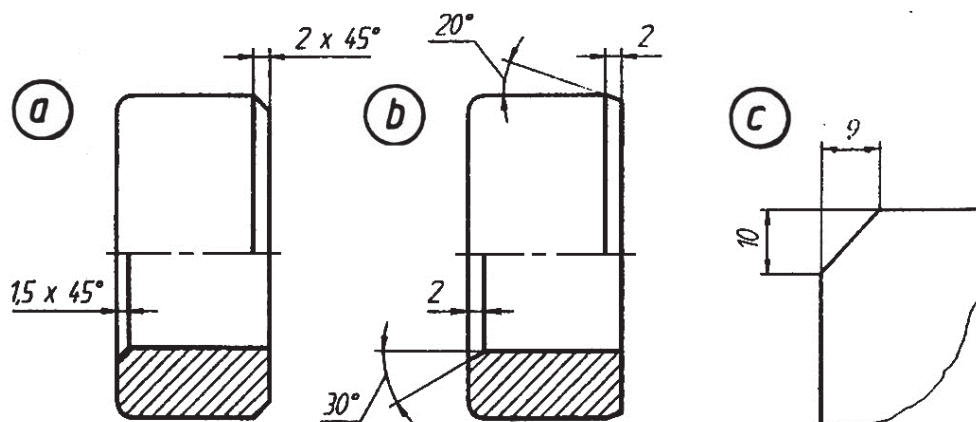
Ruudule võib mõõtmeid märkida kahel viisil (joonis 31): kas ruudumärgi abil ($1/2$ mõõtarvu kõrgusest või mõõtarvu kõrgune) (joonis 31, a, b) või ruudu kahe serva pikkust ära näidates (joonis 31, c). Silindriliste pindade lähedal asuvad tasapinnalised elemendid tähistatakse diagonaalsete kitsaste pidevjoontega (joonis 31, b).



Joonis 31. Ruudumärk ja selle kasutamine

Faas on element, mis tekib detaili teravate servade mahalõikamisel.

Faasi mõõtmeid näidatakse kolmel viisil (joonis 32): 45° faasi puhul kaateti pikkuse ja nurga „korrutisena“ (a), teiste faasinurkade puhul kas joon – ja nurgamõõtmega (b) või kahe joonmõõtmega (c).



Joonis 32. Faasi mõõtmete näitamine

Muutumatu ristlõike või paksusega detaili võib esitada ainult ühe kujutisega. Puuduv (joonise pinnaga risti olev) mõõde toote **pikkuse** või **paksuse** kohta antakse viitejoone laudil, asetades mõõtarvu ette vastavalt kas $l=$ või $t=$. Viitejoon algab detaili pinnalt punktikesega.



Joonis 33. Detaili pikkuse ja paksuse märkimine

2.3 Eskiis

Korraliku ja täpses mõõtkavas tööjoonise tegemine on suur ja aeganõudev töö, eriti keerulisemate detailide korral. Aega aitab kokku hoida eskiis.

Eskiisi kasutatakse puhta tööjoonise eelvisandina, samuti kasutatakse eskiisi arvutiga joonestamisel.

Eskiis on joonis, mis valmistatakse ilma joonlaua ja sirklita silma järgi valitud mõõtkavas. Seejuures peetakse kinni detaili üksikosade proportsioonidest. Eskiis tehakse kõikide joonestamisnormide kohaselt.

Eskiisimisel tuleks läbida järgmised etapid:

- Tutvuda detailiga ja määrata selle nimetus ning otstarve.
- Määrata peakujutis, mis iseloomustab detaili kõige ilmekamalt.
- Määrata teised vajalikud vaated, lõiked ja ristlõiked.
- Valinud eelneva põhjal sobiva formaadi, tõmmata raamjoon ja paigutada kirjanurk.
- Määrata kindlaks kujutiste paigutus lehel ja tõmmata kõigi kujutiste jaoks telg- ning tsentrijooned.
- Joonestada kõigi kujutiste puhul õrna peenjoonega välja detaili koostiselementideks olevate geomeetriliste kehade piirjooned, säilitades detaili üksikute osade proportsioonid.
- Joonestada detaili üksikelemendid (augud, ümarused, faasid jne.).
- Teha lõiked ja ristlõiked. Enne lõikepindade viirutamist kustutada abijooned.
- Tõmmata distants- ja mõõtjooned.
- Kirjutada mõõtarvud.
- Tõmmata kontuurjooned üle laia pidevjoonega.
- Täita kirjanurk.

2.4 Detaili tööjoonis

Eseme ja temast tehtud kujutise suuruse vahetõrka joonisel selgitab mõõtkava ehk mastaap.

Standard ISO 5455 määrab kindlaks mõõtsuhete rea. Joonistel kasutatakse vähendavaid mõõtsuhteid 1:2; 1:5; 1:10; 1:20; 1:50; 1:100; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000 ja 1:10000 ning suurendavaid mõõtsuhteid 2:1; 5:1; 10:1; 20:1 ja 50:1.

Suurendamisel või vähendamisel kirjutatakse joonisele eseme tegelikud mõõtmed, olenemata mõõtsuhtest, mida eseme kujutamisel kasutati.

Detaili tööjoonistele (Lisa 2) esitatavad nõuded:

- Detaili tööjoonis peab olema vormistatud korrektselt kehtivate ISO standardite järgi.
- Detaili tööjoonis peab määrama detaili täpse kuju ja suuruse üheselt, s.t joonis peab olema tehtud nii, et seda saab tõlgendada ainult ühte moodi. Selleks joonestatakse detaili tööjoonisel kõik vajalikud kujutised – vaated, lõiked, ristlõiked jne.
- Detaili tööjoonisele kantakse kõik tema valmistamiseks vajalikud mõõtmed.
- Tööjoonisel peavad olema andmed detaili materjali kohta.
- Tööjooniseid ei tehta standardsetest (kruvid, mutrid, poldid, seibid jne) ja ostetavatest toodetest.

2.5 Koostejoonis

Koostejoonis on tehniline dokument, mis annab üksikdetailidest koostatava toote kokku panemiseks, kontrollimiseks ja katsetamiseks vajalikud kujutised ja tehnilised andmed. Seetõttu valitakse koostu kujutised nii, et joonise järgi selguks toote kõigi üksikute detailide vastastikune asend, seadme tööpõhimõte, gabariidid (pikkus, laius, kõrgus) ja ühenduse viis ning mõõdud külgnevate koostudega. Koostejoonise vormistamisel tuleb arvestada, et kõige ülevaatlikum koostejoonisel peab olema tema peakujutis (Lisa 2).

