

MÕÕTMESTAMINE JA TOLEREERIMINE

2 ×16 tundi

Teema	Kestvus h
1. Sissejuhatus. Seosed teiste aladega Mõisted ja terminiloogia. GPS standardite maatriksmudel	2
2. Geomeetrilised omadused. Mõõtmestamise üldprintsipiibid. Ümbrikunõue, maksimaalse materjali tingimus	2
3. ISO istude süsteem. Tolerantsiväljad	2
4. Istud. Võlli ja avasüsteem	2
5. Soovitavad istud. Istude rahvuslikud süsteemid	2
6. Istude kujundamise põhimõtted Istude analüüs ja süntees	2
7. Liistliidete tolerantsid. Üldtolerantsid	2
8. Geomeetrilised hälbed. Kujuhälbed. Suunahälbed	2
9. Viskumise hälbed. Asetsemise hälbed. Lähted Nurkade ja koonuste hälbed ja tolerantsid	2
10. Pinnahälbed. Pinnakaredus, lainelisus, mõõtmine	2
11. Valutoodete ja keevitatud toodete tolerantsid Keermete ja hammasrataste hälbed	2
12. Laagrite istude tolereerimise põhimõtted Kaliibrite tolereerimise põhimõtted	2
13. Mõõdtahel. Analüüs. Min-max meetod. Tõenäosusmeetod	2
14. Mõõtmete ja tolereerimise vektorkäsitlus Hälvete statistiline käsitlus. Hajuvus.	2
15. Hälvete kontroll. Arvutite kasutamine	2
16. Eksamiküsimused	2

Z.Humienny, P.H.Osanna, M.Tamre, A.Weckenmann, L.Blunt, W.Jakubiec Geometrical Product Specification. Course for Technical Universities. Warszawa, 2001.

T.Tiidemann. Mõõtmed ja tolerantsid. Kvaliteedikeskne praktiline käsitlus. Tallinn, TTÜ, 2000.

I.Märtson. Nimimõõde ja piirhälbed. Sari Masinaelemendid. Tallinn, Valgus, 1990

Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Машиностроение, 1979.

Саранча Г.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Издательство стандартов, 1991

Дунин-Барковски И.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Издательство стандартов, 1987

Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении. Машиностроение, 1984

1. SISSEJUHATUS. SEOSSED TEISTE ALADEGA. MÕISTED JA TERMINILOOGIA

Detaili projekteerijal on ettekujutus sellest kui ideaalsest objektist ilma geomeetriliste ja pinnahälveteta.

Tegelikuses esinevad hälbed ning ühe joonise järgi valmistatud detailid erinevad veidi üksteisest.

Põhjused: tehnoloogilise valmistuseseadme, tööriista, rakiste, protsessi, keskkonnatingimuste hälbed kui ka detaili materjali seisund (jääkpinged, füüsikalised-keemilised omadused mittehomogeensed jne) ning operaatori vead.

Vahetatavus on masinate konstrueerimise, tootmise ja eksploatatsiooni põhimõte, millega kindlustatakse üksteisest sõltumatult valmistatud detailide montaaž koostuks, koostude montaaž kompleksiks (masinaks, aparaadiks) ilma detailide täiendava mehaanilise töötlemise või sobitamise, pidades silmas kõigi parameetrite (geomeetriliste, mehaaniliste, elektriliste jt) täpsuse nõudeid, millega tagatakse masina/aparaadi optimaalsed töönäitajad (võimsus, tootlikus, töökindlus, kasutegur jne).

Täpsuse kindlustamiseks on vaja valmistada detailid ja koostud selliselt, et geomeetriliste ja teised hälbed ei ületaks lubatavat piiri.

Vahetatavus lihtsustab masinate eksploatatsiooni ja remonti.

Vajalikud kompetentsed kontrollmõttmised kui ka valmistusprotsessi pidev kontroll.

Vahetatavus:

- täielik (ilma täiendava sobitamise);
- osaline (valikkoostamine, kompensatorid, reguleerimine, justeerimine). Osaline vahetatavus vajalik suure täpsuse korral, individuaalootmine);
- väline, kus asendatakse suures kompleksis üks koost (nt elektrimootor treipingis);
- sisemine vahetatavus, kus detailis asendatakse mõni osa).

Vahetatavuse aste saab illustreerida teguriga, sõltuvalt vahetatavate detailide osakaalust detailide üldarvust koostus.

Funktsionaalne vahetatavus: vahetatavus, mis tagab ühetüübiliste toodete optimaalsed eksploatatsioonilised näitajad etteantud piirides. Selleks on vajalik teada eksploatatsiooninäitajate seos GPS.

Toodete geomeetiline vahetatavus tagatakse vajaliku täpsusega detailide valmistamise ja nende montaažiga, kusjuures täpsus tagatakse GPS-iga. Seade koostatakse erinevatest detailidest, mis ei ole samuti identsed. Üldtoodust selgub vajalikkus, et detailid oleks võimalikult väheste kuludega vahetatavad või asendatavad. See tagatakse objektile teatud nõuete esitamisega, mis käsitlevad mõttmeid, tolerantse ja pinna omadusi. Neid nõudeid nimetatakse *Geometrical Product Specifications* (GPS) - toote geomeetrilised nõuded.

Mõõtmete tolerantsid		Geomeetrilised tolerantsid	Pinna tolerantsid
Pikkused	Astmed	Kuju	Pinnakaredus
Linearmõõtmed	Vahemaad	Suuna	Lainelisus
Nurgad	jne	Asetsemise	
		Viskumise	

Tab 1 GPS üldkontseptsioon

GPS tagatakse:

- toimimisvõime. Masin töötab korralikult kui on tagatud näiteks tööpinna sirgjoonelisus.
- ohutus. Nõutud pinnasiledus väldib väntvõlli väsimuspraod.
- koostöövõime. Sobivad tolerantsid tagavad kolb-silinderpaari pikajalise töö.
- vahetatavus. Võimaldab osade asendamise remondi käigus.
- majandusliku kasu.

GPS kohta kehtivad rahvusvahelised ISO standardid. Sellega tegeleb ISO/TC 213 *Dimensional and Geometrical Product Specifications and Verifications*.

Vajalik insenerile, et luua uut.

Põhimõisted:

Mõõtmestamine: toote ja selle osade suuruse ja kuju määramine. Objekt esitatakse tehnilisel joonisel koos mõõtmete, asendi ja kuju nõuetega.

Tolerants (*tolerance*) on võtmeküsimuseks projekteerimisel, tootmisel ja kasutamisel.

Ist (*fit*). ISO süsteem istudele.

Geomeetiline hälve.

Pinnakaredus.

Vahetatavus.

Mõõteahel.

Lähted, baaspinnad.

Seosed teiste aladega

- metroloogia;
- kvaliteedi juhtimine;
- tehniline joonestamine;
- standardimine;
- tootmistehnoloogiad;
- tõenäosusteooria.

2. GPS STANDARDITE MAATRIKS MUDEL

GPS standardid on jagatud 4 gruppi:

- alus (põhi) GPS standardid;
- globaalsed GPS standardid;
- üld GPS standardid;
- täiendavad GPS standardid.

Alus GPS standardid käsitlevad põhimõtteid ja üldreegleid ja praegu on ainult 2 standardit - ISO 8015 ja ISO/TR 14638.

Globaalsed GPS standardid annavad nõudeid, mis on olulised paljudes muudes GPS standardites. Näiteks ISO 1 esitab referentstemperatuuri, ISO 14660/1 esitab geomeetriliste omaduste määratlused. VIM ja GUM annavad olulised metrooloogilised nõuded, kuigi ise ei ole vormistatud ametliku standardine.

Üld GPS standardid esitavad otsesed nõuded geomeetrilistele omadustele (näiteks mõõtmed, nurgad, pinnakaredus jne).

Täiendavad GPS standardid esitavad nõudeid geomeetriliste omaduste selgitamiseks konkreetsetel juhtudel, näiteks jooniste tehnilised nõuded, erinõuded protsessidel ning teatud masinaelementidel.

Standardite grupp

1. Dokumentide objektide identifitseerimine-kodeerimine
2. Tolerantside määratlused, nii keeleline kui väärtused.
3. Omaduste määratlused.
4. Tegelik objekti hälvete hindamine ja piirväärtustega võrdlemine arvestades määramatust.
5. Nõuded mõõtevahenditele.
6. Kalibreerimise nõuded ja mõõteetalonid.

Maatriksis on rakendatud järgmised põhimõtted:

1. Piisavuse reegel. Standardite kett peab sisaldama piisavalt reegleid, alates tähistest joonistel kuni suuruse mõõtmiseni.
2. Täielikkuse reegel. Igas lahtris peab olema standard(id).
3. Täiendavuse reegel. Iga lahter peab teineteist täiendama, kuid olema sõltumatud.

Tab 2 GPS üldstandardid

Geomeetiline omadus		Standardite grupp					
		1	2	3	4	5	6
1	Mõõde	ISO 129 ISO 286-2	ISO 286-1 ISO 286-2	ISO 286-1 ISO 8015 ISO 14660-2	ISO 14253-1	ISO 463 ISO 9121 ISO 9493 ISO 10360-1,2 ISO 13225 ISO 13385 ISO 14253-1	ISO 3650 ISO 14253-1
2	Vahemaa						
3	Raadius						
4	Nurk						
5	Baasist sõltumatu joon						
6	Baasist sõltuv joon						
7	Baasist sõltumatu pind						
8	Baasist sõltuv pind						
9	Suund						
10	Asetus						
11	Ringviskumine						
12	Täielik viskumine						
13	Lähted						
14	Pinnakaredus						
15	Pinna lainelisus						
16	Esmaspind						
17	Pinna rikked						
18	Kalded (nurgad)						

3 “SKIN” MUDEL

Masinaehituse on detaili mõõtmed ja geomeetria üheks olulisemaks osaks.

Mõõtmiste osakaal:

- 85 % mõõtmed+pind,
- 10 % materjalide katsetamine (tugevus, elastsus, kristallide struktuur),
- 5 % siduvad näitajad (pinnakõvadus, rikenemine, pinge)

Mõõtmiste tähtsus:

- tagada objekti foimimine
- mõõtmete vastavus
- ekonoomsuse tagamine.

Konstrueerimine	Detaili tõendamine
<i>Skin</i> mudel. Geomeetiline esitamine	Tegelik objekt
Operatsioonid	Operatsioonid
Ideaalne ja/või mitteideaalne omadus	Ideaalne ja/või mitteideaalne omadus
Osandamine (<i>partition</i>)	Füüsikaline osandamine
Eraldamine (<i>extraction</i>)	Füüsikaline eraldamine
Filtreerimine (<i>filtration</i>)	Filtreerimine
Assotsieerimine (<i>association</i>)	Assotsieerimine
Kogumine (<i>collection</i>)	Kogumine
Konstrueerimine (<i>construction</i>)	Konstrueerimine
Hindamine (<i>evaluation</i>)	Hindamine
Määratletud karakteristikud	Mõõtetulemus
Vastavuse hindamine	

Joon 1 Masinaehitusliku objekti geomeetrilise tolerantsi mudel

4 GEOMEETRIILISED OMADUSED

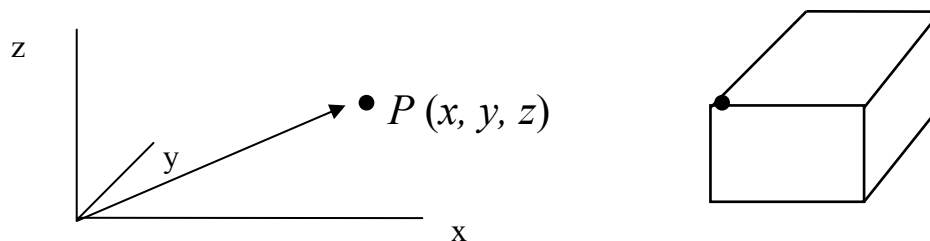
Üldist

Masinaehituslik detaili saab koostada punktide, joonte, ringjoonte, tasapindade, sfäärade, koonuste, silindrite ja ringtorude abil. Täielikuks kirjelduseks on vaja lisada mõõtmed. Sellega saadakse ideaalne detail.

Kirjeldamiseks on vajalik minimaalne arv parameetreid ning see võimaldab detaili viia elektroonsesse vormi ja arvutisse. Iga detail on matemaatiliselt kirjeldatav punkti koordinaadiga $P(x, y, z)$ ning asukoha vektoriga V .

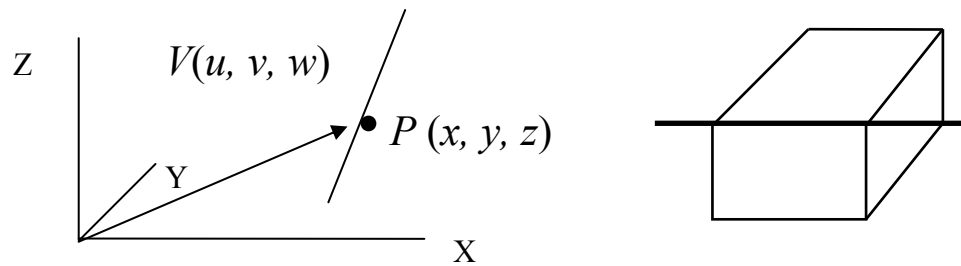
Vt [GPS] Fig. 4.4

Punkt. Punkti asukoht on kirjeldatava ühe koordinaadiga.



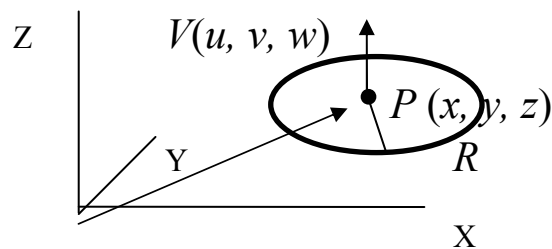
Praktiliselt on raske mõõta punkti ning seetõttu väljendatakse see geomeetriliste vormide lõikepunktina, nt kuubiku nurgapunkt on kolme tasapinna lõikepunkt.

Joon on lõputu pikkusega. Joon on antud punktiga ja suund suuna vektoriga (u, v, w) ning on defineeritud vähemalt kahe punktiga või tasapindade lõikekohana.



Tasapind on pind, mis asetseb tasaselt ning orientatsiooni määratleb pinnanormaal. Tasapind on defineeritud vähemalt kolme punktiga, mis ei asetse ühel joonel. Kolme punkti skaneerimisega (mõõtmisega) on võimalik tasapind arvutada. Ühe punkti määratlemisega on vajalik lisaks pinnanormaal leidmine. Punktiks võetakse tavaliselt tasapinna raskuskese.

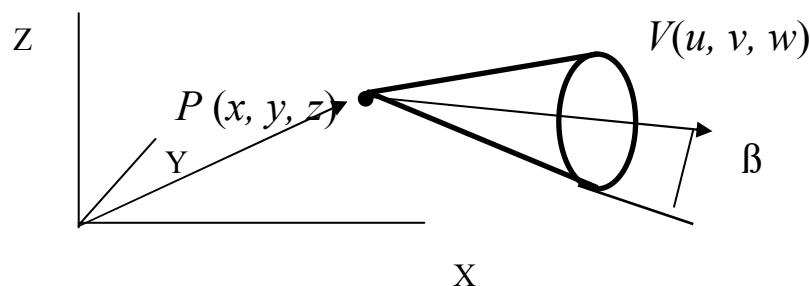
Ringjoon - keskoht, kõik punktid raadiuse kaugusel ühel tasapinnal, pinnanormaal.



Silinder - raadius, telje suund. Defineerimiseks vajalik vähemalt viis punkti.

Sfäär - kõik punktid ühel kaugusel, telje suund puudub, seetõttu määratletav vähemalt nelja punktiga.

Koonus - defineerimiseks vajalik vähemalt kuus punkti, koonuse tipppunkt, telje suund ning koonuse nurk.



Ringtoru - silinder, mille otsad on kokkuviidud suletud ringjoonena. Defineeritav seitsme punktiga, toru raadius, ringi raadius ning normaal.

Laiendatud omaduste definitsioon

Eeltoodud omadused on regeliikkuses täielikult kirjeldatavad lisades hälbed. Arvutites on lihtne väljendada.

Vt [GPS] Fig. 4.6

Geomeetriliste omaduste põhimõisted joonistele on antud ISO 14660. Esitatud on tegeliku detaili ja joonisel kujutatute vahelised seosed.

Mõõtmisel raskusi, sest mõjuvad tugevalt temperatuur ning operaator.

5 MÕÕTMETE ÜLDPRINTSIIBID

5.1 Mõõtme määratlus

Mõõtmete tolerantside mõisted ja juhised tolereerimiseks on antud standardis ISO 286-1.

Mõõde: Lineaarse suuruse numbriline väärtus erilises ühikus.

Näiteks: 20 mm või 20 km, kuid mitte 40 kg ega nurk.

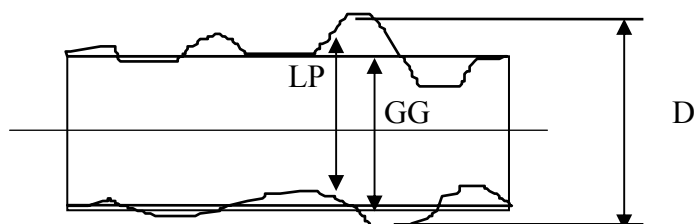
Lineaarne suurus

Kohtmõõde	Arvutatud mõõde	Statistiline mõõde	Üldmõõde
Kahe punkti vahemaa	Pindala diameetri mõõde	Minimaalne mõõde	Vähimruutude mõõde
Sfääri määrav mõõde	Übermõõdu- diameetri mõõde	Maksimaalne mõõde	Maksimaalne omistatud mõõde
		Keskmine mõõde	Minimaalne omistatud mõõde

ISO 14660-1 järgi:

- mõõde omadus: geomeetiline kuju mõõtmena lineaarses või nurga dimensioonis;
- mõõde: väärtus kas kohtmõõtmena, arvutatud mõõtmena, statistilise mõõtmena või üldmõõtmena;
- kohtmõõde (ISO/WD 14405);
- üldmõõde: omaduse sisekarakteristiku väärtus seoses saadud omadusega;
- väärtus saaduna matemaatilise seose abil;
- väärtus saaduna statistilise töötluse abil.

Mõõtmisel saavutatakse tegelik mõõde (mitte tõeline väärtus).



LP - Kahepunkti vaheline kohalik mõõde, GG - vähimruutude mõõde, D - piirmõõde.

Joon. Lineaarmõõtmete võimalused

Mõõtmete grupid

Lineaarmõõtmed võib gruppida:

- välismõõtmeks (lehe paksus, võlli diameeter),
- sisemõõtmeks (ava diameeter, lõhe),
- astmeteks (trepp),
- vahemõõtmeks (avade vahemaa).

Välis- ja sisemõõtmed on kirjeldatavad silindriliste detailidena ning need on haaratud ISO 8015 kui vastasomadused. Neid on suhteliselt lihtne mõõta.

Astmed ja vahemõõtmed on metrooloogiliselt keerulisemad kuivõrd üks (või mõlemad) pind ei ole otseselt materiaalsed.

Vt [GPS] Fig. 5.3.

Mõõde kujutatakse joonisel vastavalt ISO 406 nõuetele ning sisaldab mõõtme nimiväärtuse, mõõtejooned, tolerantsi ja tingtähist.

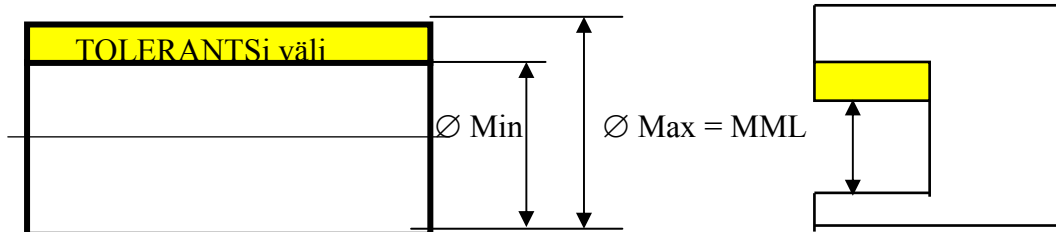
Nimimõõde (*nominal size*) on tõesele väärtusele lähedane suurus ning on eelistatult kujundatud eelisarvude rea väärtust aluseks võttes.

Maksimaalse ja vähima materjali piirväärtus (*maximum and least material limit*)

Maksimaalne materjali piirväärtus (MML) on näiline (virtuaalne) suurus, mis on võrdne detaili materjali maksimaalse kogusega antud tingimustel.

Silindrilistel võlldetailidel on MML ülemine piirmõõde ning avadetailidel MML vähimpiirmõõde.

Vähima materjali piirväärtused võlldetailidel on MML alumine piirmõõde ning avadetailidel MML ülemine piirmõõde



Näiteks on avade MML vastav kontrollkaliiber LÄBIV.

MML on sobilik kasutamiseks kui võrd on võimalus tolerantsi ulatuses vajadusel detaili töödelda.

Vähima materjali piirväärtus annab võimaluse kasutada vähimat materjali kogust.

Piirväärtusi on sobilik kasutada koostepaarides ning annab võimaluse kujundada virtuaalse mõõtme, mis tagab paari koostamise ilma detailide kõverdamata ning ilma lõtkuta.

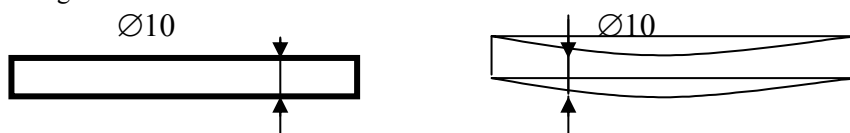
5.2 Sõltumatuse printsiip

Paari koostamise vajadus on tolereerimise aluseks. Toote toimimine ning tööstuslik tootmine on võimalik arvestades tolerantsi ja detailide geomeetrisi omadusi.

Tolereerimisel esines kuni lähijani erinavaid norme ning 1985 a. esitas ISO standardi ISO 8015, mis harmoniseeris tolereerimise. Selles eristati selgelt hälbeid pinnale ning mõõtmetele.

Põhimõtteks on iga hälbe eraldi (iseseisvalt) käsitlemine seni kuni erilist seost ei esinenud.

St iga hälve kontrollitakse eraldi.



Detail vastab nõuetele arvestades ainult võlli tolerantsi kuigi sirgjoonelisus on halb.

Samuti on võlli ristlõige tegelikult kolmnurga kujuline.

Sageli piisab ainult ühe hälbe nõudest kui võrd kasutamistingimus lubab seda.

Projekteerija peab sügavalt mõtlema, mis on tõeliselt vajalik.

5.3 Ümbrikunõue (envelope requirements)

Detailipaari vabaks kuid ilma lõtkuta ühendamiseks on vajalik arvutada vastav väärtus arvestades hälbeid ning tolerantsi. Selliseks väärtuseks on MML. Asja lihtsustamiseks on võimalik kasutada Taylori printsiipe aastast 1905.

Taylori printsiip esitab, et efektiivne vastavuse kontrollimine on võimalik kalibriiga, mis kontrollib detaili kogu omaduse ulatuses ja puudutab teda kahes punktis.

LÄBIV kaliber kontrollib ava maksimaalset materjali piiri ning MITTELÄBIV vähimat materjali piiri.

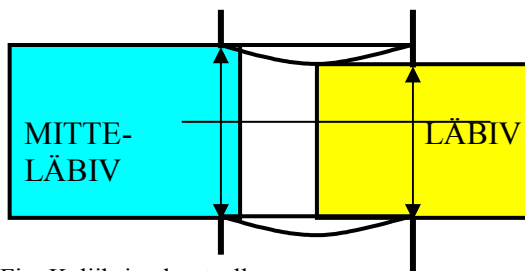
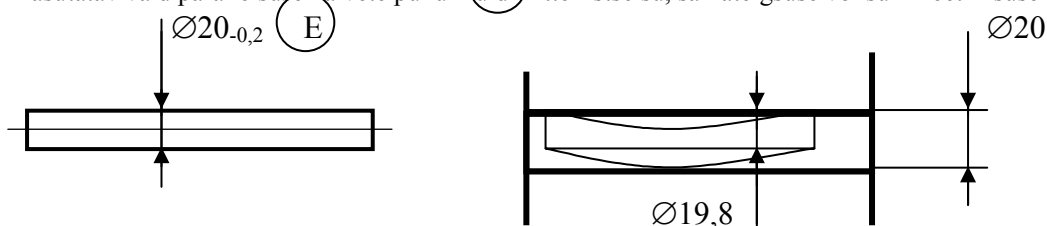


Fig. Kalibriiga kontroll

LÄBIV kaliber on ümbriku näidiseks kui võrd mahub detaili. Ümbriku nõude korral on võimalik vähendada mõõtme tolerantside tähtsust ning esile seada kujuhälbed, kuid kujuhälve peab jääma väiksemaks mõõtme tolerantsist. Joonisel tähistatakse märgiga $\text{Ø}20_{-0,2} \text{ E}$

On kasutatav vaid paralleelsuse hälvete puhul kuid mitte ristseisu, samatelguse või sümmeetrilisuse hälvete korral.



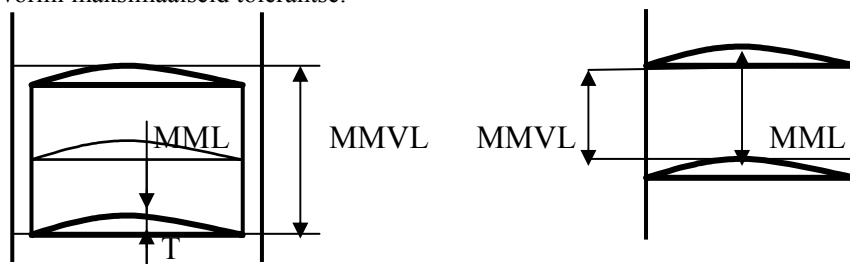
Ümbriku nõue kontrollib mitut hälvet korraga, st hälbed ei ole enam iseseisvad.

5.4 Maksimaalse materjali tingimus

Materjali ökonomia saavutamiseks on rakendatav maksimaalse materjali tingimus (MMC) ISO 2692 järgi.

Maksimaalse materjali virtuaalne piir (MMVL - *maximum material virtual limit*) kirjeldab maksimaalse materjali koguse mõõdet virtuaalses tingimustes.

MMVL on seoses MML ja kirjeldab geomeetrilise omaduse ideaalset mõõdet, mille juures MMC on täidetud ning näitab kuju ja vormi maksimaalseid tolerantsse.



T – geomeetrilise hälbe tolerants

a) MMVL völlile

b) MMVL avale

Völlile on MMVL näiline läbimõõt kogu mõõtme pikkuses, millesse mahub tegelik hälvetega (tolerants + geomeetiline hälve) völl.

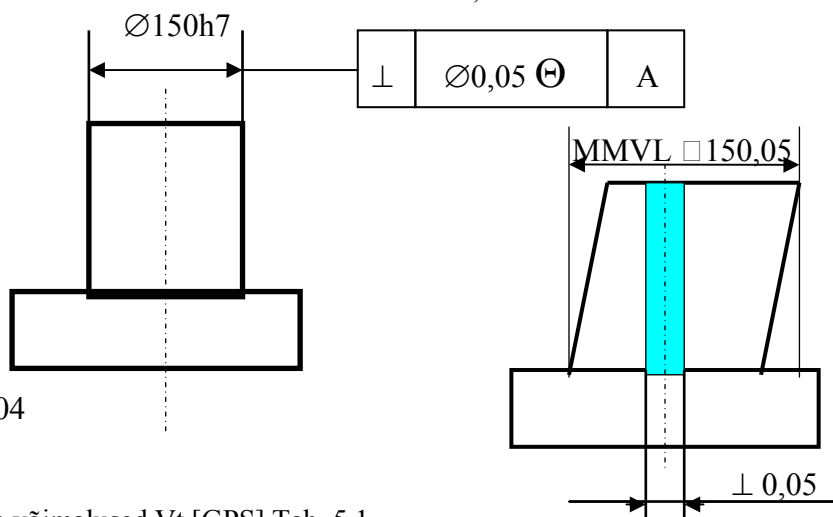
$MMVL = MML + T$ (välismõõtmetele, völlile)

Avale on MMVL näiline läbimõõt, millesse mahub ideaalne völl.

$MMVL = MML - T$ (sisemõõtmetele, avale)

Tähistatakse \textcircled{M}

Võimaldab kombineerida hälvete valikut soodsas suunas, nt suurendada teist tolerantsi esimese arvel.



$h7 = 0/-0,04$

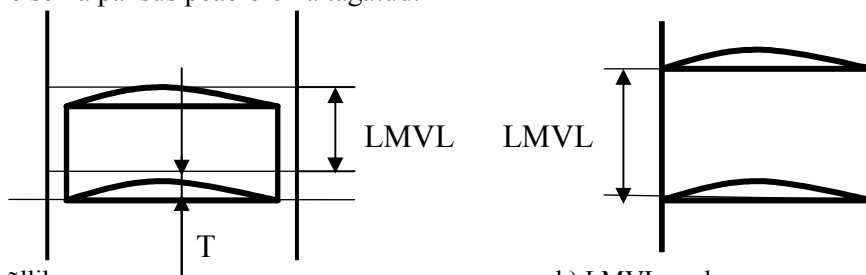
Kasutamise võimalused Vt [GPS] Tab. 5.1.

Vähima materjali tingimus (LMVL - *least material virtual limit*) on vastupidine MML ning annab vähima materjali koguse detailile ning tähistatakse \textcircled{L}

$LMVL = MML - T$ (välismõõtmetele, völlile)

$LMVL = MML + T$ (sisemõõtmetele, avale)

Näiteks seina paksus seoses ava asetusega. Saab sobitada ava tolerantsi ning telje tolerantsi, kusjuures minimaalne seina paksus peab olema tagatud.



a) LMVL völlile

b) LMVL avale

Vt [GPS] Fig 5.13.

6 ISO SÜSTEEMI TOLERANTSID JA ISTUD

6.1 Lühiajalugu

Esimene kord püüti luua rahvusvahelist tolerantside ja istude süsteemi luua International Standard Association (ISA) poolt enne Teist Maailmasõda mõõtmetele 1 mm kuni 500 mm. Töö lõpetati ISO poolt aastaks 1962 mõõtmetele kuni 3150 mm. Lisaks 1970 anti välja soovitusel eelistolerantsiväljadele kasutamiseks masinaehituses. 1970-l hakati neid avaldama ISO standarditena.

1988 anti välja ISO 286-1 (esitab põhimõtted), ISO 286-2 (esitab arvvaartused) ja ISO 1829 (esitab soovitatavad tolerantsiklassid). ISO süsteem on eelkõige mõeldud silindrilistele detailidele, kuid on rakendatav ka analoogsetele mõõtmetele.

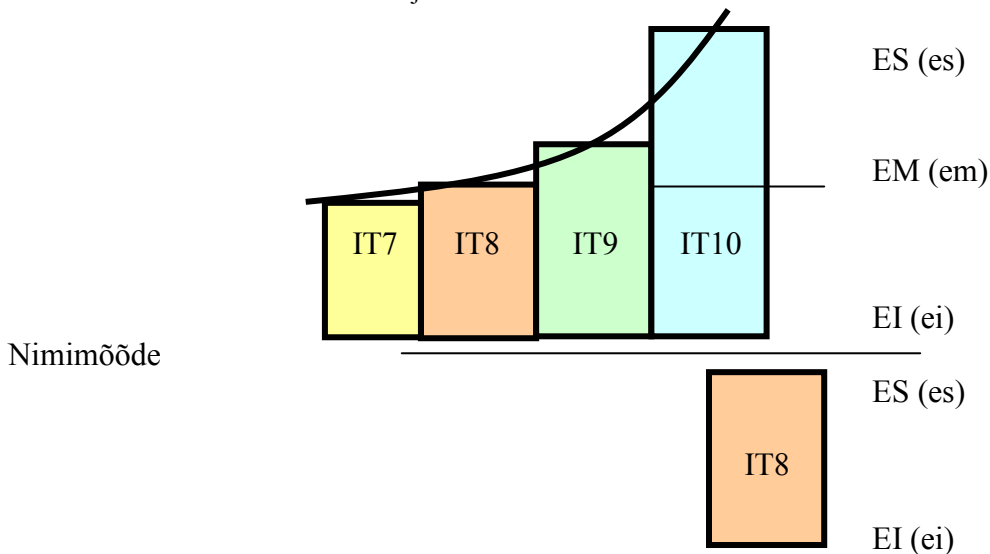
2000. a. alguses on standardid ISO 286-1 ja ISO 1829 revideerimisel üheks standardiks.

6.2 Tolerantsijärk

Mõõtme tolerants kui nimimõõtme ja tolerantsi järgu funktsioon

Kasutusel on tolerantsijärk (ISO 286-1:2001), et siduda mõõtme tolerants omaduse nimimõõtmega. Tolerantsijärk võrdleb mõõtme ja mõõtme piirvaartuse väärtusi, tema asetus nimimõõtme suhtes määratleb mõõtme piirid ja tema suurus määratleb mõõtme tolerantsi väärtused.

Uues standardis kasutatakse tolerantsijärku varasema tolerantsiklassi asemel.



Vt GPS Fig 6.1 (esitab kolvi ja kolvi rõnga skeemi).

Erinevatele nimimõõtmetele sama täpsustaseme kindlustamiseks kasutatakse tolerantsijärku (*tolerance grade*) mõistet kui täpsuse mõõduna. Tolerantsi väärtus on antud valemiga

$$IT = a \times i,$$

kus i on tolerantsi ühik ja a on tolerantsijärku faktor.

Tolerantsiühik sõltub ainult nimimõõtmest ja tolerantsijärku faktor sõltub ainult valitud tolerantsijärgust.

Järku näitab arv IT järel, mida väiksem arv, seda täpsem tolerants. IT suurus vastab tolerantsivälja suurusel ning tolerantsivälja tähistatakse ka T_D (avalaadsetele mõõtmetele) või T_d (võllilaadsetele mõõtmetele). IT on universaalsed ja korrapärased sõltuvalt nimimõõtmest.

Valides tolerantsijärke, võimaldab konstruktoril valida erinevaid täpsustasemeid.

Tolerantsi ühik on diskreetsete arvude kogum. ühiku konkreetne arv on antud teatud mõõtmete ulatuses, mida piirkonnas kuni 3150 mm on 21 gruppi.

IT koosneb 20 grupist 01, 0, 1, 2, ..., 18, kus algus on kõige täpsem.

Tähistatakse IT01, IT0 jne.