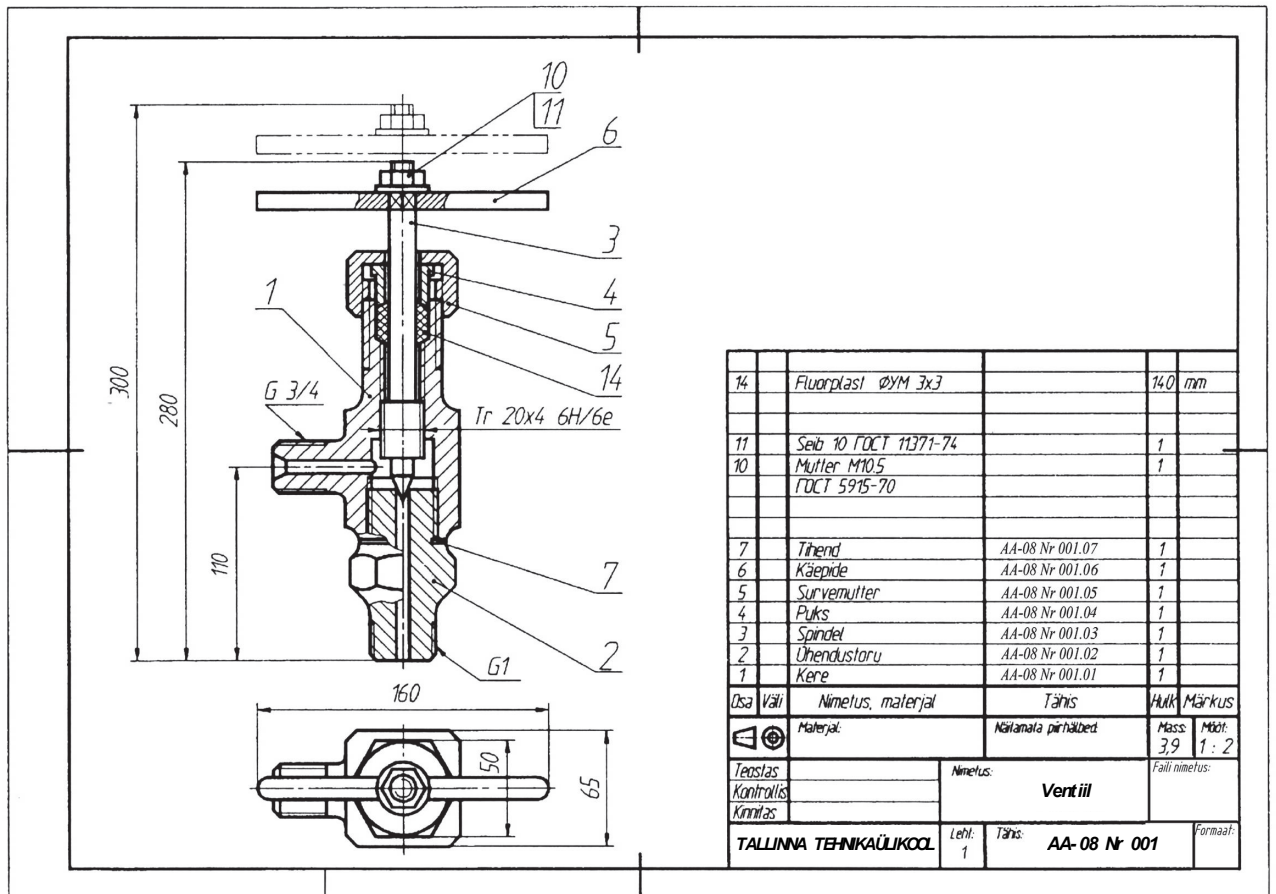
Tuleb jälgida, et koostejoonisel oleks ühe ja sama detaili viirutuse kalle kõikides lõigetes ja ristlõigetes ühesuunaline ja ühesuguse tihedusega. Kokkupuutuvad detailid viirutatakse aga erinevas suunas. Kui see ei ole võimalik, siis muuta viirutusjoonte vahekauget või nihutada kõrvalseisva viirutuse suhtes.

Koostejoonisel antakse igale detailile oma number (osanumber), mis on vastavuses tükitabelisse kantavate detailide osanumbritega. Esmalt tuleks nummerdada koostu koosseisu kuuluvad alakoostud ja jätkata sellises järjekorras: detailid, standardsed tooted, materjalid ja komplektid. Osanumbrite suurus peab olema mõõtarvudest ühe kuni kahe kirjakõrguse astme võrra suurem. Numbrid kirjutatakse viitejoone laudile joonise kirjanurga suhtes paralleelselt. Parema loetavuse huvides paigutatakse osanumbrid joonise kontuuridest väljapoole, grupeerides nad kas vertikaalselt tulpa või horisontaalselt ritta. Nii viitejoon kui ka laudi tõmmatakse pideva peenjoonega teineteise suhtes nurga all. Viitejoon lõpeb vastava osa pinnal punktikesega. Viitejooned ei tohi omavahel lõikuda ja detaili pinnal ei tohi nad olla viirutusjoontega paralleelsed. Laudi pikkused peavad ühel joonisel olema kõik ühepikkused (~10 mm) (joonis 34).

Koostejoonisele tuleb kanda järgmised mõõtmed:

- gabariitmõõtmed (pikkus, laius, kõrgus);
- mõõtmed, millega tuleb arvestada koostu kokkupanemisel;
- ühendusmõõtmed (ühendamiseks teiste piirnevate detailide või koostudega, näiteks äärikul antakse ava läbimõõt ja avade jaotusringjoone läbimõõt).

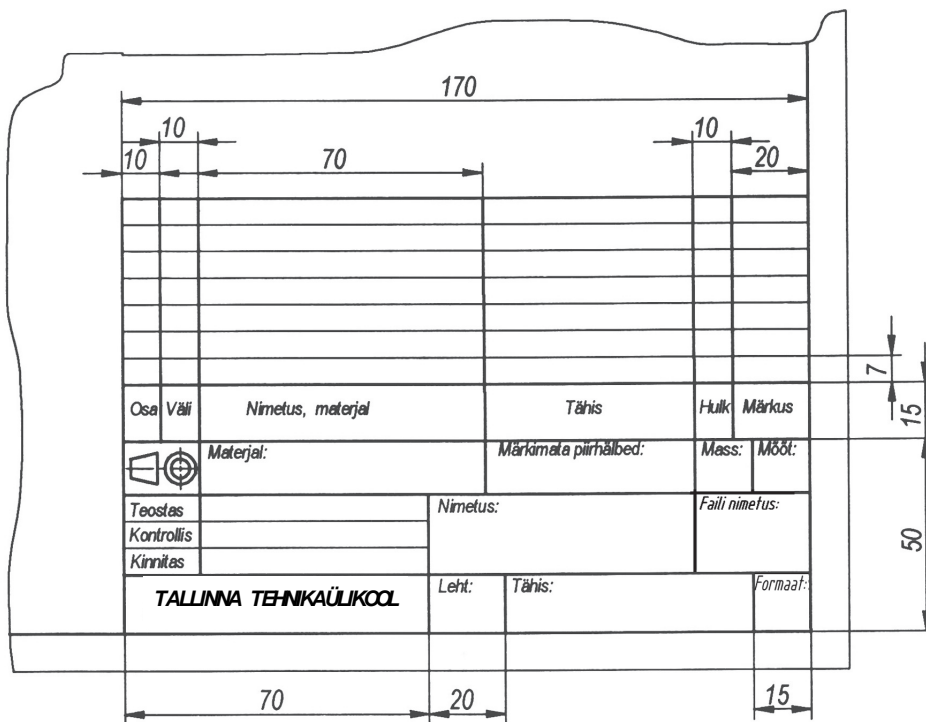
Kui koostus ulatub mõni osa tema liikumisel gabariidist väljapoole, siis gabariitmõõtme kirjutamisel haaratakse kaasa ka nende liikumise ulatus (joonis 34).