Vt GPS Tab 6.1

Erinevate tolerantsijärkude funktsioonid

ISO 286 esitab mõõtmekuni 3150 mm. See on omakorda jagatud alagruppideks mõõtmetega kuni 500 mm ja üle selle. Gruppides on tolerantsi ühik erinev. Alagrupp on jaotatud 21 piirkonnaks ning iga piirkond sisaldab ühe standard tolerantsi, mis on geomeetriline keskmine antud piirkonnale

$$D = \sqrt{D_1 \times D_2},$$

kus D_1 ja D_2 on intervalli alumine ja ülemine piir.

Tolerantsi ühik on leitav 500 mm grupis ja tolerantsi astetel IT5 kuni IT 18 valemiga

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D,$$

kus D on millimeetrites ja i on mikromeetrites.

Oma olemuselt on valem empiiriline ning võtab arvesse seose, et tootmise vigade ning nimimõõtme vaheline sõltuvus on paraboolse funktsiooni alusel.

Üldjuhul on IT arvutatud ülaltoodud valemi abil.

Täpsematele on leitud erivalmid

$$IT01 = 0,3 + 0,008D;$$

$$IT0 = 0,5 + 0,012D,$$

$$IT1 = 0,8 + 0,020D.$$

Suurte mõõtmete (üle 500 mm) grupis on IT1 kuni IT18 on lineaarse tolerantsi ühik I leitud valemiga

$$I = 0,004D + 2,1.$$

Arvutatud tolerantsi väärtuste ümmardamine

Tolerantsid on arvutatud ning ümmardatud teatud reeglite järgi.

Uues standardis ei ole enam antud arvutusvalemeid.

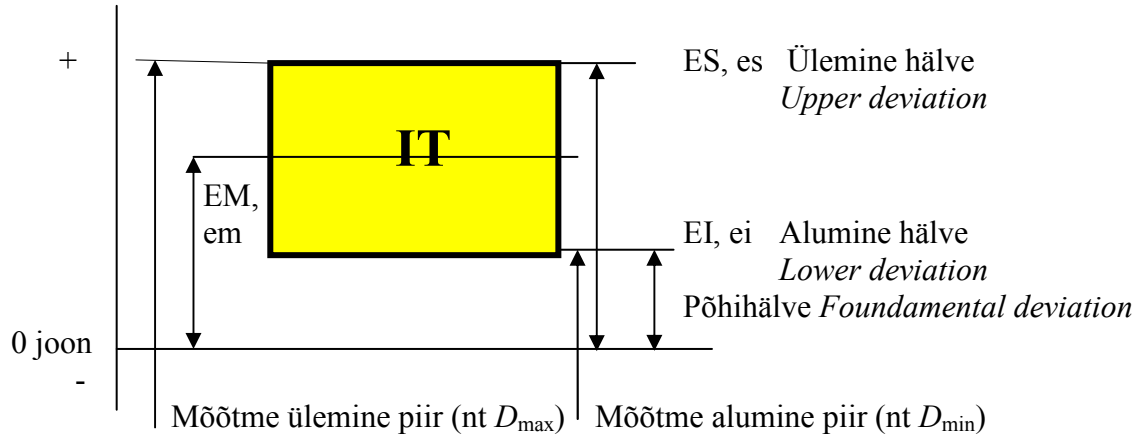
Lubatud on kasutada ka ebatäpsemaid tolerantsi astmeid korrutades tabelis olevaid teatud faktoriga. Lihtne on seda teha rea R5 järgi, kus iga viies väärtus võrdub 10 kordse esimese rea liikme väärtusega.

IT19=10×IT14; IT20=10×IT15 jne.

6.3 Põhihälbed

Põhihälvete esitus

Tolerantsivälja kaugus nulljoonest on määratud piirhälbega, mida nimetatakse põhihälbeks (*fundamental deviation*). Põhihälve on selline piirhälve, mis on lähim nimimõõtmele. Tolerantsivälja suurus sõltub valitud tolerantsijärgust. Sarnaselt tolerantsijärgule on põhihälbed määratletud nimimõõtmete suuruste järgi ning need suurused koos tolerantsijärgudega on põhialused tolereerimisele. Tabelid põhihälbe väärtustega on antud standardites ISO 286-1 ja ISO 286-2.



Keskmine tolerantsi hälve

$$EM = (ES + EI) / 2 \text{ või } em = (es + ei) / 2$$

Ava maksimaalne läbimõõt

$$D_{\max} = D_{\text{nom}} + ES$$

Ava minimaalne läbimõõt

$$D_{\min} = D_{\text{nom}} + EI$$

Võlli maksimaalne läbimõõt

$$d_{\max} = d_{\text{nom}} + es$$

Võlli minimaalne läbimõõt

$$d_{\min} = d_{\text{nom}} + ei$$

ISO 286-1 esitab 28 erinevat põhihälvet. Neid tähistatakse tähtedega, avale suured tähed A...ZC ning võllile a...zc, kusjuures tähed i, l, L, o, O, q, Q ja w, W ei ole kasutusel segimineku vätimiseks.

Põhihälbed on sama nimetusega avala ja võllile, väärtuselt sama suured kuid vastasmärgiga, võlli ülemine hälve vastab ava alumise hälbele.

Ava ja võlli põhihälvete alusel saab määratleda istu iseloomu.

Hälvetele js ja JS ei ole põhihälvet kuivõrd see on määratletud eriviisil.

Tähistatakse koos järguga H8, d12 jne.

Vt GPS Fig 6.3 Võlli põhihälbed (a,..., zc)

Vt GPS Fig 6.4 Ava põhihälbed (A,..., ZC)

Tolerantsi suuruse kujutamine

Antakse mõõtme järel kas arv väärtus või tingtähis:

$$45H8 \text{ või } 45^{+0,039}$$

$$75n9 \text{ või } 75^{+0,094}_{-0,020}$$

Soovitavad tolerantsijärgud

ISO süsteemis on võimalik saada 560 tolerantsi ühele nimimõõtmele.

Optimaalselt oleks vaja vähem ning ISO 1829 ja ISO 286:2001 annavad eelistolerantsid.

Vähendab mõõtevahendite arvu ning lihtsustab tootmisprotsessi.

Vt GPS Fig 6.5 Soovitavad võlli ja ava tolerantsijärgud ISO 1829 (ISO/CD 286-1:2001) järgi.

Nt: - võllidele a11, b11, c11, d9, e8, f7,....., s6;

- avadele A11, B11, C11,....., S7.

6.4 Istud ja nende karakteristikud

Istu põhimõte

Objekti osapoolte (võll - ava) vajalik koostöö saavutatakse sobiva istu valikuga.

Ist tähendab, et on koostatud paar, mis omavad sobivaid tolerantse.

Esineb kaks põhijuhtu:

- ava minimaalne mõõde on suurem kui võlli maksimaalne mõõde, $D_{\min} > d_{\max}$:

- ava maksimaalne mõõde on väiksem kui võlli minimaalne mõõde $D_{\max} < d_{\min}$.

Kolmas juht on kui mõõtmed on eeltoodud tingimuste vahepealne.

Esimene juht on lõtk (*clearance*) ja arvutades selle ava ja võlli mõõtmete alusel on positiivse märgiga. Tähistatakse *Clr* või ka tähega *S*.

Teine juht on ping (*interference*) ja arvutades selle ava ja võlli mõõtmete alusel on negatiivse märgiga. Kasutatakse siiski absoluutväärtusena seega positiivse märgiga. Tähistatakse *Int* või ka tähega *N*.

Sõltuvalt tolerantsi suurusel esineb maksimaalne ja minimaalne lõtk või ping.

$$\text{MinClr} = D_{\min} - d_{\max};$$

$$\text{MaxInt} = d_{\max} - D_{\min};$$

$$\text{MaxClr} = D_{\max} - d_{\min};$$

$$\text{MinInt} = d_{\min} - D_{\max};$$

või

$$\text{MinClr} = \text{MinDif} = EI - es;$$

$$\text{MaxClr} = \text{MaxDif} = ES - ei;$$

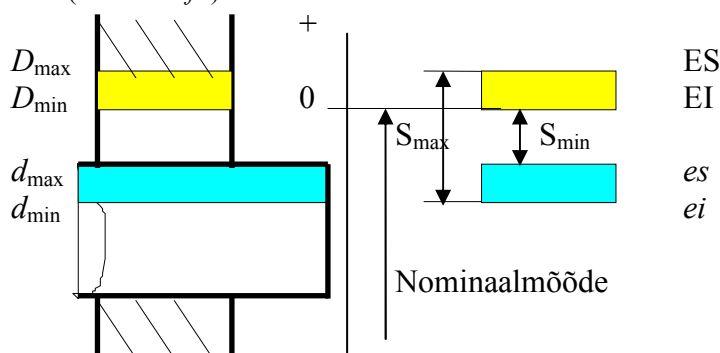
$$\text{MaxInt} = es - EI;$$

$$\text{MinInt} = ei - ES;$$

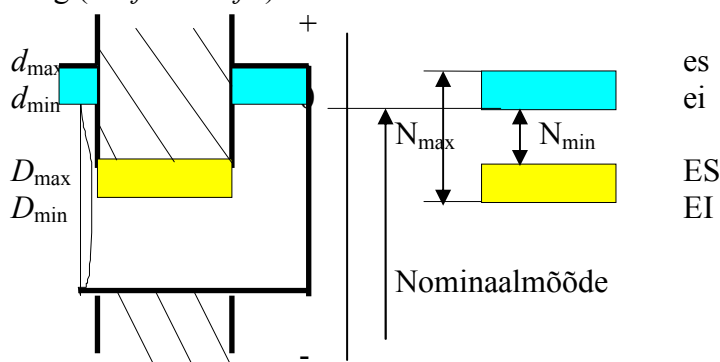
kus *Dif* on ava ja võlli nimimõõtmete vahe ($D - d$).

Istude tüübid

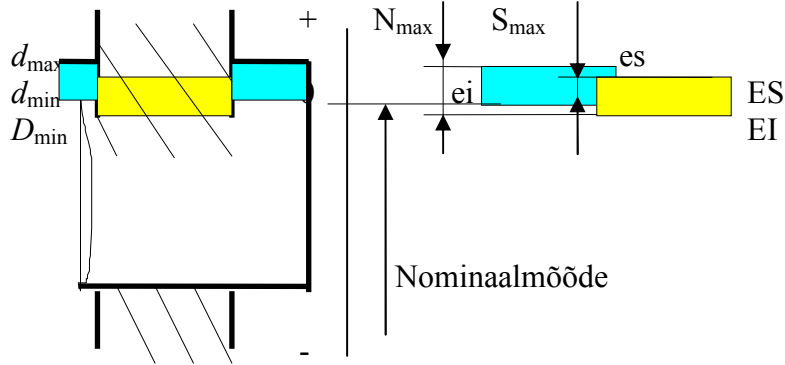
Lõtk (*clearance fit*)



Ping (*interference fit*)



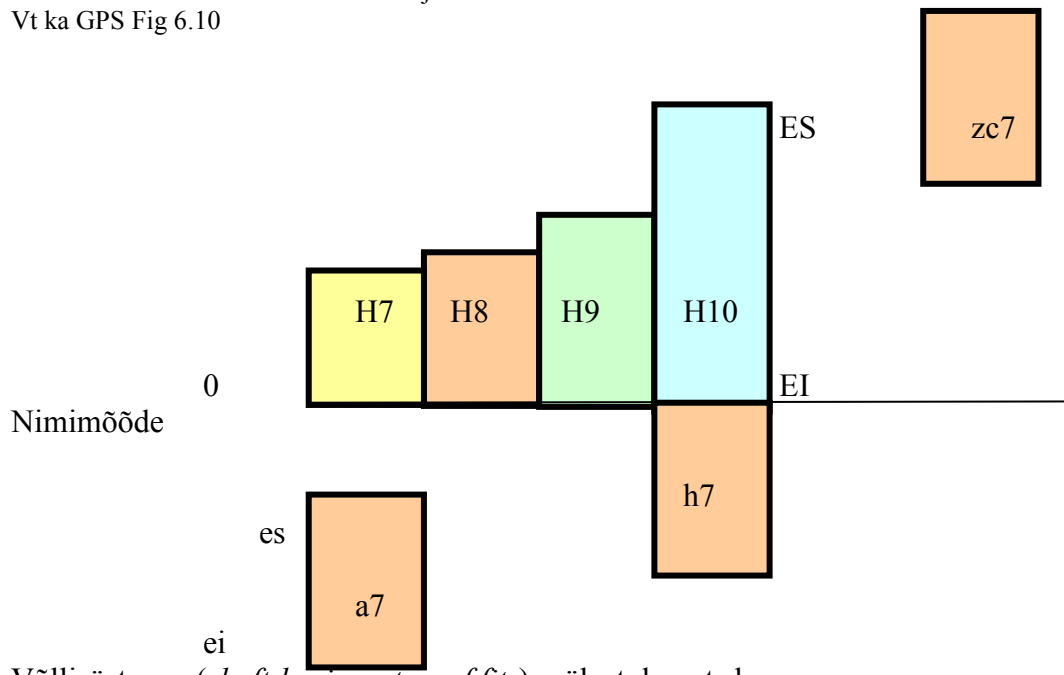
Ülemineku (siirde) istud (*transition fit*)



Ava põhine ja võlli põhine istude süsteem

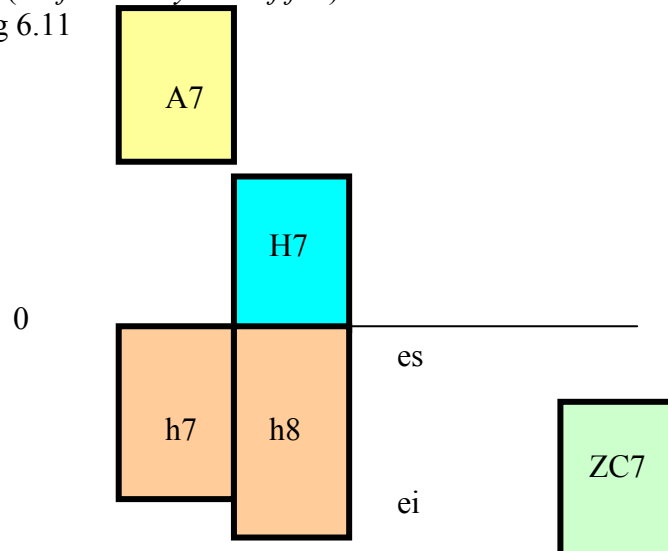
Avasüsteem (*hole-basis system of fits*) saadakse kui üheks istuks valitakse üheks istuks ava baasjärk H. Istud saadakse varieerides võlli tolerantsivälju.

Vt ka GPS Fig 6.10



Võllisüsteem (*shaft-basis system of fits*) - üks tolerants h.

Vt ka GPS Fig 6.11



Istude kujundamise põhireeglid

Ava keerulisem toota ja kontrollida, seetõttu kasutatakse rohkem seda. Võib olla ühe järgu väiksema täpsusega kui võll (H7/n6). Vähendab tööriistade arvu avale.

Völlisüsteem kui on majanduslikult põhjendatud (nt ühesugune võll mitmele avale, automootoris kolvisõrm, mis seob kolbi ja kepsu).

Pindade puhul, mis ei ole otseselt avad või võllid (astmed, soonte sügavused) antakse enamasti sümmeetriline tolerants.

Soovitav anda maksimummaterjali tingimus, sest see võimaldab vajadusel parandada detaili mõõdet vähenemise suunas.

Istu valik:

- skeem ja valida sobiv istu tüüp;
- valida ja leida põhihälve (ES või EI; es või ei) standardist ISO 286-1;
- leida tabelitest tolerantside väärtused (IT ehk T_D või T_d) standardist ISO 286-1;
- arvutada ülejäänud piirhälbed;

$$EI = ES - IT \text{ või } ES = EI + IT; ei = es - IT \text{ või } es = ei + IT;$$

- arvutada lõtk/ping arv väärtused:

$$S_{min} = MinClr = MinDif = EI - es; \quad S_{max} = MaxClr = MaxDif = ES - ei;$$

$$N_{max} = MaxInt = es - EI; \quad N_{min} = MinInt = ei - ES;$$

- arvutada tõenäosed lõtku/pingu piirväärtused (vajadusel).

Tähistus: 65H8/g7 või 87F9/h8.

Tegelikud mõõtmised hajuvad ja nende väärtused on juhuslikud suurused teatud piirides. Seetõttu kasulik arvestada ava ja võlli liidetes tekkivate lõtkude/pingude tõenäosuslike suuruste arvutamisel. Eeldada võib, et hälbed alluvad normaaljagunemisseadusele, järelikult ka ping/lõtk. Summaarne tõenäoline tolerants:

$$T_S = C \lambda \sqrt{T_D^2 + T_d^2},$$

kus C on tõenäosust iseloomustav koefitsient ning λ on tulemuste jaotusseadust iseloomustav koefitsient.

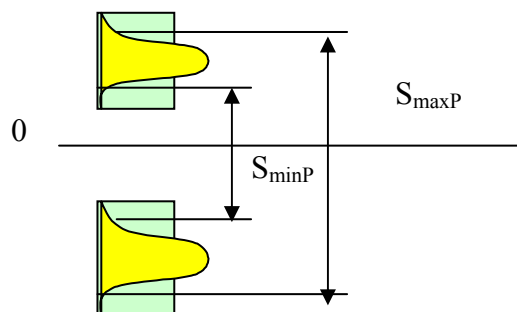
Tõenäosustaseme $P=0,9973$ juures $C=3$; $P=0,9999$ juures $C=3,89$; $P=0,9990$ juures $C=3,29$; $P=0,9950$ juures $C=2,81$; $P=0,9900$ juures $C=2,57$; $P=0,9700$ juures $C=2,17$; $P=0,9500$ juures $C=1,96$; $P=0,9000$ juures $C=1,65$.

Tulemuste normaaljaotuse korral $\lambda = 1/3$, ühtlase jaotuse korral $\lambda = 0,577$, kolmnurkse jaotuse korral $\lambda = 0,408$ ning kui ei ole teada jaotusseadust, siis λ ligikaudu 0,4.

Suurim ja väiksem lõtk tõenäosusega P on leitav valemitega:

$$S_{maxP} = S_m + 0,5 T_S \text{ ja } S_{minP} = S_m - 0,5 T_S, \text{ kus } S_m = 0,5 (S_{max} + S_{min}).$$

Keskmise lõtku leidmisel tuleb arvestada võimalikke süstemaatilisi hälbeid selle kujunemisel tootmises. Kui ei ole teada süstemaatilisi hälbeid, siis kasutada halvimat juhust. Analooogne tõenäose pingu piirväärtuse arvutus.



Võimaldab suurendada üksikdetailide tolerantse kuivõrd istus summeeruvad need mitte max/min põhimõttel. Siiski tekib lisa praagi võimalus.

Pingu või lõtku tekimise tõenäosus siirdeistus

Arvutus Laplace funktsiooni $\Phi(z)$ alusel, mille väärtused on antud tabelites sõltuvalt z.

Argument z on leitav valemiga S_m alusel.

$$z = 6 |S_m| / T_{0P}.$$

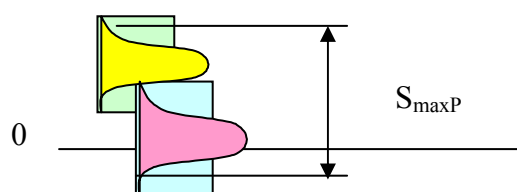
Lõtku tõenäosus liites

$$p(S) = 0,5 \pm \Phi(z),$$

kus plussmärk on, kui $S_m > 0$ ja miinusmärk, kui $S_m < 0$.

Lõtkuga liidete protsent partiis on siis $p(S) \cdot 100$.

Pinguga liidete tõenäosus $p(N) = 1 - p(S)$.



Põhihävete korrigeerimine sõltuvalt istu struktuurist

Põhihälve on sümmeetriline ava ja võlli suhtes, kuigi vastasmärgiga.

Esineb kaks erandit:

- põhihälve on 0 hälbele N järkudes IT9 kuni IT18 mõõtmetele 3 mm kuni 500 mm;
- istud, kus võlli tolerants on järgu võrra täpsem (nt H7/m6 ja M7/h6 jne nn *twins fits*) ja mis peavad omama sama lõtku või pingu mõõtmetele 3 mm kuni 500mm).

Põhihälbed on täpsustatud sel juhul valemiga:

$$ES = -ei + \Delta = ES_{\text{calc}} + \Delta,$$

kus Δ on vahe IT n - IT($n-1$).

Parandid on antud ISO 286-1 tabelites.

Vt GPS Fig 6.12

Soovitavad istud

Kokku võimalusi ca 300000.

ISO 286-1:2001 on antud soovitatavad istud.

Näide: H7/g6, h6, js6, k6, n6, p6, r6, s6.

Järgida varasemat kogemust (käsiraamatud) ja kasutusala.

Tolerantside ja istu valik

Võib toimuda arvutuste alusel kuid rohkem soovitude alusel. Lisaks:

- funktsionaalsel alusel (pingist tagab sobiva ülekande, kuid võib olla purustav õhukeseseinalisele torule);
- mitteolulised mõõtmed – soovitude alusel;
- mõõtahela arvutuse alusel;
- maksimummaterjali tingimuse arvestamine (max võll või min ava – võimaldab asendada tolerantse teineteise arvel);
- sümmeetriline tolerants, kui ei ole tegemist ava või võlliga.

Rahvuslikud istusüsteemid

ISO süsteemist ajalooliselt olid varem rahvuslikud istude süsteemid, mis kujutasid endast ebaregulaarsete istude kogumit. NSVL kehtis kuni 1980.a. OST istude süsteem. See sisaldas täpsustaset arvestavaid täpsusklasse ja ca 50 erinevat istu 18 erineva nimetusega. Kasutati venetähestikus lühendeid ja täpsusklassi. Avasüsteem 100A₄/C₄, võllisüsteem Ø62X₁/B₁.

Hiljem kasutati SEV OST süsteemi, milles põhimõtted samad ISO süsteemiga.

Analoog oli Saksamaal kasutatud DIN istude süsteem.

Mõlemad süsteemid on kasutuselt kadunud kuid võivad esineda vanadel jooniste.

USA kehtib istude süsteem ning arvestab tollimõõdustiku nõudeid. Kehtib standard ASME B.4.1-1967 "*Preferred Limits and Fits for Cylindrical Parts*". Standarditud on ainult avasüsteemi istud. Standardistu tähistus sisaldab tähepaari vastavalt tema talitusülesandele (R- *running*, L – *locational*, F – *force*) ja istu iseloomule (C – *clearance*, T – *transition*, N – *interference*). Täheühendile järgneb number 1 kuni 11, mis üldjuhul on seda suurem kui on ping või lõtk. Tähed koos numbriga määravad istu klassi. Klassidele on omistatud iseloomulikud nimetused, nt RC3 – *precision running fit*, RC7 – *free running fit*. Piirhälbed esitatakse tabelites ning sõltub nimimõõtmest.

Nt. Ist FN2 (*medium drive fit*) nimimõõtmele 0,8 tolli. Tabelist saame piirhävete tegurid nii võllile kui ka avale (C_{EI}=0; C_{ES}=+0,907; C_{Ei}=+2,717; C_{es}=+3,288). Tegelik piirhävete L saamiseks tuleb need läbi korrutada valemiga $C\sqrt[3]{D}$ alusel ($\sqrt[3]{0,8} = 0,928$; EI=0; ES=+0,842; ei=+2,521; es=+3,051 (mõõtühik mIN)).

Vana süsteemi istu asendamine ISO süsteemi istuga

Uue detaili valmistamisel remondi käigus tuleb võrrelda tolerantsiväljade ning põhihävete suurusi ning valida lähedasemate väärtustega. USA süsteemil tuleb arvestada, et detaili enda mõõtmed on tollides ning ei ole otseselt asendatavad meetermõõduga detailiga kuigi istud oleks saadud väga lähedased. NB piirhälbed on arvestatud nimimõõtme suhtes.

Istude süntees

Tuleb leida istu pingu või lõtku järgi koostu sobivad tolerantsid.

Pingistul lähtutakse ülekantavatest jõududest ja purunemistingimustest.

Lõtkuga istul lähtutakse näiteks õlitamisvõimest.

Ülemineku istul tsentreerimise täpsusest.

Istutolerants T_0 on leitav valemiga $T_0 = S_{\text{max}} - S_{\text{min}}$ (lõtku juhul). Asjaolud lihtsustuvad kuivõrd nimimõõde sama koostu paarile.

Kuivõrd $T_0 = T_D + T_d$ (min-max põhimõte), siis esimeses lähenduses $T = T_D = T_d$, ja otsitav tolerants $T = 0,5T_0$.

Kui on aluseks tõenäosuspõhimõte, siis $T_0 = \sqrt{T_D^2 + T_d^2} = \sqrt{T^2 + T^2} = 1,41T$ siis esimeses lähenduses otsitav tolerants $T = 0,7T_0$.

Tabelist otsitakse nimimõõtmele ja leitud T lähedasemad standardtolerantsi väärtused.

Ette tuleb valida ava- või võllisüsteem, siis saab valida põhihälbe 0, so H või h. Teise lüli tolerantsivälja asend leitakse ISO põhihälvete tabelist rahuldades parimal viisil etteantud piirväärtusi.

Saadud arvutustulemused ning standardväärtused ei kattu täielikult ning seetõttu vajalik teatud sobitamine, mis jääb konstruktori ülesandeks. Tuleb arvestada eelkõige kasutamisel vajalikkusest ning tootmise tehnoloogiat. Võib osutada vajalikuks valida erinev tolerantsijärk koostu detailidele, nt avale IT12 ja võllile IT10, siis seos $T_D = T_d$ ei kehti.

Talituslik istutolerants

Toode peab hästi funktsioneerima kogu ettenähtud ressursi jooksul. Istu tolerantside sünteesil tuleb arvestada tingimata eksploatatsioonilise tekkivate tegelike mõõtmete muutusega ning koostamisel, käivitamisel, teisaldamisel tekkivate deformatsioonide ja hälvetega. Lisaks võivad tekkida temperatuuri deformatsioonid, kui paari materjalid on erinevad ning raske on määratleda tegelikke temperatuure paaris.

Funktsionaalne istutolerants on leitav valemiga:

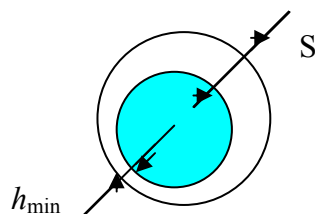
$$T_F = T_E + \varpi + T_{TE},$$

kus T_E on tolerantsi eksploatatsiooniline osa (kulumine, deformatsioon, koostamine), ϖ valmistamise tegelike mõõtmete hajumisväli, T_{TE} on tehnoloogilise protsessi varu (viimased kaks moodustavad joonisega antud konstruktsioonilise tolerantsi T).

Suhe $K_T = T_F / T$ on täpsusvarutegur ning sõltub toote ressursi tasemest. Nt karburaatori düüsi läbimõõdul on suhe 2. Eksploatatsioonilist tolerantsi on keeruline määrata ning saadakse reeglina uurimistöde alusel ning seejärel arvutusvalemite kujundamine.

Lõtku arvutus koostu toimimist arvesse võttes

Minimaalne lõtk on vajalik näiteks õlitustingimuste tagamiseks liugelaagris.



Optimaalne lõtk on S . Suhteline lõtk ψ on leitav valemitega

$\psi = 0,8 v^{0,25} / 1000$, kus v on ringkiirus ning on leitav

$v = \pi d n / 60000$, kus pöörlemissagedus n on p/min.

$S = \psi d / 1000$, kus S on lõtk ja d on nimiläbimõõt.

Täisvedelikulisele määrimisele avaldavad mõju istukomponentide pikkus l , koormav radiaaljõud F_r ja

õli dünaamiline viskoossus β . Kandevõime on leitav Reynoldsi

võrrandest $F_r = \beta \omega d^3 l C_F / S^2$, kus C_F on ühikuta koormustegur (Sommerfeldi arv) ning sõltub suhtest l / d ja suhtelisest võlli ja ava keskohtade eksentrilisusest e , $k = e / 0,5S$ korrektsel toimimisel.

Nurkkiirus pöörlemissagedusest $\omega = \pi n / 30$, kui pöörlemissagedus on antud p/min.

Koormustegur on leitav nii kandevõime valemist ja ka empiirilise seosest l/d suhte alusel.

$C_F = m / (1-k) - m$, kus $m = l / (1,2d)$. Sellest $k = C_F / (C_F + m)$.

Edasi saab leida minimaalse õlikihi paksuse h_{min} ja selle kriitilise paksuse h_{kr} mikromeetrites valemitega $h_{min} = 0,5S(1-k)$ ja $h_{kr} = 2 (R_{zH} + R_{zS})$, kus R_{zS} on võlli ja R_{zH} ava pinnakaredus paari kohal. Ohutustegur $S_S = h_{min} / h_{kr}$ ning piisavaks on väärtus 1,5.

S alusel saab leida lähima lõtku standardtolerantsi T_0 . Siis istu objektide tolerantsid

$$T_0 = T_D + T_d.$$

Soovitav on arvestada funktsionaalse istuga, st tuleb arvestada kulumisvaruga.

Pingu arvutus koostu toimimist arvesse võttes

Ping peab olema teatud piirides, et oleks tagatud jõu ülekandmine kuid ei tohi olla põhjustatud liigset deformatsiooni, mis võib purustada detaili või põhjustab väsimust soodustavat mõju (pingekontsentratsiooni).

Arvutus õhonesvõllile pressitud puksiga pressistule.

Elastsus pindsurve p_{min} kaudu tekitatud hõõrdejõud on $\mu p_{min} A$, kus istupinna suurus $A = \pi d l$ ja μ on hõõrdetegur (mustmetallidel külmpressistul $\mu = 0,08$ ja $\mu = 0,14$ kuumpressistul).

Lubata arvutuslik nihkejõud istupinnal $F = \mu p_{min} A / S_S$, kus S_S on ohutustegur.

Lisaks $F^2 = F_a^2 + F_t^2$, kus F_a on telgjõud ja F_t on ringijõud ning on leitav $F_t = 2000T/d$, kus T on pöördemoment ja istu nimimõõde.

Vajalik pindsurve eeltoodud valemist $p_{min} = FS_S / \mu A$.

Sellest tulenev ping Lamé valemist

$$N_{min} = 1000 p_{min} d (C_1 + C_2) / E + U,$$

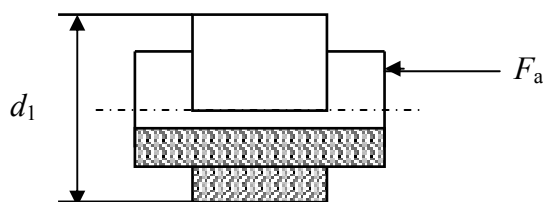
kus E on elastsusmoodul ($E = 2,1 \cdot 10^5$, tegurid $C_1 = (d^2 + d_1^2) / (d^2 - d_1^2) - \gamma$ ja $C_2 = (d_2^2 + d^2) / (d_2^2 - d^2) + \gamma$, kus d_1 on toru siseläbimõõt ja d_2 on puksi välisläbimõõt ning $U = 5,5 (R_{aS} + R_{aH})$).

Suurim lubatav pindsurve tugevustingimustest lähtudes, et vältida plastseid deformatsioone nii sisemises kui ka välises detailis on

$p_{max1} = 0,5 \sigma_T (1 - (d_1/d)^2)$, kus σ_T on voolavuspiir ja $p_{max2} = 0,5 \sigma_T (1 - (d/d_2)^2)$, kus σ_T on voolavuspiir.

$N_{max1} = 1000 p_{max1} d (C_1 + C_2) / E$ ja $N_{max2} = 1000 p_{max2} d (C_1 + C_2) / E$.

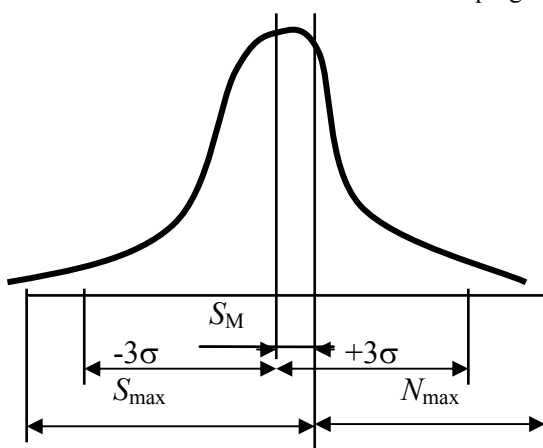
Ist tuleb valida minimaalset ülekandevõimet ja purunematust tagavate pingude alusel. N alusel saab leida lähima pingu standardtolerantsi T_0 . Siis istu objektide tolerantsid $T_0 = T_D + T_d$.



Siirdeistu arvutus

Ei ole välja kujunenud standardseid eeskirju. Tuleb lähtuda tsentreerimise vajalikkusest ning lõtkude lubatavusest. Võimaldab lihtsalt koostu lahtivõtmist.

Võimalik leida tõenäosus saada siirdeistus pingu või lõtku. Lõtku maksimaalväärtus S_{max} ,



pingu maksimaalväärtus N_{max} ,
keskmine lõtk istus S_M , keskmine
tõenäoline tolerants T_P , kusjuures

$$T_P = 6\sigma \text{ ehk } P=0,9973, T_P = \sqrt{T_D^2 + T_d^2},$$

teisendatud keskmine lõtk z ,
 $z = 6 |S_M| / T_P$ ja tõenäosus saada
istus lõtku $p(S) = \Phi(z)$, kus on $\Phi(z)$
Laplace funktsiooni väärtus kohal z .
Arvutus on ligikaudne, kui võrd
võib esineda süstemaatilisi hälbeid
keskjoonte suhtes.

Istu valik pretsedentide meetodil

Suurele osale istudele ei ole lähteparameetrid korrektselt arvutatavad, kuna töötingimuste mitmekesisus on niivõrd suur, et puuduvad vajalikud arvutusalsused.

Lõtkist esineb laagris või juhikus, kus probleemiks on optimaalse pilu tagamine võlli ja ava vahel - pöörlemise ja nihutatavuse huvides. Lõtk on vajalik veel kaasdetailide ristlõikekujuhälvete, soojusdeformatsioonide ja mitmetoeliste konstruktsioonides tekkivate toasendihälvete kompenseerimiseks. Enamasti ainult soovituslikku laadi on poolvedelik-poolkuivmäärimisega ja määr deta liikuvistude valik.