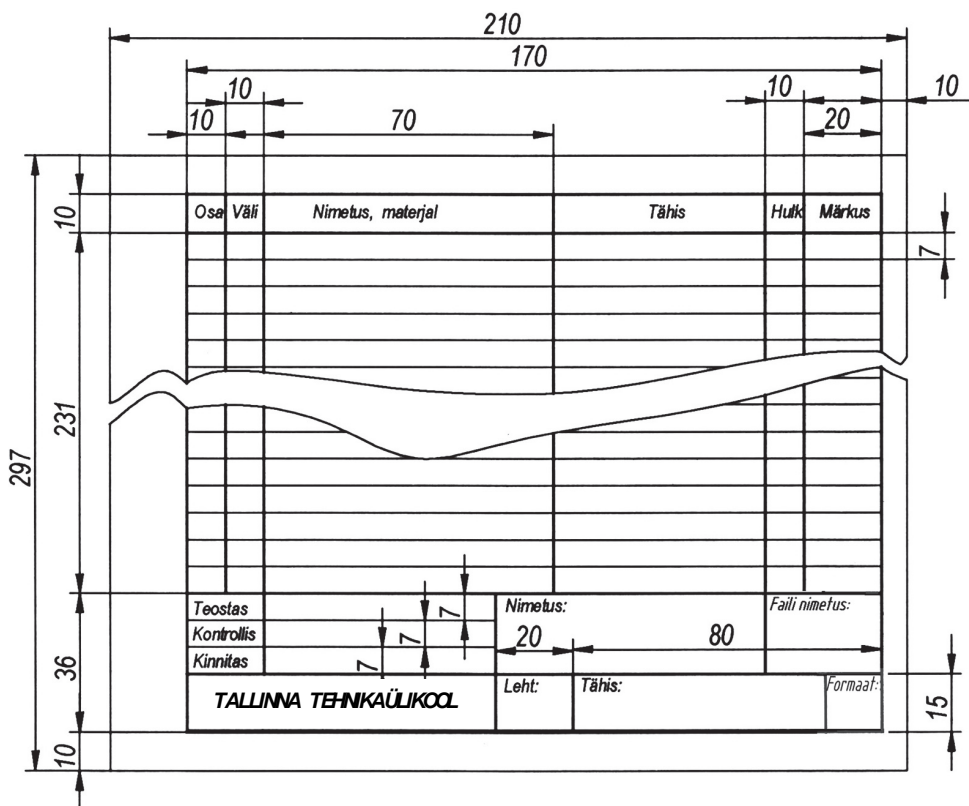
Joonis 34. Koostejoonis

2.6 Tükital

Tükital on koostu juurde kuuluv dokument, mis sisaldab koostu koostisosade loetelu (järjekorras: alakoostud, detailid, standardsed tooted, materjalid ja komplektid), nende arvu koostus jm. andmed. Tükitali võib ühildada koostejoonisega (juhul kui osanumbrite arv on väike) ja joonestada ta kirjanurga kohale ülesse nagu on näidatud joonisel 35 või vormistada ta eraldi formaadil A4 nagu joonisel 36. Kui tükitabel ühildatakse kooste tabeliga, siis tabeli täitmist alustatakse alumistest ridadest suunaga üles, kui aga tükitabel on eraldi lehel, siis vastupidi, ülevalt alla (Lisa 2).



Joonis 35. Tükitalbel ühildatud koostejoonisega



Joonis 36. Tükitalbel eraldi lehel formaadis A4

2.7 Kordamisküsimused

1. Missugused on peamised kujutiste liigid?
2. Milleks kasutatakse joonistel lõikeid?
3. Milleks kasutatakse lisavaateid?
4. Kuidas vormistatakse joonisel lisavaateid, osalisi vaateid ja kohtvaateid?
5. Mida nimetatakse lõikeks?
6. Kuidas vormistatakse joonisel lihtlõikeid?
7. Millistel juhtudel lõikeid ei tähistata?
8. Mille poolest erineb liitlõige lihtlõikest?
9. Kuidas vormistatakse joonisel liitlõikeid?
10. Millised lõiked kuuluvad vaatega ühendatud lõigete hulka?
11. Millistel juhtudel kasutatakse poolvaatlõiget?
12. Milleks kasutatakse kohtlõiget?
13. Kuidas vormistatakse joonisel kohtlõiget?
14. Milline erinevus on lõike ja ristlõike vahel?
15. Milliseid ristlõike vormistamise viise eristatakse?
16. Kuidas vormistatakse joonisel väljatoodud ja pealejoonestatud ristlõiked?
17. Milleks kasutatakse väljatoodud elementi?
18. Kuidas vormistatakse joonisel väljatoodud element?
19. Missuguseid nõudeid tuleb silmas pidada mõõt- ja distantsjoonte paigutamisel joonisele?
20. Kuidas paigutatakse mõõtarmud mõõtjoonte suhtes?
21. Milliseid kujumärke või tähiseid kasutatakse raadiuse, läbimõõdu, sfääri, ruudu, toote pikkuse või paksuse mõõtmestamisel?
22. Kuidas näidatakse mõõtmeid faasi mõõtmestamisel?
23. Millistes mõõtühikutes väljendatakse joonmõõtmeid tehnilistel joonistel?
24. Missugust joonist nimetatakse eskisiks?
25. Milliseid nõudeid esitatakse detaili tööjoonistele?
26. Millistest detailidest ei tehta tööjooniseid?
27. Mis on koostejoonis?
28. Millised mõõtmed kantakse koostejoonisele?
29. Mis on tükitabel?

2.8 Kirjandus

J. Riives, A. Teaste, R. Mägi. Tehniline joonis. Õppeotstarbeline käsiraamat. Tallinn, Valgus, 1996, 176 lk.

Tehnilise joonestamise põhimõisted. Tallinn, TTÜ, 1998, 36 lk

J. Riives, K. Tihase. Joonestamine. Õpik tehnikumidele. Tallinn, Valgus, 1983, 456 lk.

Technical drawings. ISO Standards Handbook. Vol. 1 Technical drawings in general. 4th ed., ISO. Paris: 2002.

Новичихина Л. И. Справочник по техническому черчению. 3-е изд., Минск: Книжный Дом, 2008, 320 с.

Lisad

Lisa 1. Materjalide viirutused

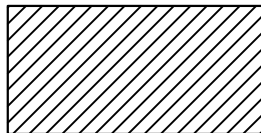
Lisa 2. Auto mudel, koostejoonis ja detailide tööjoonised

Lisa 1

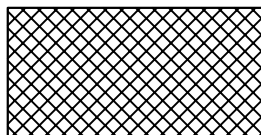
Materjalide viirutused

Lisa 1. Materjalide viirutused.