Garanteeritud pinguga ist annab press- või kuumliide, kus minimaalne ping peab tagama vajaliku jõu või pöördemomendi ülekandmise, aga maksimaalse pingu võib limiteerida liite detailide tugevus. Pinguga istuga liite valimisel peab arvestama, et selle tugevust mõjutavad peale liites tekkivate pingude veel paljud arvutusega raskesti hõlmataavad tegurid:

- liite ühendamise viis, pressimine või kuumutamine-jahutamine;
- kaaspindade karedus; - juhtfaaside olemasolu ja mõõtmed;
- pressimisel kasutatav määrdeaine; - pressimise kiirus;
- vibratsioon ja tõuked pressimisel.

Seetõttu ka siin on katseline valitud istu kontroll väga soovitatav.

Siirdeist oma iseloomulike väikeste pingude ja lõtkudega tagab liitedetailide hea tsentreeritavuse, aga ka osandatavuse. Liite iseloom ja istu nimetus ei kattu alati - ka lõtkuga istu või kerge pinguga istu võib kasutada tsentreerimiseks. Siirdeiste kasutatakse ainult tolerantsijärkudes 4..8, kusjuures tööolukorras liikumatute tsentreerimiseks. Lahtivõtmisel võivad detailid olla nihutatavad käsitsi või kergete löökidega. Võlli täpsus neis istudes on sageli üks tolerantsijärk suurem kui aval.

ISO süsteem tagav võlli- ja avasüsteemi istude pööratavuse. Näiteks istud H/g ja G/h annavad samad lõtku parameetrid.

Praktika alusel on välja toodud sobivad istud teatud kasutusalsas..

Lõtkuga istud. H/a; H/b; H7c - suure lõtkuga, võimaldavad temperatuuri mõjul paisumist, H8/c7 ja H9/c8 (keskkäiguistud), sobivad suurtel kiirustel ja eelmistest suurematel pindsurvetel.

H/d -lobe, kasutatakse rasketes tingimustes, suur kiirus, koormus, kõrge temperatuur, saastumisoht, H8/d8 turbiinivõlli laagris, auto sisselaskeklapi säär juhtpuksis, õlirõngas automootori kolvisoones, H9/d8 (vabakäiguist) - juhtudel, kui täpsus on vähem oluline või esinevad temperatuuritõusud, H11/d11 - kiire osandamise tagamiseks, pinnakatte võimaldamiseks.

H/e - lahe, ette nähtud liugelaagriistud suurte kiiruste ja koormuste juhul. H7/e7 kõrgete töökindlusnõudega vedelikmäärimisega liugelaagrid, H8/e8 suure elektrimootori võll laagris, automootori vāntvōll raamlaagris.

H/f - vabalt liikuv, ette nähtud liugelaagrites mōōduka kiiruse ja koormuse korral, sirgliikumisel kui ei ole vajalik eriline tsentreerimisvajadus, H7/f6 (tāpiskāiguist) - annab tihedama istu vabalt liikuva istuse peres. Vōimaldab tāpsiliikumist madalatel kiirustel ja kergete laagrisusrvete juures. Pole tōōvōimelised, kui esinevad temperatuurikōikumised, automootori jaotusvōll ja laagriale, treipingi peavōllilaagris, kolb auto pidurisilindris, rihmaratas vōllil. H8/f7 (tihekāiguist) - ette nähtud mōōdukatelkiirustel ja survetel masinate laagripinnas kindlustamiseks korraliku tsentreerimise ja minimaalsed lōtkud.

H/g liikuv, ette nähtud ainult kuni 7 jārku, vāike lōtk lubab istu kasutada ainult vāhekoormatud ja aeglastes aga tāpsetes liugelaagrites H5/g4 (tiheliugist) - vāga tāpsete minimaalselōtkuga vāga korralikult valmistatud liited. Lōtk suureneb aeglaselt lābimōōdu suurenedes, sāilitades liikumistāpsuse. H6/g5 (liugist) - eelmisest suuremate tolerantsidega. Minimaalse lōtku samaks jāādes on maksimaalne lōtk suurem. Vōimaldab osade vaba nihutamise, kuid pole ette nähtud pōōrlemiseks. Suuremate mōōtmete korral on ka vāikeste temperatuurimuudatuste juures oht kinni kiiluda, plunzer silindris, jagamispea spindellaagris, tāpse vāntmehhanismi liigendid.

H/h - libisev, mugavat paigutamist tagavad ũldjuhul lōtkud, ainult piirjuhtumil on lōtk null. H/h istud on kasutatavaimad kōigis mōōtme- ja tāpsuspiirkondades (IT4 kuni IT12) ja vōimaldavad liikuvais liidetes vāga vāikese kiiruse (sirgliikumise) ja vāikese koormuse juures. H5/h4 - hambatōukepingi spindelkeres, pikkumōōturi varb keres.

H7/h6 - eelisist, vahetushammasratas metallilōikepingi vōllil, frees tornil, tsentreeriv āārik vōi aste vōi juhtsoon, kōrgsurvepumba kolvivars juhtpuksis, klapisāār juhtpuksis, kolb pneumopuurmasina silindris); H8/h7 - kepsupea polt kepsus, vahetatav mōōtetsik mōōtevarbas ja H9/h8; H8/h8; H9/h9 (mugavpaigutusistud) - vāhekoormatud rihma- ja ketiratas vōllil, kaitsesidur vōllil, laagri liivad poolitavas laagrikeres. H11/h11 ja H12/h12 - kaane ja kere tsentreerimisvōllil, kēevis- ja jooteliite kaaspinnad, liist ja soon kōrguses, ũhenduspolt ja selle ava tāpsel koostamisel. H7/g6; H9/f8 ja H10/c9 (keskpaigutusistud) - kasutatakse kui tāpsem paigutamine on oluline, kuid suurendab koostamisvabadus on vajalik. H10/d9 ja H11/c10 (lobepaigutusistud) - koostamine kerge.

Siirdeistud. H/js - nōrgalt tsentreeriv, annavad ainult (0,5...0,6) % pinguga liiteid. seega tsentreerimistāpsus ei ole suur kuid osandamine on lihtne, ei nōua erivahendeid, ist H/js annab enamasti lōtku ja kasutatakse kui liide on sageli lahtivōetav. H6/js5 - laagrikilp vāikese elektrimootori keres, pinool tāpse treipingi tagapukis, H7/js6 - vāikerihmaratas vōllil, vahetatav sidur vōllil, veerelaagrivōru vōllile vōi kesses vōnkva koormuse korral, H8/js7 - elektrimootori kilp keres, prismaliist puksisoones.

H/k - normaalselt tsentreeriv, annavad (24... 68) % pinguga liiteid, tsentreerimine parem, koostatav kāsivasaraga, kiirus mōōdukas. Istude H/k keskmised lōtkud on nullilāhedased ja tagavad hea tsentreerimise rihma-, keti-, ja hammasrattaid ning siduripooli. Pōōrdemoment kantakse ũle siiski liit-, tihvt- vms liiteelemendiga. H6/k5 - kolvisōrm kolvis, H7/k6 - hammasratas ũlekandevōllil, laagrivōru vōllil vōi keres pōōrleval koormusel ja H8/k7 (pitsitavistud) - kasutatakse vāhese nihutusvabaduse juures, pumba kolvivars kolvis. Valdavalt nullilāhedased istud, kuid lōtke pisut rohkem.

H/m - hāsti tsentreeriv, annavad (60...99) % pinguga liiteid, ping on piisav ka kiiretele vōllidele kinnitatud elementide tsentreerimiseks, koostamine pressi all, ei kuulu eelistatute hulka ning on harva lahtivōetav. H6/m5 - kolvisōrm kompressori kolvis, H7/m6 - hammasratas reduktori vōllil, fikseertihvt vōi ōhuke puks keres, veerelaagrivōru istamine kesksuure koormusega.

H/n - tāpselt tsentreeriv, annab (88...100) % pinguga liiteid, praktiliselt lōtku ei tekina kuivōrd lisanduvad ka kujuhālbud. Ist H/n koostatakse juba pressi all, kusjuures koost vōetakse lahti ainult kapitaalremondiks ning teda kasutatakse ōhukeseseinaliste pukside puhulliites, kus ei saa kasutada kinnituselemente (liistud). H6/n5 - kolvisōrm traktorimootori kolvis, H7/n6 ja H7/n7 (tiheistud) - istud annavad enamasti pinguga vāhese lōtku saamise tōēnāosusega. Istud on kasutatavad ka seal, kus kerge lōtk on saavutatav valikkoostamisega, raskelt koormatud hammasratas vōllil, liugelaagri puks keres, siduripool elektrimootori vōllil.

Pinguga istud. H/p - pinguga tsentreeriv, annavad liites vāikese pinguga, kasutatav 5...6 jārgharu arvutusliku koormuse puudumise ja ōhukese seinaga detailide puhul. H6/p6 - suure koormusega veerelaagrivōru vōllil vōi keres, H7/p6 - klapipea keres.

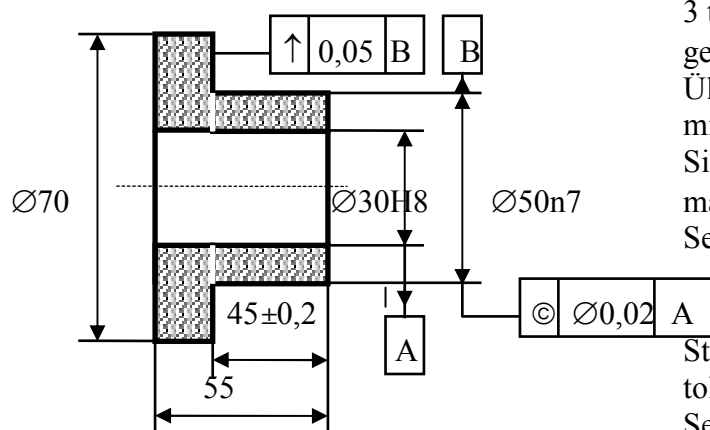
H/r; H/s; H/t - keskmise pinguga, saadakse ping (0,2...0,6 $\mu\text{m}/\text{mm}$), H7/s6 (keskveoist) - kasutatakse tavaliste terasdetailide puhul vōi ōhukeseseinaliste osade kuumistus, H7/t6 (raskeveoist) - mōeldud rasekmasinate osade liitmiseks vōi keskmistes kuumistudes.

H/u; H/x; H/z - suure pinguga, saadakse suur ping (1,0...2,0 $\mu\text{m}/\text{mm}$). Annavad pūsiva pindsurve kogu mōōtmete ulatuses - suurima ja vāhima pinguga erinevus hoitakse vāikesena. Seda tūipi iste tuleb tāpselt arvutada ja praktiliselt katsetada. Kuumistud, kus kuumutatakse enne koostamist haaravat vōi jahutatakse haaravat detaili, annavad praktikas kindla liite. Ist nōuab tugevaid ja massiivseid kaasdetaili, H7/u6 ja H8/x7 (jōuistud) - on kasutatavad detailide puhul, mis taluvad suuri pingeid, vaguniratas teljel, pronkshammasvōō teraspōial, seadetihvt rakise keres, sōrm massiivses vāndahoovas.

Hāid nāiteid istude valikuks pretsdendi meetodil annavad kāsiraamatud ja klassikaliste koostude jōonisealbumid.

6.5 Üldtolerantsid

Paljud geomeetrised omadused on ilma täpsema tolerantside spetsifitseerimiseta. Joonistel on need antud ainult nimimõõtmena.



Näiteks joonisel on 5 mõõtmest 3 tolerantsidega ning 2 geomeetrisete hälvete tolerantsidega. Ülejäänud tolerantsid peetakse mitteoluliseks.

Siiski võivad tolerantsid olla märkimata kuid siiski määratletud. Sellel juhul rakenduvad nn üldtolerantsid, mida on lihtne tagada töötlemisel.

Standardis ISO 2768 on antud tolerantsid masintöötlemise korral.

Seal on antud hälbed lineaarsetele

mõõtmetele ja nurkadele ning lihtsamatele geomeetrisetele hälvetele - sirgjoonelisus ja tasapinnalisus, ristseis, sümmeetria ja viskumine.

Tavaline töötlemis (töökoja) täpsus

Tavalisel töötlemisprotsessil on saavutatav ratsionaalne täpsus tase teatud piirides. Seda on arvestatud üldtolerantside määratlemisel.

Üldtolerantside kasutamine

Lineaar- ja nurgamõõtmetele on üldtolerantsid jaotatud täpsuse järgi nelja klassi ja geomeetrisete hälbed kolme klassi.

Tolerantside märkimine toimub Standardite ISO 1101 ja ISO 129-1,2 järgi.

Lisaks standard ISO 8015 annab juhised üldtolerantside kasutamiseks ka individuaalsete tolerantside asemel. Selle eeliseks on:

- lihtsustab tehnilist informatsiooni, joonised on lihtsamad;
- tolerantside arvutus on lihtsam ning otsustada on vaja kuhu klassi kuulub;
- lihtsustab tootmist ja kontrolli, kuivõrd jooniselt on näha mõõtmed, mis on võimalik saavutada tavalise töötlemisega;
- lihtsustab tootmise kavandamist, kuivõrd otseselt näha mõõtmed, eriliseks käsitlemiseks;
- lihtsustab kliendile arusaamist, kuivõrd üldine tase paremini mõistetakse.

Esitab lisanõuded tootjale:

- peab olema arusaadav kogu meeskonnale;
- peab teadma töötlemise tavalisest tasemest;
- töötlemise tase peab pidevalt säilima.

Kui üldtolerantside tase tootmisel on halvem tuleb leida põhjus ning vajadusel rakendada täpsuse parandamist või mõnel juhul piisab ka väiksemast täpsustasemest.

Ei ole käsitletud ASME standardites.

Mõõtmete üldtolerantsid

Neli klassi: *f* (fine); *m* (medium); *c* (coarse); *v* (very coarse). On sümmeetrilised, kui vastupidist ei olenäidatud. Väärtused antud ISO 2768-1.

Klass	0,5-3 mm	3-6 mm	6 - 30 mm	30-120mm	120-400mm	400-1000mm
f	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
m	0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	1,6
c	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0
v	-	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0

Nurkade üldtolerantsid on väljendatud nurgahikutes ja hõlmavad ainult pinna või joone osa tervest. Samuti ISO 2768-1 järgi neli klassi.

Klass	kuni 10 mm	10-50 mm	50-120 mm	120-400 mm	üle 400 mm
f	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'
m	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'
c	±1°30'	±1°	±30'	±15'	±10'
v	±3°	±2°	±1°	±30'	±20'

Üld geomeetrised tolerantsid

Üld geomeetrised tolerantsid on jagatud kahte gruppi - sõltuvad ja sõltumatud (üksikud).

Sõltumatud geomeetrised tolerantsid on sirgjoonelisus ja tasapinnalisus, ümarus ja silindrilisus. Sõltuvad: paralleelsus, ristseis, sümmeetia, mittesentrilisus ja viskumine.

ISO 2768-2 määratleb: sirgjoonelisus ja tasapinnalisus, ristseis, sümmeetria ja radiaalviskumine. Lisaks mõned täiendused - ümarus seostatakse läbimõõdu hälbega.

Kolm klassi - *H*, *K* ja *L*. Väärtused antud standardis ISO 2768-1,2.

Sirgjoonelisus ja tasapinnalisus

	kuni 10 mm	10-30 mm	30-100 mm	100-300 mm	100-1000 mm	1000-3000 mm
H	0,02;	K	0,05;	L	0,1	

Ristseis

	kuni 100 mm	100-300 mm	300-1000 mm	1000-3000 mm	
H	0,2;	K	0,4;	L	0,6

Muud geomeetrised hälbed määratletud nende abil. Nii on silindrilisus: ümarus, sirgjoonelisus, paralleelsus.

Radiaalviskumine hõlmab ka mittesentrilisust ja ümarust.

Klass Radiaalviskumine, mm

H	0,1;	K	0,2;	L	0,5
---	------	---	------	---	-----

Joonistel märkimine

Võib märkida igale mõõtmele vastavalt ISO 8015. Vastavalt standardile ISO 2768 võib märkida joonise tiitelplokis.

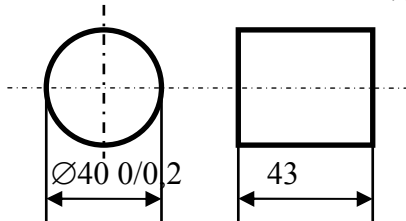
Võib rakendada ümbrikunõuet E.

Tuleb märkida standard, mille järgi mõõtmestamine (ISO 8015; ISO 2768-1,2 üldtolerantsid) ja täpsustähis. Nt ISO 2768-cL või ISO 2768-H või ISO 2768-vK-E.

ISO 2768-cL - lineaarmõõtmed c kl, geomeetiline tolerants L kl.

ISO 2768-H - geomeetiline tolerants H kl.

ISO 2768-vK-E - lineaarmõõtmed v kl, geomeetiline tolerants K kl ning ja ümbrikunõue E.



Üldtolerants ainult pikkusele 43 ja silindrilisusele.

m - $\pm 0,3$ mm.

Ümarus on võrdne diameetri tolerantsiga.

L - 0,4 mm.

Tolerantsid ISO8015

Üldtolerantsid ISO 2768-mL

6.6 Istud võlli ja rummu liidetes

Võllile istatud rattad, puksid, siduripooled jms kannavad nii pikisuunalist jõudu kui ka pöördemomenti üle:

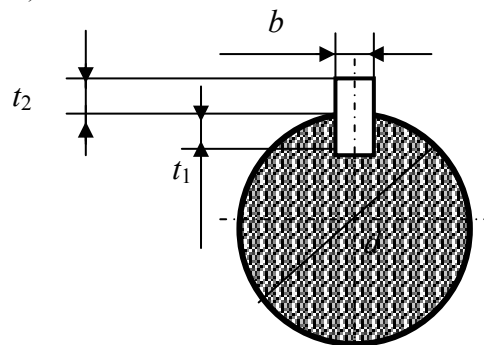
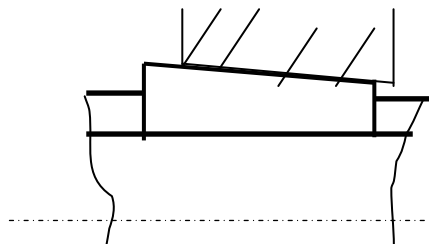
- garanteeritud pingu abil, sageli kasutatakse koostamisel termilist paisumist;
- hõõrdemomendi abil, mis tekib pindsurvest pindadele;
- lisadetailide abil (liist, kiil, tihvt).

Esimestel juhtudel raskusi täpselt arvutamise ja koostamise raskused, kuid olemas suur praktiline kogemus (raudtee rattad teljel, bandaazid ratastel, kolvisõrmed silindris jne).

Liistliide

Liistliide kannab üle suuri jõude ning on olemas tugevusarvutus. Puuduseks: õhukeseseinaliste detailide puhul ning kiiretel seadmetel mitterakendatav, vajalik lisatasakaalustamine, valmistamisel vajalik täpne soonetöötus. Liistliide – prisma või segment (analoogne joonis, kuid ilma kaldeta).

Kiilliide



Töötav pind: alumine ja ülemine kiilu pind

Tihvtliide – tihvt istatuna võlli ja rummu liitepinda.

Tähistused: *l* – liistu pikkus, *b* – liistu laius, *t*₁ – liistu soone sügavus võllis, *t*₂ – soone sügavus rummus.

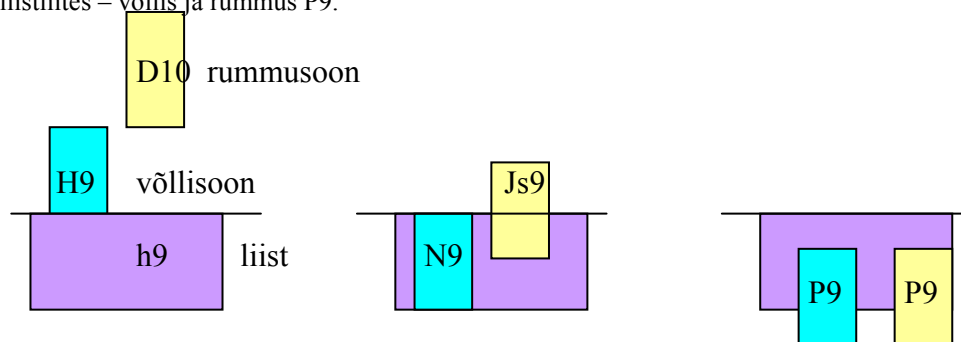
Liistliide sisaldab palju mõõtmeid ahelas ning koostu projekteerimisel tuleb tingimata arvestada erinevate tingimustega. Liistu ristlõige on seotud võlli läbimõõduga ning antud soovitud mõõtmetele. Liistu pikkus valitakse soovitatavalt standardreast ja kontrollitakse tugevusarvutusega, peamiselt muljumisele. Liistu materjaliks tavaliselt teras tõmbetugevusega vähemalt 590 MPa. Rummu pikkus võetakse 8 kuni 10 mm liistust pikem st liist ei ulatu rummusest välja. Kui arvutuste tulemusel osutub rummu pikkus $1,5d$ suuremaks, tuleb kaaluda kahe liistu kasutamist või kasutada nuutliidet või pressistu. Liistude mõõtmed on normitud kuid tuleb arvestada, et erinevates rahvastandardites on erinevused.

Liistliides on soovitatavateks tolerantsideks ja istudeks võlli ja rummu silinderpinnal:

- sirghammastega silinderhammasratas istamiseks – H7/p6; H7/r6;
 - kaldhammastega ja tigurataste istamiseks – H7/r6; H7/s6;
 - koonusrataste istamiseks - H7/s6; H7/t6; - liikumatus liites rattad käigukasti sees koostamiseks - H7/k6; H7/m6;
- Liistu laius** b tolerants on levinenult $h9$ ja kõrgusele h tolerants ruudukujulise ristlõikega liistudel $h9$ ja teistel $h11$. Liistu pikkuse tolerants on $h14$.

Liistu soone laiusle on soovitatavad järgmised tolerantsid:

- vabaliistliites – võllis H9 (ka H11) ja rummus D10; - normaalliistliites – võllis N9 ja rummus Js9;
- tiheliistliites – võllis ja rummus P9.



Joon. Liistliite tolerantsiväljad

Tekivad liite elementides olulised ebahütlased kohalikud muljumised, deformatsioonid ja väsimusprao arenemise oht võlli liistusoonte nurkades. Lõtku puhul tekib liites mõningane mikrorullumine ja nihked, mis põhjustab pinnakonaruste silumist, istupindade valtsimist, kulumist ja kontaktkorrosiooni. Seetõttu tuleb püüda vältida lõtku, eriti reverseeritavates ülekannetes. Kaldhammastega ülekannetes lisandub telgjõud, mis kärjab liitepinda ja liist ei takista otseselt. Eeliseks lahtivõetavus remondiks, laagrite vahetamise võimalus.

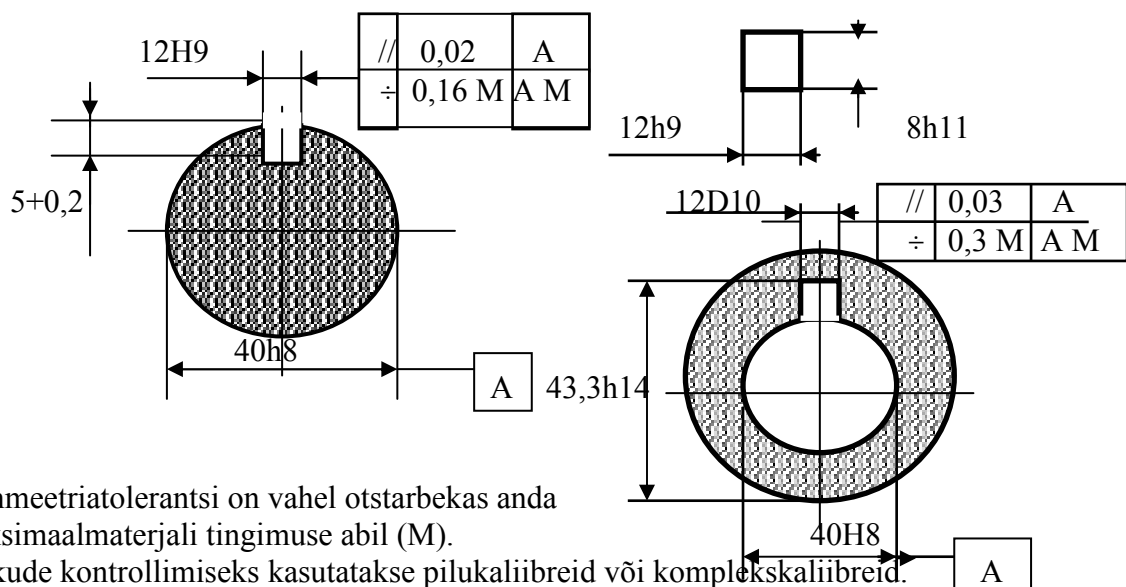
Kui on teada täpselt nimimõõtmed ja jõud on võimalik arvutada pindsurve ning sealt valida standardist.

Asjaoludele vastava otsuse tegemine jääb konstruktorile.

Liistliite puhul tuleb arvestada veel **kuju- ja asendihälbeid**:

- soone telje rõõpsustolerants ava telje suhtes $0,5T$, kus T on soone laiuse mõõtmetolerants (hälve avaldub liistusoone piki telje suunas);
- liistusoone ebasümmeetria võlli ja rummu püsttelje suhtes (liits ei mahu teoreetiliselt soonde), soovitus $4T$, kus T on soone laiuse valmistamise tolerants.

Mitme liistu korral veelgi komplitseeritum, vajalik sageli sobitamine.



Sümmeetriatolerantsi on vahel otstarbekas anda maksimaalmaterjali tingimuse abil (M).

Lõtkude kontrollimiseks kasutatakse pilukaliibreid või komplekskaliibreid.

Arvutuspõhimõte:

- etteantud koost koos põhiparameetritega ning tehtud tugevusarvutus;
- valitakse sobiv istu tüüp;
- valitakse sobivad liistu ja soonte mõõtmed;
- valitakse: liistu ist laiuses (võllis, nt H9/h9 ja rummus nt D10/h9), siit saab liistu ja soone piirmõõtmed;
- valitakse soonte sügavustolerantsid (nt +0,2);
- leitakse pikkuse ja kõrgusandmed liistule ja soonele;
- valitakse geomeetriatolerantsid: rummusoone rööpsustolerants, 0,5T ja sümmeetriatolerants 4T;
- valitakse võllisoone lõplikud rööpsustolerants ja sümmeetriatolerants.

Hammas- ehk soon- ehk nuutliide (*splines*)

Hammas- ehk soon- ehk nuutliide leitakse laialdast kasutamist jõuülekannetes nt käigukastides. Liide on võimeline üle kandma suuri võimsusi, on hästi tsentreeritav ja töökindle. Kasutatakse kolmnurk-, sirgkülgedega ja evolventprofiiliga hambaid (sooni, nuute). Liite põhielement on sisuliselt ühes tükis tehtud liistudega mitmeliistuline võll. Valmistamine vajab paremaid seadmeid ning on kohane suurtootmisele. Tsentreerimine võib toimuda kas välisläbimõõdu D , siseläbimõõdu d või hambalaiuse b järgi. Rummu sooned saadakse enamasti kammlõikamise teel ning täpsus on kõrge. Võlli nuudid saadakse freesimisega ja vajadusel lihvitakse.

Välisläbimõõtu on lihtne töödelda ja seega odavam toota ning sageli ei karastata. Välisläbimõõdu järgi tsentreerimist kasutatakse odavust silmas pidades liikumatutes ja vähekoormatavates liidetes.

Siseläbimõõdu järgi tsentreerimine on soodus, kui rummuava karastatakse ja lihvitakse. Kasutatakse kulumiskindlamates liidetes.

Hamba külgsinna järgi tsentreerimist kasutatakse vahelduvatel (suuna muutusega) koormustel ja suurte pöördemomentide korral. Kindlustab koormuse ühtlase jaotuse hammaste vahel kuid halvem tsentreeritavus.

Evolventhambaga liide on oluliselt tugevamad ning hamba jalas pingekontsentratsioon väiksem, tsentreeritakse ainult külgsinna järgi.

Liidete mõõtmed ja soovitatavad istud on standarditud (kolmnurk- ja sirgkülgedega liide standard ISO 14, evolventprofiiliga ISO 4156) ning valikul tuleb arvestada töötingimusi. Standarditud on välis- ja siseläbimõõt d ja D ning soone laius B ja hammaste arv N .

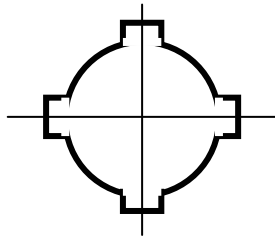
Läbimõõtude järgi soovitatavad istud: välisläbimõõt H10/a11;

siseläbimõõt - H7/F7 (libisev), H7/h7 (väheselt libisev), H7/h7 (fikseeritud).

Külje B järgi: H9/d10 (libisev), H9/f9 (väheselt libisev), H9/h10 (fikseeritud), ka H11 järgi.

Vabad läbimõõdud suure lõtkuga, et oleks tagatud vaba liikumine - H12a11 või H11a11.

Lisaks on standardiseeritud nuutide sümmeetria: laius 6 mm - $t = 0,012$, laius 8 mm - $t = 0,015$.



7 SISSEJUHATUS GEOMEETRILISELE TOLEREERIMISELE

7.1 Klassifitseerimine. Geomeetrised tolerantsid

Reaalse objekti pind ei vasta täielikult nominaalsete parameetritega. Näiteks silinder võib olla kooniline või tünniline ning ristlõige võib olla elliptiline. Sellised hälbed nimetatakse geomeetristeks (kujuhälveteks). Sellised hälbed esitavad ühte geomeetrist tolerantsi. Tegelik objekt omab mitut elementi nt plaadis on augud. Seega lisaks on vajalik asetuse hälvete määramist. Lisaks esineb pindade viskumine pöörlemisel.

Vajalik on teatud hälvetele baaselement, mille suhtes tolerants määratletakse (joon, pind, telg).

Geomeetrised hälbed on määratletud standardis ISO 1101, mille järgi tegelik element asetseb geomeetrisel hälbe tolerantsi piires. Tolerants võib olla silindri või ringi või kahe paralleelse tasapinna või sirgjoone vaheala või kahe üheteljelise silindri või ringi jne kujul.

Kujutolerantsid *Form*

- sirgjoonelisus, *straightness*;
- tasapinnalisus, *flatness*;
- ümarus, *roundness*;
- silindrilisus, *cylindricity*;
- jooneprofiil, *profile any line*;
- pinnaprofiil, *profile any surface*

Suunatolerantsid *Orientation*

- rööpsus, *parallelism*;
- ristisus, *perpendicularity*;
- kalle, *angularity*;
- jooneprofiil, *profile any line*;
- pinnaprofiil, *profile any surface*

Asenditolerantsid *Location*

- koht, *position*;
- samatelgsus, *coaxiality*;
- samatsentrilisus, *coaxiality*;
- sümmeetria, *symmetry*;
- jooneprofiil, *profile any line*;
- pinnaprofiil, *profile any surface*

Viskumistolerantsid *Run-out*

- ringviskumine, *circular run-out*;
- täisviskumine, *total run-out*.

7.2 Tähistused

Tähistatakse riskülikkustes, võib olla mitme kastiga. Selles on toodud alates vasakult:

- geomeetrisel omaduse sümbol;
- tolerantsi väärtus mm, selle ees on märk \varnothing kui tolerantsi tsoon on silinder või ringjoon või märk $S\varnothing$ kui on tegemist sfäärilise tsooniga;
- kui vajalik, siis baaspinna täht või tähed ning lisanõuded nt M.

//	0,1	A	B
----	-----	---	---

Rööpsuse tolerants on 0,1 mm pinna A ja B suhtes.
Pind A esmane.

Lisanõuete tähised: M - maksimaalse materjali tingimus; P - projektsioon tolerantsi tsoon; L - vähima materjali tingimus; F – vabakuju tingimus.

6x

\oplus	$\varnothing 0,1$
----------	-------------------

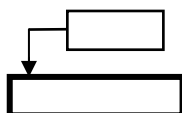
Kui tolerants rakendub mitmele elemendile tuleb see näidata ülalpool kasti, tuues ära arvu ning märgi \times .

-	0,01
\oplus	$\varnothing 0,1$

Kui elemendile rakendub mitu tolerantsi tuleb see näidata teises kastis ülalpool.

Kast ühendatakse elemendiga nooljoonega:

- otse pinnale;



- mõõtmejoone pikendusele, kui omadus on telje või keskpinna suhtes või kui on omadus selliselt määratletud.



Lähe (baaselement) tähistatakse kastis tähega ning joonega ühendatakse pinnaga, lõpus täis või tühi kolmnurk.




Asetseb otse pinnal või pikendusel kuid mitte mõõtejoonel (a).

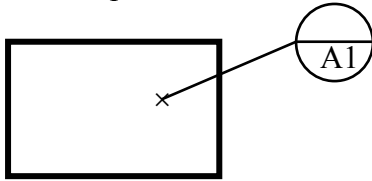
Kui lähe (b) on telg või keskpind, siis asetseb mõõtejoone otsas, pikendusel.

Kui lähe on teatud pikkusel, siis tuleb see määratleda.

Lähte asukohta (sihtkoha) määratlemiseks joonisel kasutatakse ringi, mis on jaotatud kahte ossa. Alumises osas on täht ning number. Täht tähendab lähet ning number tähistab sihi numbrit. Ülemist poolt kasutatakse lisainformatsiooni andmiseks nagu sihtkoha suurus.

Sihtkoha sümbolid on:
 x - tähistab punkti; $x\text{---}x$ - tähistab joont;

 - tähistavad pinda.



Vt Fig 7.1 - 7.14

8 KUJUTOLERANTSID

8.1 Sissejuhatus

Kujuhälve on tegeliku kuju kõrvalekalde suurus nimipinna kujust.

Ideaalseks kujuks on sirgjoon, tasapind, ring ja silinder.

Standardis ISO 1101 on antud 6 erinevat kujuhälvet. Hälve tuleb määratleda minimaalse tsooni põhimõttel. Tsooniks on kahe ideaalse sirgjoone või tasapinna vahe ning tolerantsiks on minimaalne nende vahe, kusjuures joon või tasapind on kohas, kus hälbed on maksimaalsed. Ümaruse ja silindrilisuse juhul on hälbeks on minimaalne vahe radiaalsuunas.