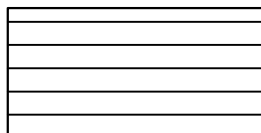
Üldviirutus, metall



Mittemetall



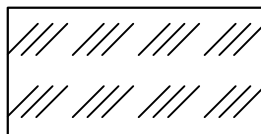
Puit



Puit

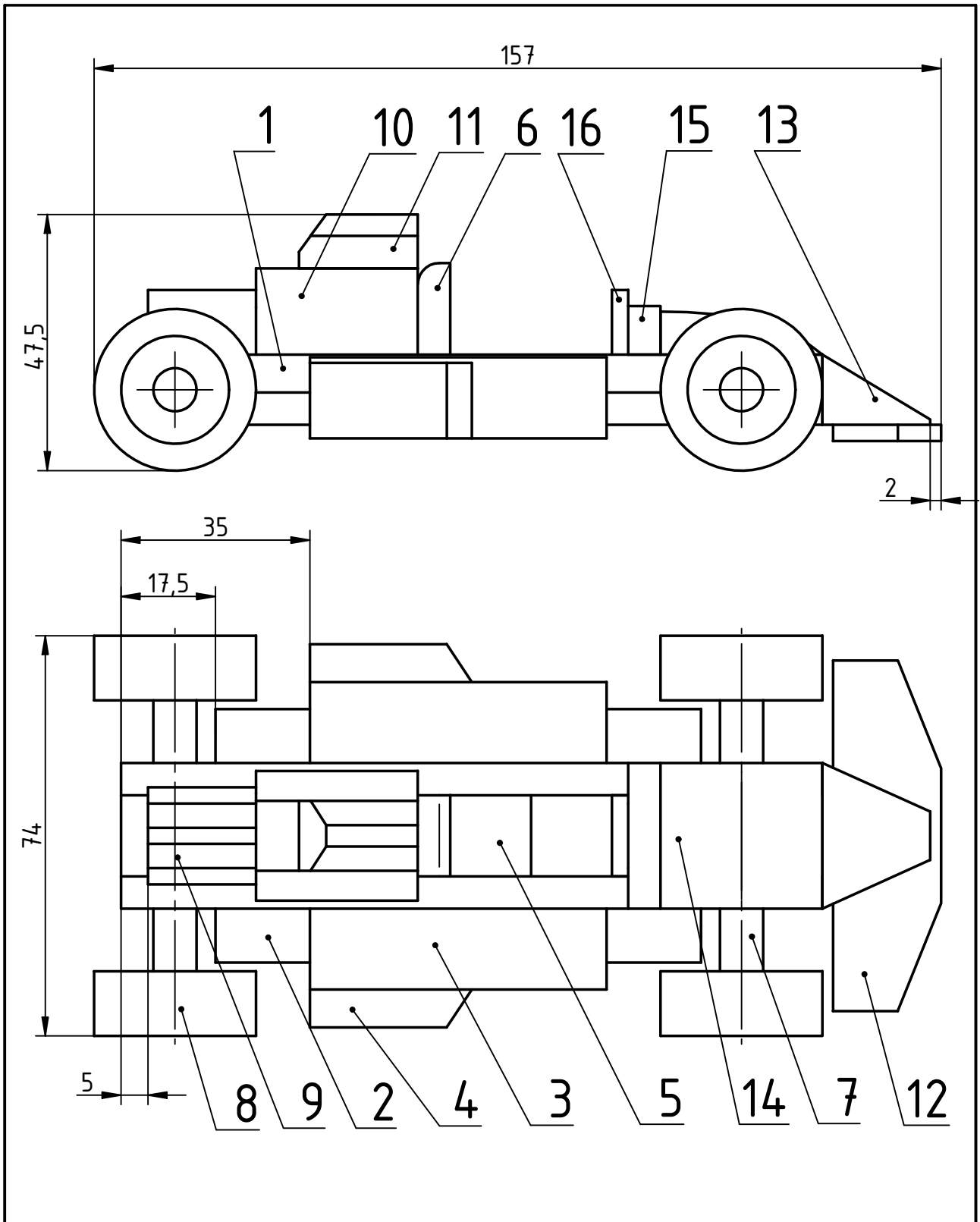


Klaas

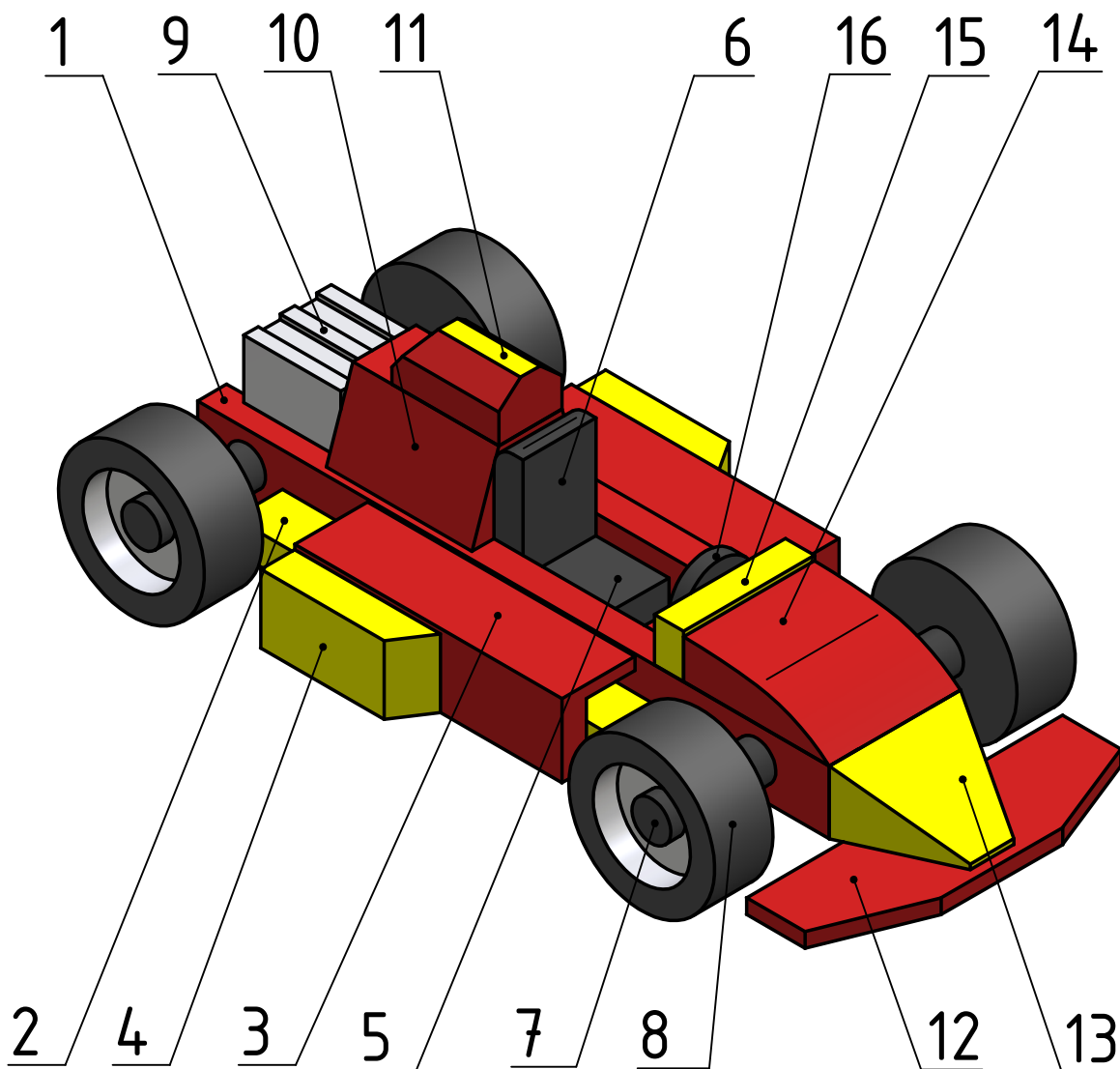


Lisa 2

*Auto mudel
Koostejoonis
Detailide tööjoonised*

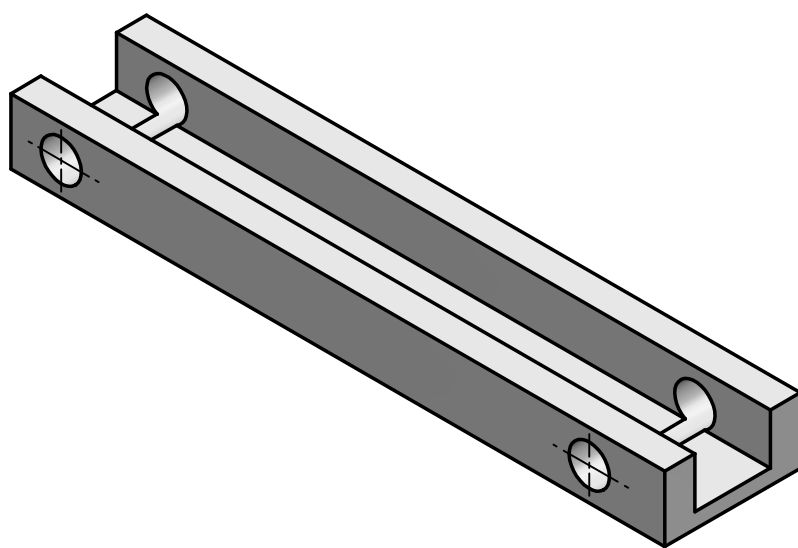
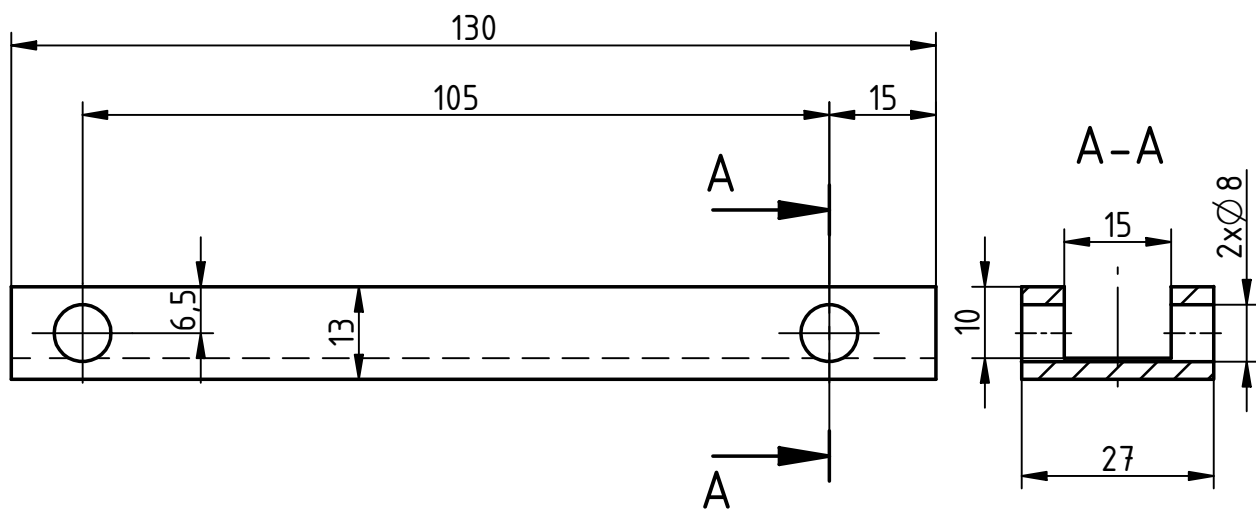


	Materjal:	Märkimata püürhälbed:	Mass:	Mõõt: 1 : 1
	Teostas	Nimetus: Auto		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/2	Tähis:	Auto 01.00	

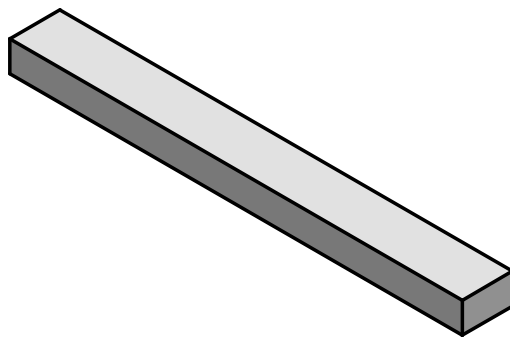
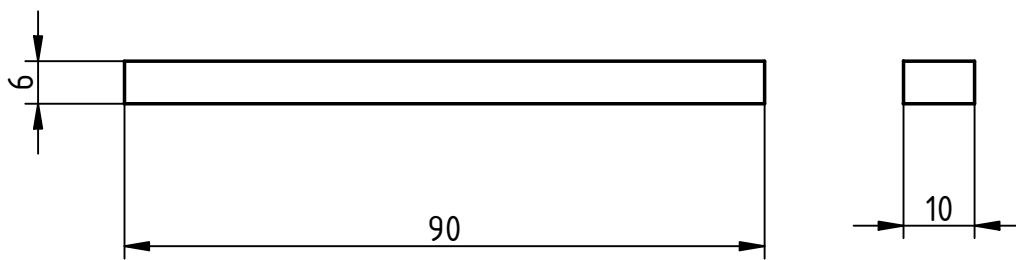


	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1 : 1
<i>Teostas</i> <i>Kontrollis</i> <i>Kinnitas</i>		<i>Nimetus:</i> <i>Auto</i>		