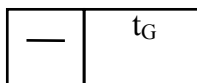
Ümarust on võimalik interpreteerida nelja meetodiga: LSCI - vähima ruutude meetodil (annab hälvete minimaalse ruutude summa), välishaaramise meetodil (vähim ring ümber hälvetega ringi), sisehaaramise meetodil (suurim ring hälvete sees) või minimaalse tsooni meetodil (vähim erinevus radiaal suunas)

8.2 Sirgjoonelisus

Lühend STR (ISO 12780).

On hälve teatud pikkusel (nt objekti terve külje pikkusel) ideaalsest sirgjoonest.

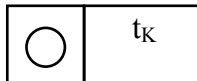
Tähis



8.3 Ümarus

Lühend RON (ISO 12181).

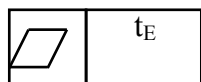
Tähis



8.4 Tasapinnalisus

Lühend PLN (ISO 12781).

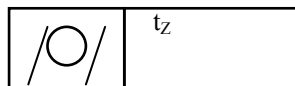
Tähis



8.5 Silindrilisus

Lühend CYL (ISO 12180).

Tähis

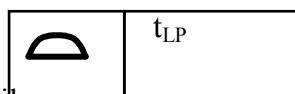


8.6 Joone- ja pinnaprofiil

Jooneprofiil

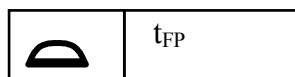
On joone hälve teoreetilisest täpsest joonest, mis on piiratud ringjoonega diameetriga t_{LP} .

Tähis



Pinnaprofiil

Tähis



9 LÄHTED

Põhimõisted

Lähe, baaspind *datum*, teoreetiliselt täpne geomeetiline omadus nagu telg, tasapind, sirgjoon jne, mille suhtes tolereerimine toimub. Lähteid võib olla vajadusel mitu, siis on tegemist lähtesüsteemiga.

Lähte asukoht, *datum feature* - tegelik koht (nt äär, pind.ava jne), millega määratletakse lähet.

Üleviidud lähte koht, *simulated datum feature* - tegeliku pinna täpne kuju (pinna plaat jne), mis on seotud lähtega.

Kasutatakse kontrollimisel või töötlemisel tegeliku lähtena.

Lähte määramine

Punkt:

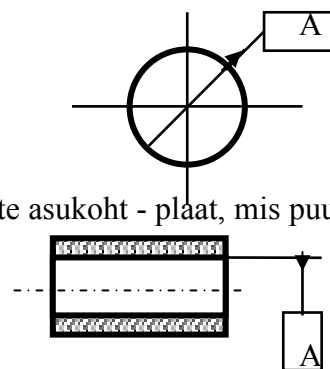
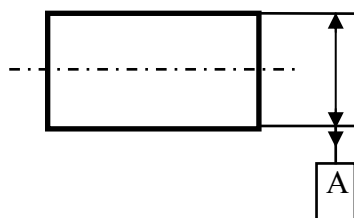
- sfääri keskpunkt, raske saada üleviidud lähte kohta;
- ringi keskpunkt.

Lähte asukoht on tegelikult välispind

Sirgjoon või tasapind:

- silindripind, lähte asukoht - silindri pind, üleviidud lähte asukoht - plaat, mis puudutab silindri pinda;
- tasapind.

Silindri telg või keskmine tasapind:



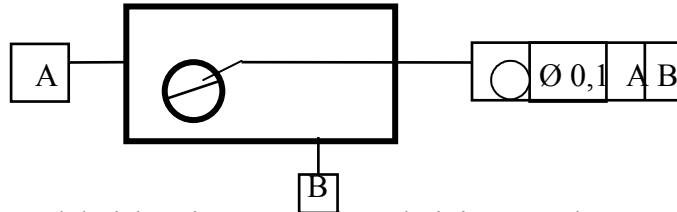
Lähte sihtkohad *Datum targets*

Sageli on pind liialt ebahütlane, nt valutoode, siis valitakse lähteks kindel punkt, joon või pind, terve elemendi asemel.

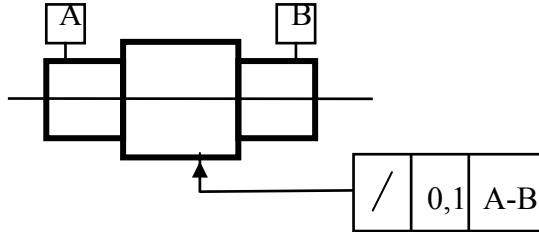
Lähtesüsteemid

Sageli ühel elemendil mitu lähet, nt:

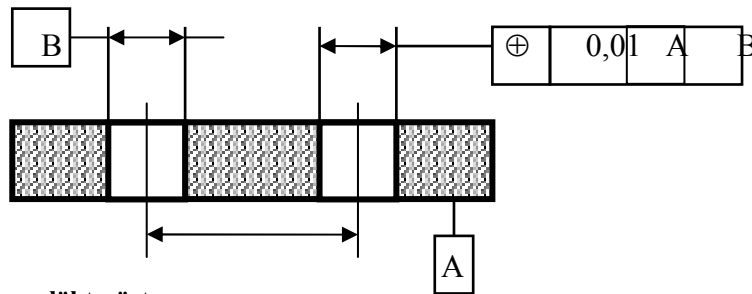
- 1) aval detaili erinevad küljed



2) võlli erinevatel osadel viskumine otste suhtes, kuigi sama telg



Risttasapind silindri teljele või teiseletasapinnale



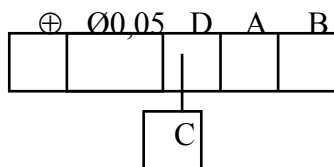
Kolme tasapinna lähtesüsteem

Harva on vajalik lähe kolmes tasapinnas - A, B, C

Elementide grupid kui lähted

Kui on vajalik nt avade grupp teise suhtes lähteks siis tähistatakse andmete kast lähte märgiga.

4 ava



Lähted arvutiga mõõtevahendile ja töötlemisvahendile

Uuemad mõõtevahendid on skaneerivad ja on arvutiga seotud. Peab olema sobiv reaalne lähe ning korralik mõõtemudel.

Arvutiga seotud mõõtemehanism ja töötlemispink valib reaalse pinna asemel nt vähimruutude hälvetega pinna. Sageli erinevad mudelid lähtuvad erinevatest põhimõtetest.

Soodne rakendada maksimaalmaterjali tingimust kuivõrd arvuti suudab arvesse võtta mitmeid tegureid.

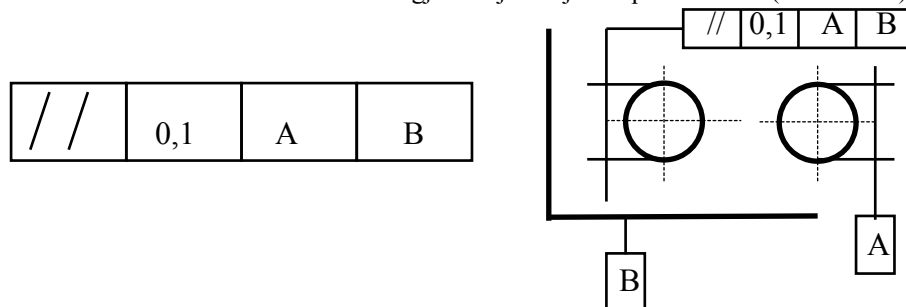
10 SUUNAHÄLBED/TOLERANTSID TOLERANCES OF ORIENTATION

Rööpsus (paralleelsus), parallelism

Saab eristada sirgjoone paralleelsust sirgjoonest või tasapinnast või lähtesüsteemist sirgjoon ja tasapind või lähtesüsteemist tasapind ja tasapind. Saab eristada tasapinna paralleelsust sirgjoonest või tasapinnast.

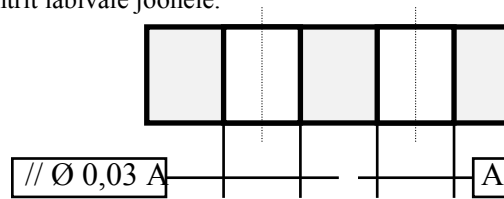
Tähis

Paralleelsus sirgjoonel joone ja tasapinna suhtes (süsteemina)

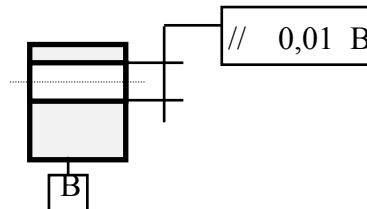


Paralleelsus saab olla ka ava mõlema tsentrit läbivale joonele.

Paralleelsus sirgjoonel sirgjoone suhtes



Paralleelsus sirgjoonel tasapinna suhtes



Paralleelsus sirgjoonel kahe tasapinna suhtes (üks pind võib olla risti)

Paralleelsus tasapinnal sirgjoone suhtes

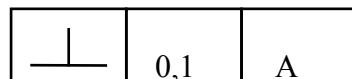
Paralleelsus tasapinnal tasapinna suhtes

Ristisus, perpendicularity

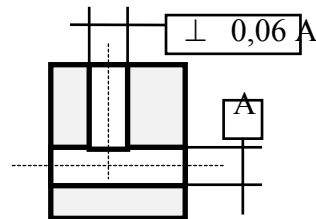
Telg võib olla risti sirgjoonega või tasapinnaga või lähtesüsteemiga tasapind ja tasapind.

Tasapind võib olla risti sirgjoonega või tasapinnaga.

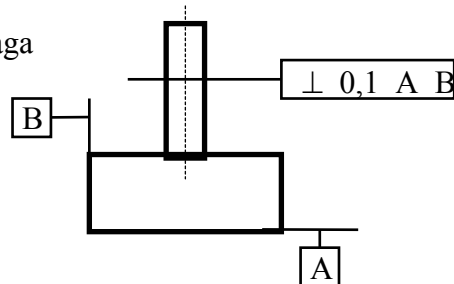
Tähis



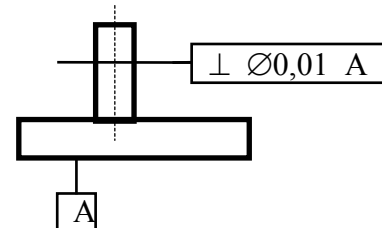
Sirgjoon risti sirgjoonega



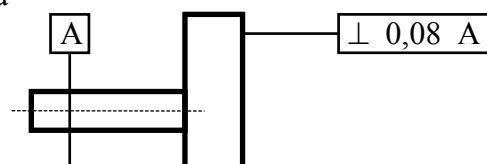
Sirgjoon risti kahe tasapinnaga



Sirgjoon risti tasapinnaga



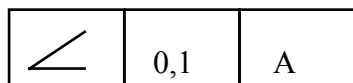
Tasapind risti sirgjoonega



Tasapind risti tasapinnaga

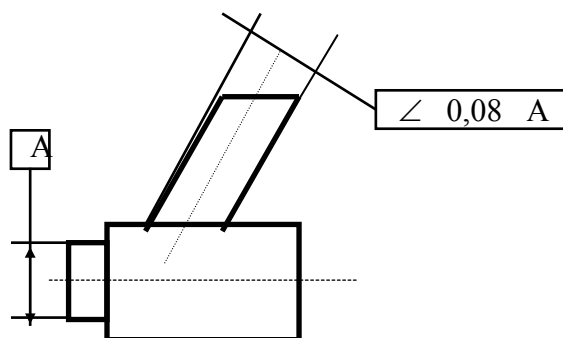
Kalle, *angularity*

Tähis



Sirjoone kalle sirjoone suhtes
Tolerants antud mm

Sirjoone kalle tasapinna suhtes
Sirjoone kalle kahe tasapinna suhtes
Tasapinna kalle sirjoone suhtes

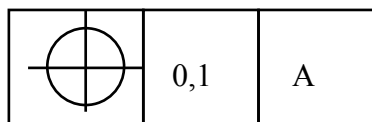


11 ASENDITOLERANTSID *TOLERANCES OF LOCATION*

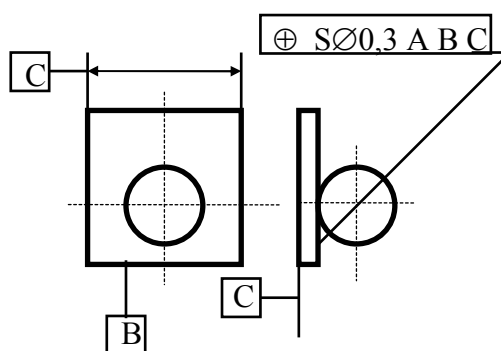
Asenditolerants sisaldab kujuhälvet ja suunahälvet.

Asukoha tolerants *Position tolerance*

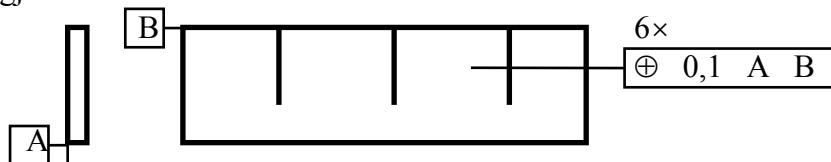
Tähis



Punkti asukoha tolerants

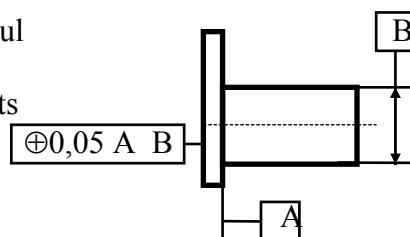


Sirjoone asukoha tolerants



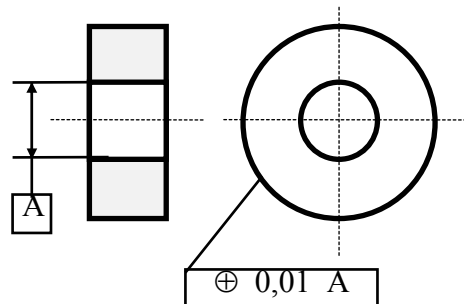
Sirjoon võib olla telje kujul

Tasapinna asukoha tolerants

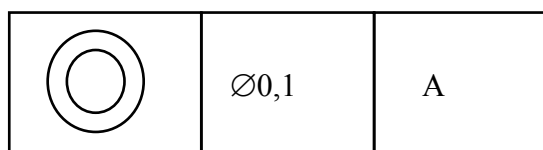


Tolerants võib olla nii paralleelse pinna kui ka risti pinna suhtes

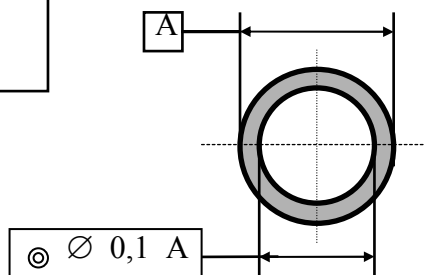
Silindrilise pinna asukoha tolerants telje suhtes



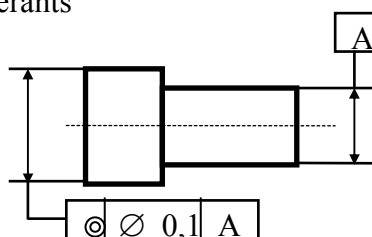
Samatelgsus ja samatsentrilisus *Concentricity and coaxiality*



Punkti samatsentrilisuse tolerants



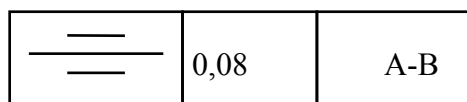
Telje samatelgsuse tolerants



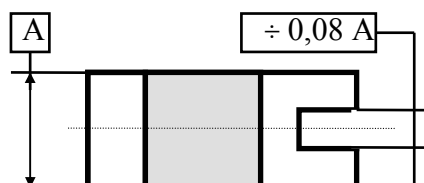
Kui teise silindri välispind on B, siis kujul A - B tähistab ühist telge mõlemale silindrile.

Sümmeetria *Symmetry*

Tähis



Pinnad saavad kõikuda 0,08 mm lähtel A



12 LÄHTEGA VÕI ILMA LÄHTETA JOON VÕI PIND *TOLERANCES OF LINE OR SURFACE WITH OR WITHOUT DATUM*

Joone või pinna profiili tolereerimine on mõeldud konkreetse objekti kuju omadustega. Lähtega saab siduda lisaks kuju hälvetele ka suuna ja asukoha omadusi. Need kolm omadust ei ole iseseisvad vaid teatud määral seotud üksteisega.

Kuju hälve esitab siiski nõudeid vaid kujule, Suuna tolerants hõlmab nõuded nii suunale kui ka kujule ning asukoha tolerants kõigile kolmele.

Hoolikalt tuleb konstrueerimisel mõelda milliseid tolerantsse kasutatakse.

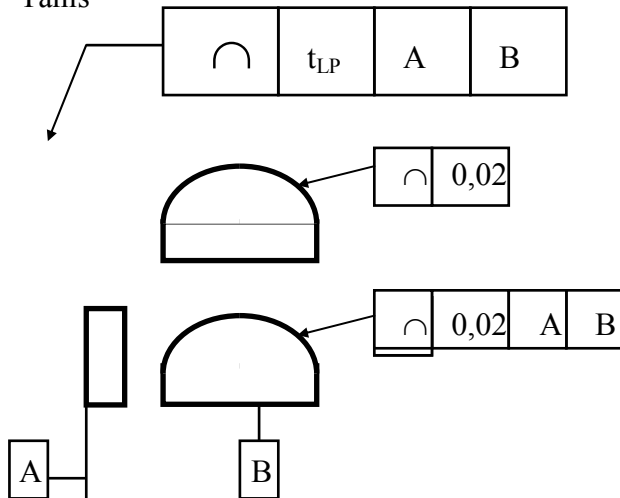
ISO 1101 antud profiili tolerantsid

Tolerants	Karakteristik	Lähte vajadus
Kuju	Joone profiil	ei
	Pinna profiil	ei
Suund	Joone profiil	ja
	Pinna profiil	ja
Asukoht	Joone profiil	ja
	Pinna profiil	ja

Joone profiil

Joone profiil on tolereeritud toru kujulise väljaga, mille keskpunkt asub teoreetiliselt täpses ristlõike keskpunktis. Joone suuna ja asukohta võib määratleda lähtega.