	<i>Leht:</i> 2/2	<i>Tähis:</i> <i>Auto 01.00</i>		

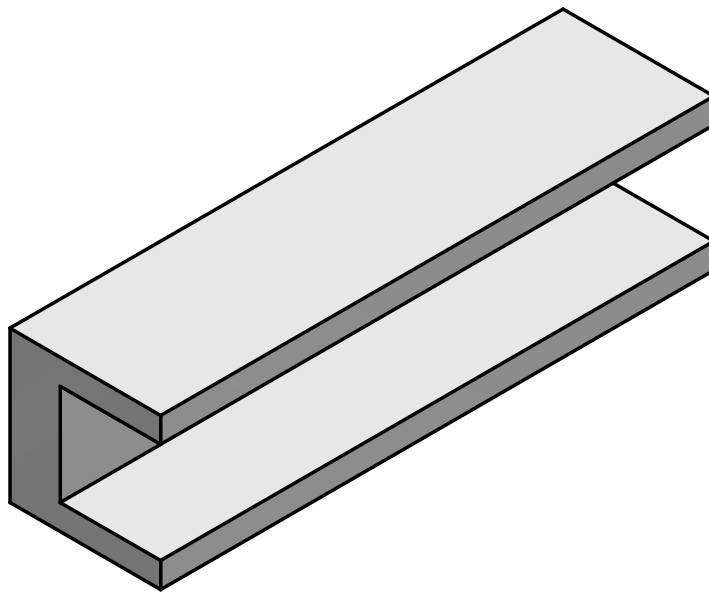
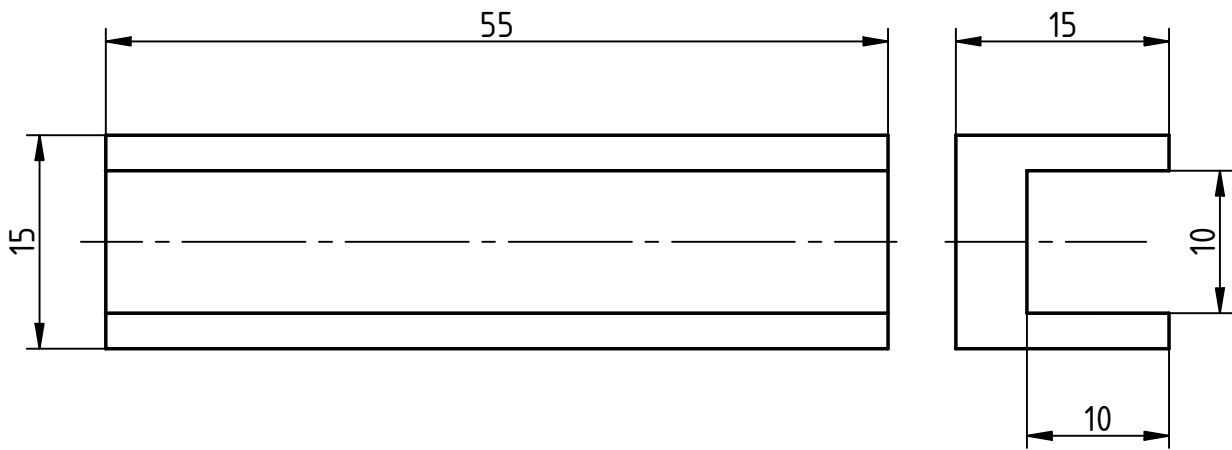
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
1		Kere	Auto 01.01	1	
2		Külg	Auto 01.02	2	
3		Küljetiib	Auto 01.03	2	
4		Õhusuunaja	Auto 01.04	2	
5		Iste	Auto 01.05	1	
6		Seljatugi	Auto 01.06	1	
7		Telg	Auto 01.07	2	
8		Ratas	Auto 01.08	4	
9		Mootor	Auto 01.09	1	
10		Peatoe alus	Auto 01.10	1	
11		Peatugi	Auto 01.11	1	
12		Esitiib	Auto 01.12	1	
13		Nina	Auto 01.13	1	
14		Kapott	Auto 01.14	1	
15		Armatuur	Auto 01.15	1	
16		Rool	Auto 01.16	1	
Teostas			Nimetus:	Auto	
Kontrollis					
Kinnitas					
			Leht:	Tähis:	Auto 01.00



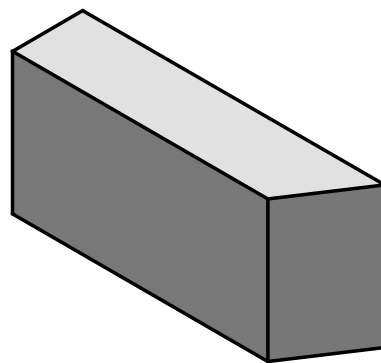
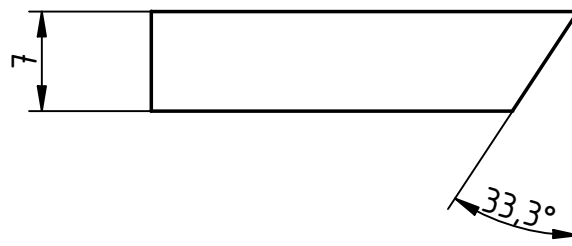
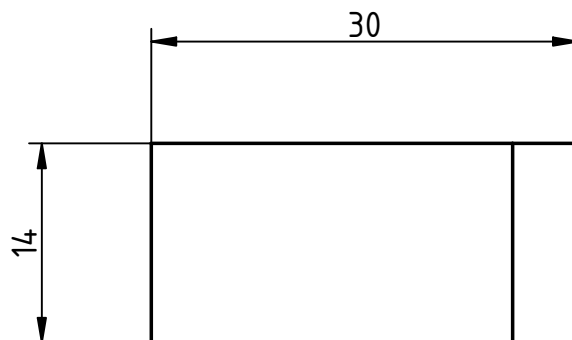
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1 : 1
<i>Teostas</i>	<i>Nimetus:</i> Kere			
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.01	



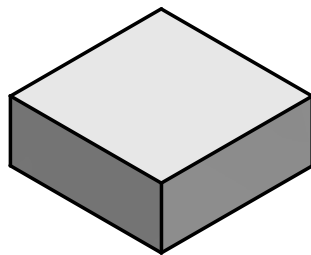
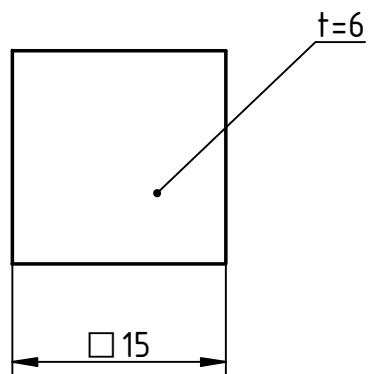
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Külg		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.02	



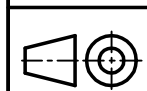
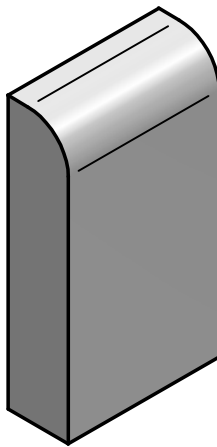
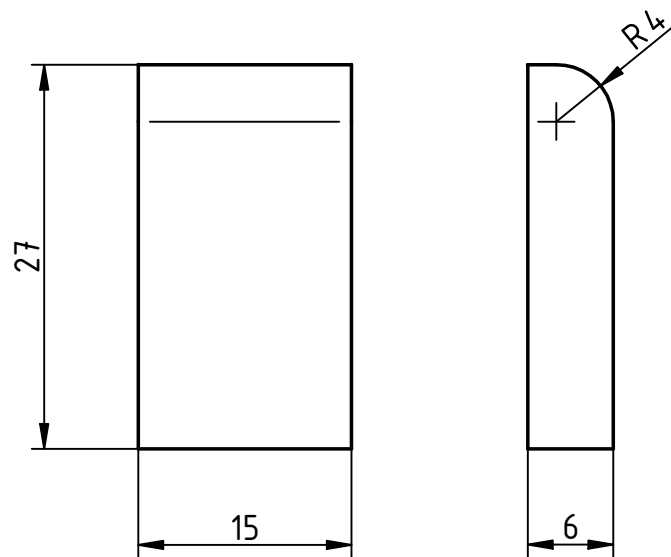
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Küljетииб		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.03	



	<i>Materjal:</i> <i>Puit</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <i>2 : 1</i>
<i>Teostas</i> <i>Kontrollis</i> <i>Kinnitas</i>		<i>Nimetus:</i> <h1 style="text-align: center;">Õhusuunaja</h1>		
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> <h2 style="text-align: center;">Auto 01.04</h2>	



	<i>Materjal:</i> <i>Puit</i>	<i>Märkimata pühälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <i>2 : 1</i>
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> <i>Iste</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> <i>Auto 01.05</i>	



Materjal:

Puit

Märkimata piirhälbed:

Mass:

Mõõt:
2 : 1

Teostas

Kontrollis

Kinnitas

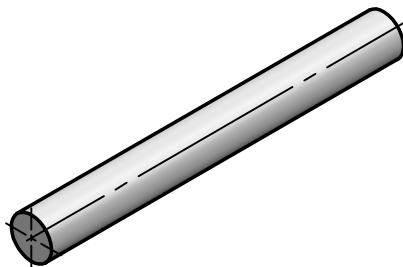
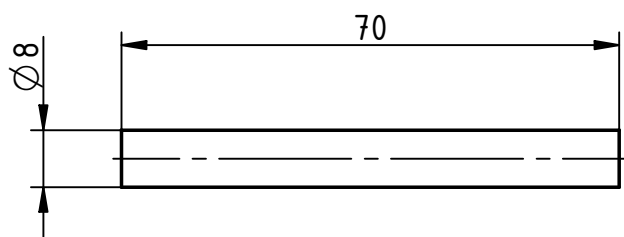
Nimetus:

Seljatuigi

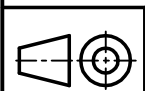
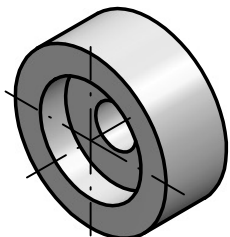
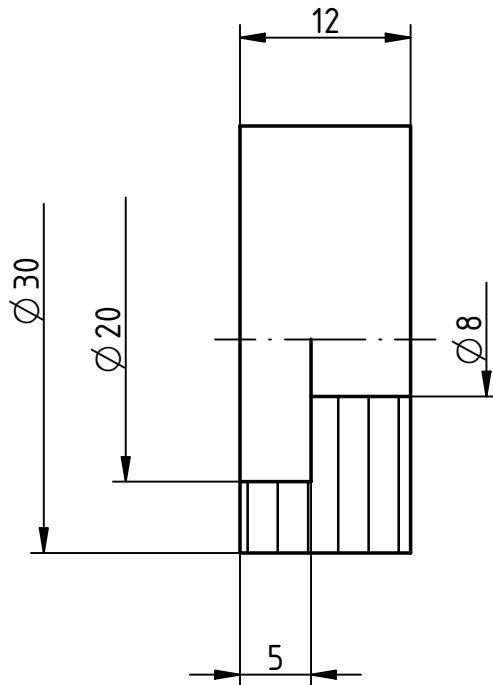
Leht:

Tähis:

Auto 01.06



	<i>Materjal:</i> <i>Puit</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <i>1 : 1</i>
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i>		
<i>Kontrollis</i>		<i>Telg</i>		
<i>Kinnitas</i>		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i>	
			<i>Auto 01.07</i>	



Materjal: *Puit*

Märkimata piirhälbed:

Mass:

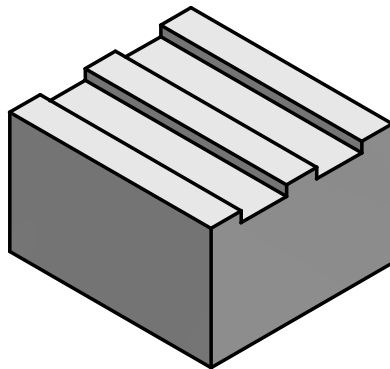
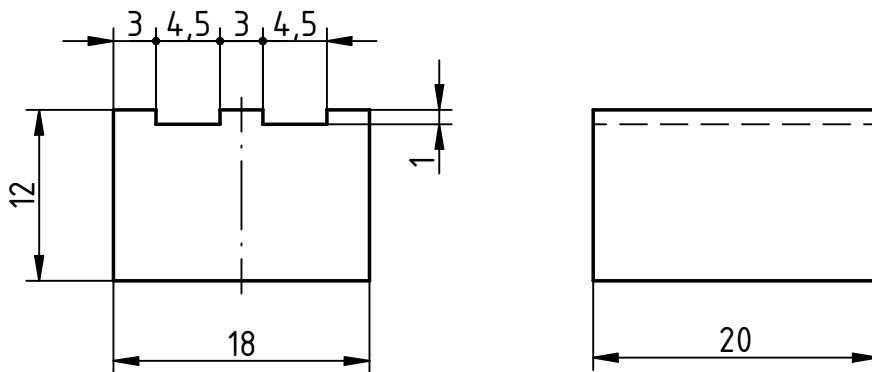
Mõõt: 2 : 1

Teostas
Kontrollis
Kinnitas

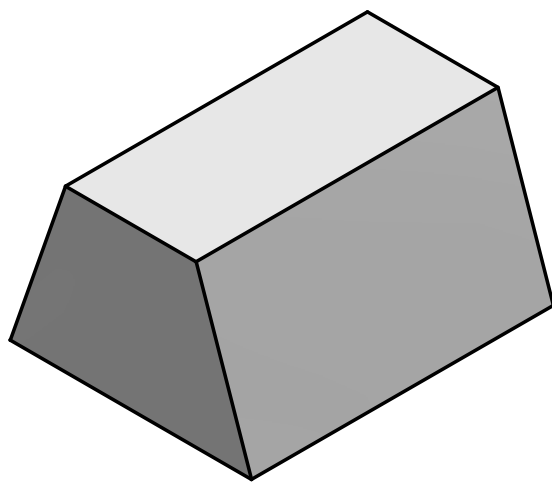
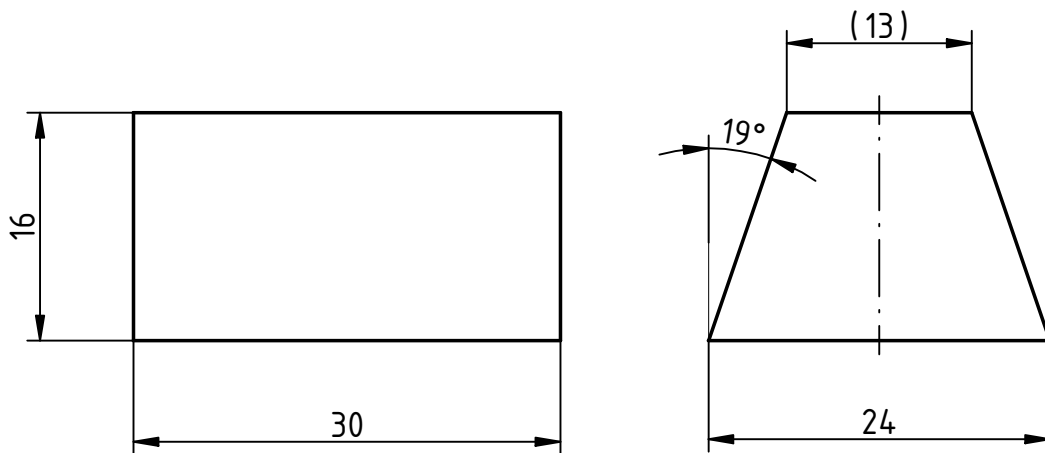
Nimetus: *Ratas*

Leht:

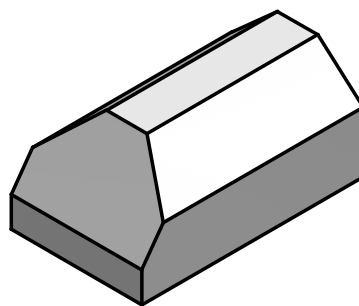
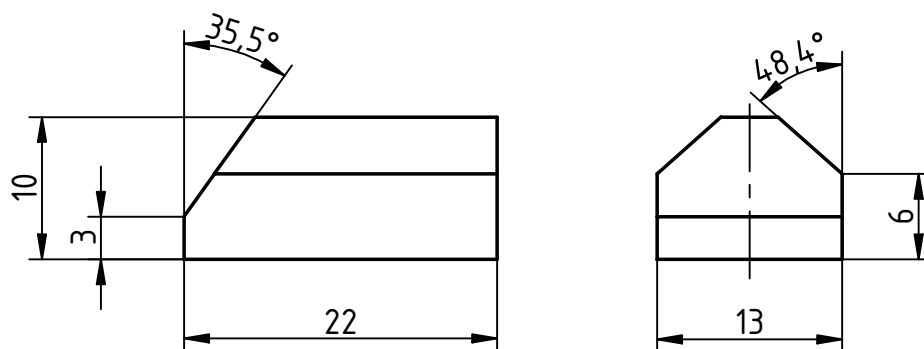
Tähis: *Auto 01.08*



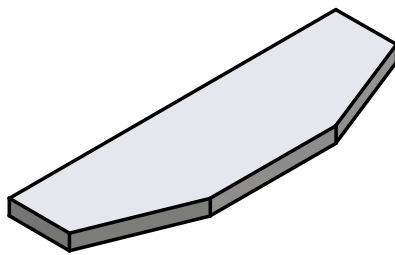
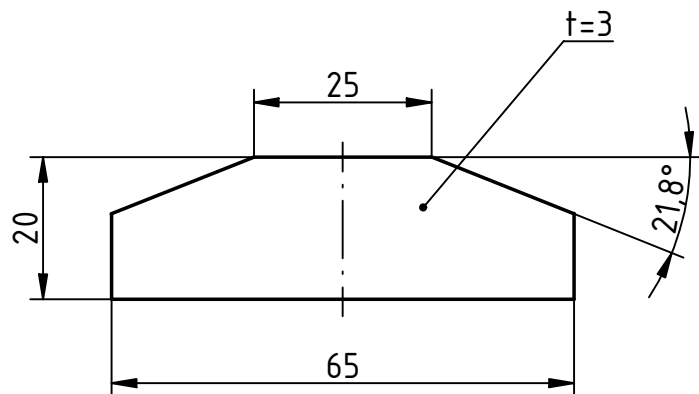
	<i>Materjal:</i> <i>Puit</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <i>2 : 1</i>
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> <i>Mootor</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> <i>Auto 01.09</i>	



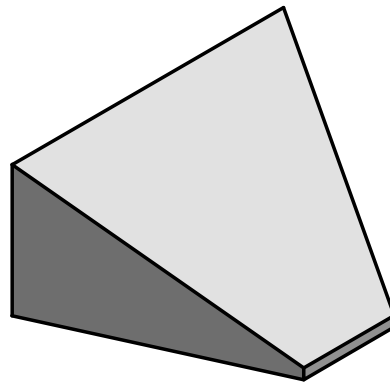
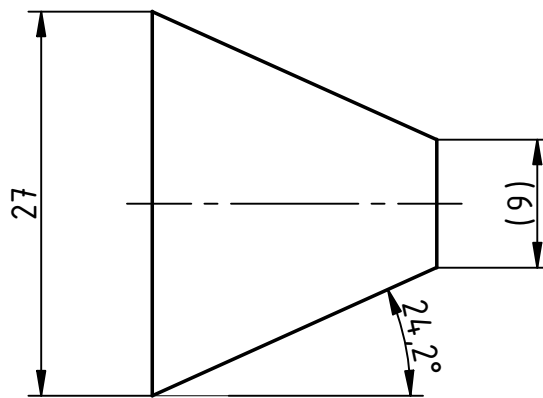
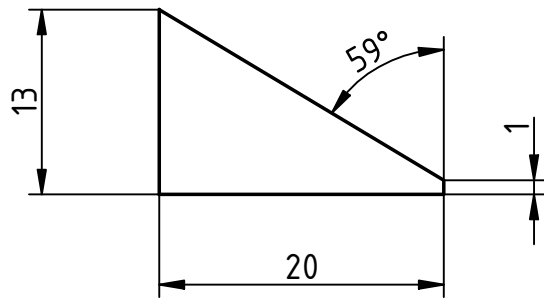
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Peatoealus		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.10	



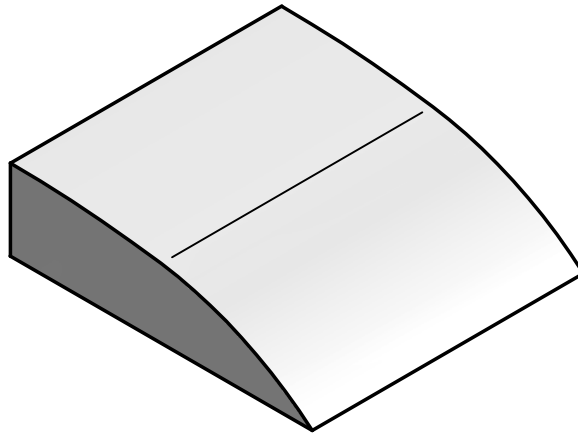
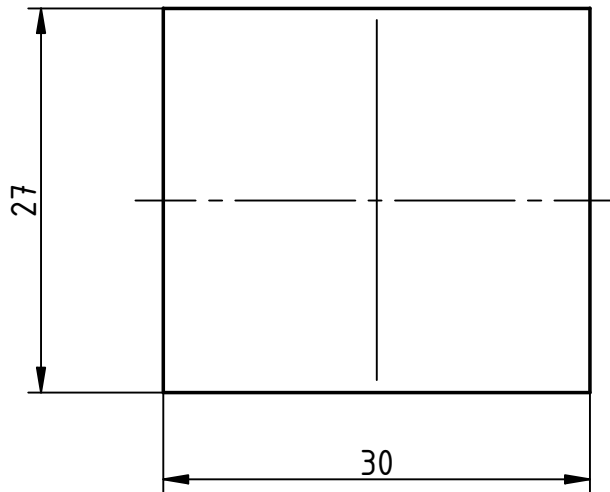
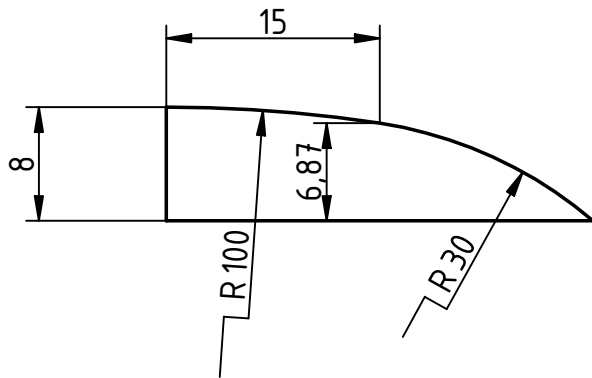
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata püürhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Peatugi		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.11	



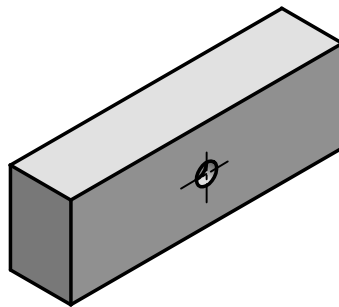
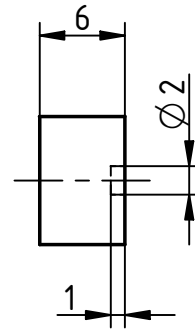
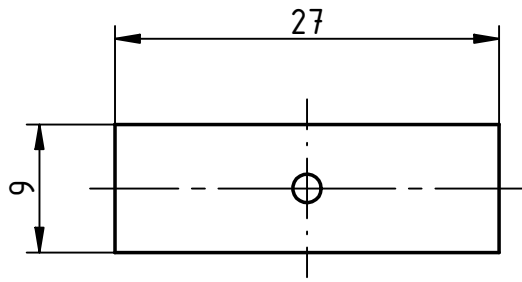
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata pürihálbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Esitiib		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.12	



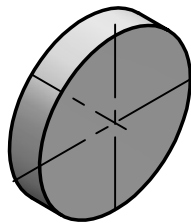
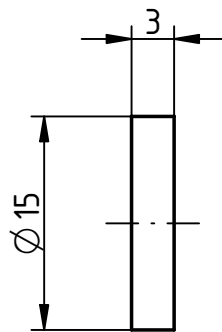
	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i> <i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>	<i>Nimetus:</i> Nina		
<i>Kontrollis</i>			
<i>Kinnitas</i>			
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.13



	<i>Materjal:</i> <p style="text-align: center;"><i>Puit</i></p>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <p style="text-align: center;">2 : 1</p>
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> <h1 style="margin: 0;">Kapott</h1>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> <p style="text-align: center;"><i>Auto 01.14</i></p>	



	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Armatuur		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.15	



	<i>Materjal:</i> Puit	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2 : 1
<i>Teostas</i>		<i>Nimetus:</i> Rool		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
		<i>Leht:</i>	<i>Tähis:</i> Auto 01.16	