Tähis



Puudub \emptyset märk kui võrd tähistab ise ringjoont.

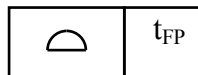
Lähe puudub kui ainult kuju tolerants.

Toru tsentri asukoht on tolereeritud ka pindade A ja B suhtes.

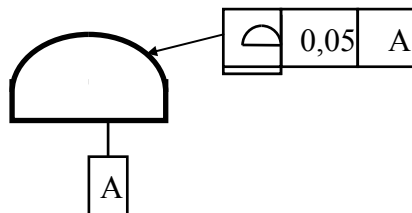
Pinnaprofiil

Pind peab mahtuma kahe tasapinna vahele, tasapindade vahele peab mahtuma sfäär $S\emptyset$.

Tähis



Ilma lähteta või tolerantsiga lähte suhtes



Sfääride tsentri asukoht on tolereeritud pinna A suhtes, 0,05 tähistab sfääri läbimõõtu.

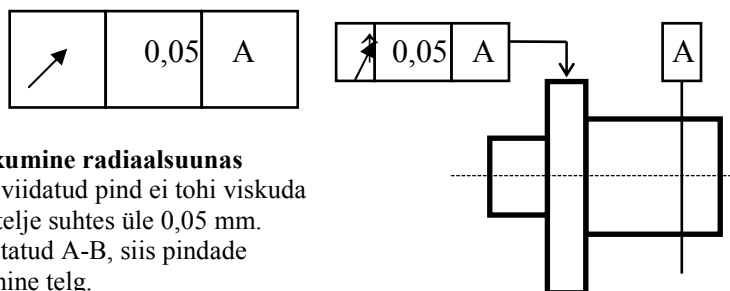
13 VISKUMISTOLERANTSID *TOLERANCES WITH RUN-OUT*

Viskumine esineb kui sümmeetriateljest on erinevad raadiused ning see väljendub ilmekalt kui objekti pöörata sümmeetriatelje ümber.

Ringviskumine *Circular run-out*

Viskumine radiaalsuunas või aksiaalsuunas või muudes suundades.

Tähis



Ringviskumine radiaalsuunas

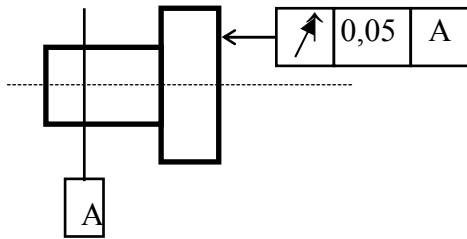
Noolega viidatud pind ei tohi viskuda pinna A telje suhtes üle 0,05 mm.

Kui tähistatud A-B, siis pindade A ja B ühine telg.

Viskumise võib piirata pinna teatud pikkusele lineaar või nurga ühikutes.

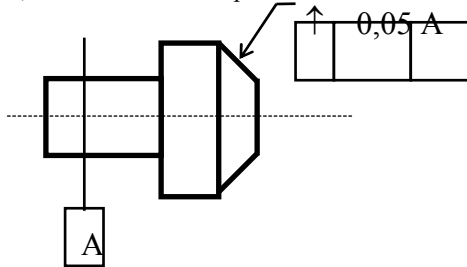
Ringviskumine aksiaalsuunas

Viskumine teljesuunas, st paralleelselt sümmeetriateljega.



Ringviskumine mistahes suunas

Viskumine suunas, mis ei ole risti või paralleelne sümmeetriateljega.

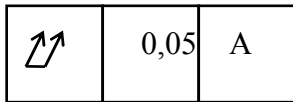


Viskumine 0,05 on antud risti koonuse pinnaga
Koonuse asemel võin olla kõverjoonega pind

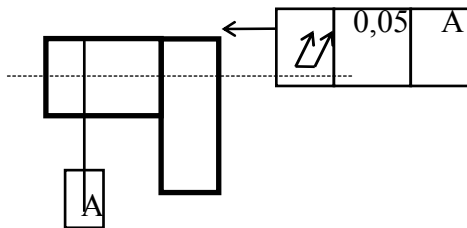
Täisviskumine Total run-out

Pindade viskumine on seoses ühe nullpunktiga.

Erinevus eelnevaga seisneb selles ,et siis oli limiteeritud konkreetne ristlõige.



On nii radiaal- kui ka aksiaalsuunas.



14 NURKADE JA KOONUSTE TOLERANTSID *TOLERANCES OF ANGLES AND CONES*

Nurk tekib kahe joone või pinna vahel. SI ühikutes on antud radiaanides. Tehnilistel joonistel on antud siiski kraadides ja kraadide kümnendosades või minutites või sekundites.

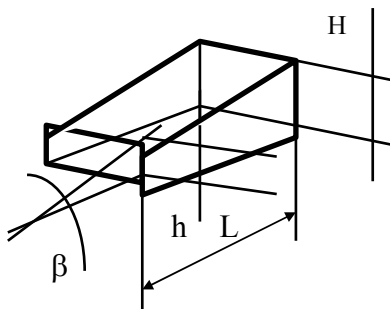
Radiaan on võrdne nurgaga, mis jääb tsentrist lähtuva kahe joone vahele, mis lõppevad kaare pikkusel, mis on võrdne raadiusega: $1 \text{ rad} = 57^{\circ}17'44,8''$.

Nurga moodustavad kaks lõikuvat joont või tasapinda. Viimasel juhul saab moodustada prisma.

Koonus moodustub, kui kaks lõikuvat joont pöörlevad.

Prisma ja koonuse põhikarakteristikud on määratletud standarditega ISO 2538 ja ISO 1119.

Tegelikkuses moodustuvad prismad ja koonused erinevaid detaile ning nende määratlemiseks on vajalik tunda nende omadusi. Eriti tähtis on see masintöötuse rakendamisel.



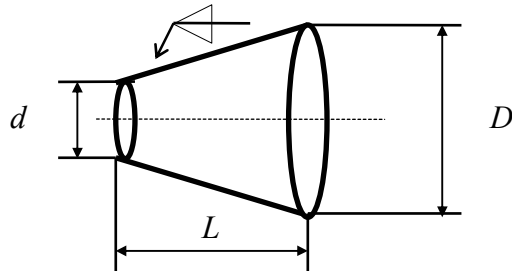
Nurka on võimalik väljendada valemiga

$$S = (H - h) / L = \tan \beta$$

Koonusel on võimalik väljendada koonilisuse

$$\text{faktoriga } C = (D - d) / L = 2 \tan \alpha/2.$$

Vastav faktor prismale C_p .



Nurga suurus tuleb valida prisma ja koonuse eelisarvude reast vastavalt standarditele ISO 2538 ja ISO 1119.

Prismadele on eelistatud anda nurga suurus ning koonustele koonuselisuse faktor C.

Joonisele märgitakse nominaalväärtusega.

ISO 3040 ja ISO 7083 alusel on koonilisuse sümboliks



Nurk on seotud lähtega.

Standardsed nurgad prismadele ja koonustele

Prisma nurk β		Prisma kalle S	Koonuse nurk β		Koonilisus C
Seeria 1	Seeria 2				
90°			90°		1:0,5000000
	75°	1:0,2679491		75°	1:0,6516127
60°		1:0,5773503	60°		1:0,8660254
45°		1:1	45°		1:1,2071068
	40°	1:1,1917536	30°		1:1,8660254
30°		1:1,7320508			1:3
20°		1:2,7474794			1:4
15°		1:3,7320508			1:5
	10°	1:5,6712818			1:6
	8°	1:7,1153697			1:7
	7°	1:8,1443464			1:8
	6°	1:9,5143645			1:10
		1:10			1:12
5°		1:11,4300523			1:15

Nurkade tolerantsid

Standardi ISO/FDIS 1101 alusel on võimalik määratleda kolm juhtumit nurkade tolerantsidele (tähis \angle):

- tolerantsi tsoon on määratletud kahe paralleelse taspinna või sirgjoonega olles nurga all teise pinna või joonega, milles saab asetseda tegelik pind;
- tolerantsi tsoon on määratletud kahe paralleelse taspinna või sirgjoonega olles nurga all lähte pinna või joonega, milles saab asetseda üleviidud tegelik pind;
- tolerantsi tsoon on määratletud silindriga olles nurga all lähte pinna või joonega, milles saab asetseda üleviidud tegelik telg.

Nurga hälbe saab väljendada teise geomeetrilise hälbega:

- paralleelsus (rööpsus), nurkadele 0° ja 180° ;

- ristisus, nurkadele 90° ja 270° .

Nurkade tolerantsid on antud mm, suunas, mis on risti uuritava pinna suunaga.

Nurga tolerantsi võib anda ka nurga hälvena, kuid see on ebasoovitavam, kuivõrd tipule lähemal hälve muutub nullilähedaseks. Samuti on raske kontrollida väikese pinna kallet nurgana.

Nurk on seoses lähtega ning tuleb valida võimalikult suurele pikkusele.



Nurga tolereerimise kaks võimalust

Märkus termilise paisumise mõjust. Termiline paisumine on ühe materjali ulatuses sama ning seega nurki ei mõjuta. Joonisele märgitakse ainult nurgad, mis erinevad 0° , 90° , 180° või 270° . Kuid nendele tuleb määratleda tolerantsid ning võib rakendada üldtolerantside põhimõtet.

Standardis ISO 129-1985 annab reeglid joonistel mõõtmestamiseks ja tolereerimiseks. Need reeglid ei ole mõningatel juhtudel piisavaks täpseks objekti geomeetria määratlemiseks.

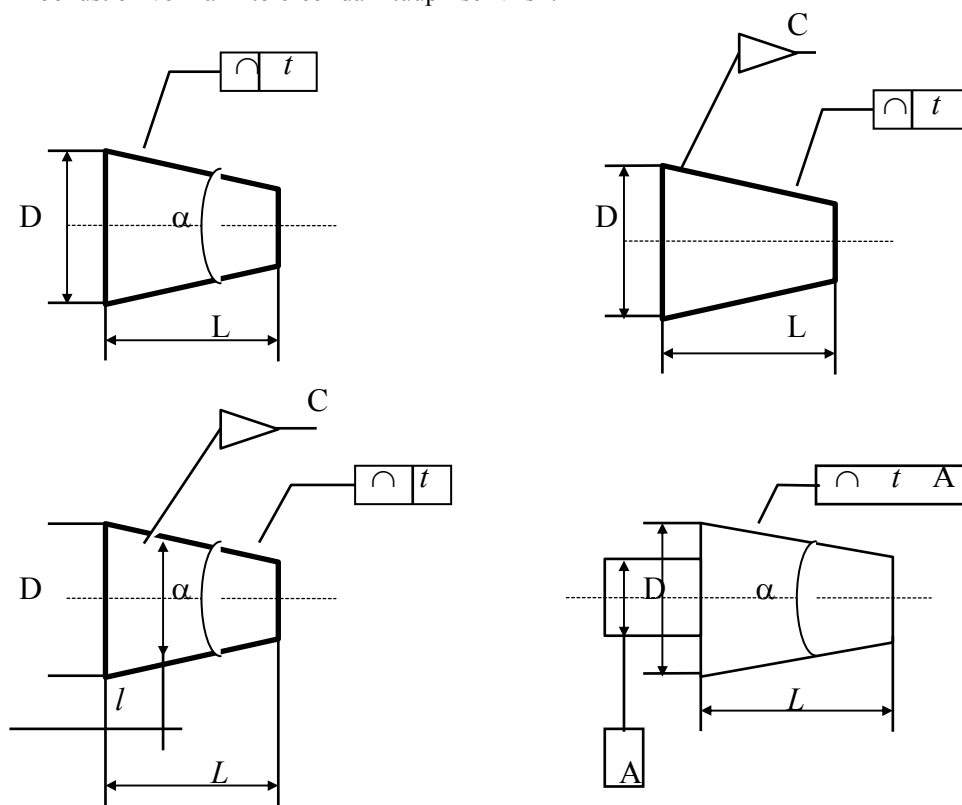
Joonisele märgistamine analoogne lineaarmõõtmetele - enne nominaalväärtus ning seejärel tolerants.

Nurkade tolerantsid on raskem kontrollida.

Koonuste tolerantsid

Koonuste tolereerimisel on kasutusel analoogsed põhimõtted kui nurkadele. Koonuse tolerants on kahe paralleelse pinnaga koonuste vahele.

Koonust on võimalik tolereerida 4 tüübilisel viisil.



15 PINNAKAREDUS, LAINELISUS JA ALUS(PRIMAAR)PROFIIL

Tegeliku pinna definitsioon on antud standardis ISO 14660-1 ning selle järgi on selleks tegelikult eksisteerivate füüsikaliste omaduste kogu, mis eristab objekti keskkonnast. Pinnale on iseloomulik mehaanilistele omadustele lisaks ka väljad, nt elektromagneetiline.

Pind on oluline objekti toimimisele ning ca 90 % toodete riknemisest on seotud pinnaga, nt väsimuspurunemine, stress korrosioon, kulumine, korrosioon, erosioon jne.

Pinna ja pinna lähedaste nähtuste uurimisega tegeleb triboloogia.

Joonisel kujutatakse pinda ideaalsena ning see kattub mõistega nominaalpinna.

Iga tegelik pind omab iseloomulikke jälge ning seal on palju teravikke ning süvendeid, mis omavad iseloomulikke kuju, mõõtmeid ja vahemaad.

Töötlemine mõjutab ka pealispinna aluseid kihte, millest võib eristada:

- oksiidide kiht, paksusega mõned nanomeetrid;
- topograafiline kiht, mille moodustab sisuliselt tööriist;
- plastselt deformeeritud kiht töötlemise tulemusel;
- metallograafiliselt deformeerunud kiht, töötlemise temperatuuri mõjul;
- keha materjal.

Kuigi alumised kihid on väga tähtsad objekti toimimisvõimele on neid raske mõõta. Seetõttu omab suuremat tähtsust pinna kareduste mõõtmine, mis kaudselt annab hinnangu ka seesmistele kihtidele kohta.

Pinna hälbeid eristatakse karedusena, lainelisusena ja kuju vigadena.

Enamuses mõõdetakse ainult karedust ning muu filtreeritakse välja.

Mõnedes rahvastandardites on pinnakaredus jaotatud rohkemateks klassideks.

Karedus on põhjustatud töötlemismetoodikast ja omab peenikest struktuuri.

Lainelisus on perioodilised mõjutused töötlemisel, nt mittebalanseeritus.

Kuju hälbe on tingitud reeglina materjali vähesest vastupanust.

Pinna parameetrid

ISO 4287 annab põhimõisted ja parameetrid.

Karedus R - pinnal asetsevad irregulaarsused töötlemise tagajärjel.

Lainelisus W - pinnalainelisus tekib protsessi ebatäpsuste poolt.

Primaarprofiil P on pind ilma liigsete liigühikeste omadusteta.

Pinnahälbed määratletakse lähtepinna suhtes.

Amplituudi parameetrid

Amplituudi parameetrid võib jagada kahte alamklassi: tipust põhjani ja keskmised väärtused.

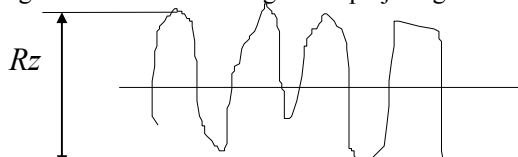
Maksimaalne tipu kõrgus R_p on maksimaalne tipu kõrgus keskjoonest mõõtepikkusel.

Maksimaalne süvendi sügavus R_v on maksimaalne süvendi sügavus keskjoonest mõõtepikkusel.

Maksimaalne profiili kõrgus R_z on vahemaa kõrgeima tipu ja sügavaima süvendi vahel mõõtepikkusel.

Standardi ISO 4287 järgi R_z on nn kümne punkti kõrgus, mis on keskmine vahemaa viie kõrgeima tipu ja viie sügavaima süvendi vahel mõõtepikkusel.

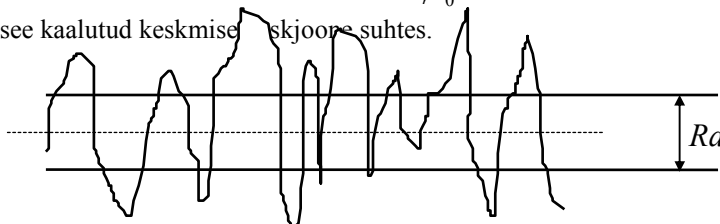
Profiili kogu kõrgus R_t on vahemaa kõrgeima tipu ja sügavaima süvendi vahel hinnataval pinnal.



Hälvete aritmeetiline keskmine hinnataval pinnal R_a on keskjoone suhtes arvestatavate hälvete aritmeetiline keskmine (ehk aritmeetiline keskmine hälvete eemaldumisest keskjoonest) mõõtepikkusel:

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |z(x)| dx$$

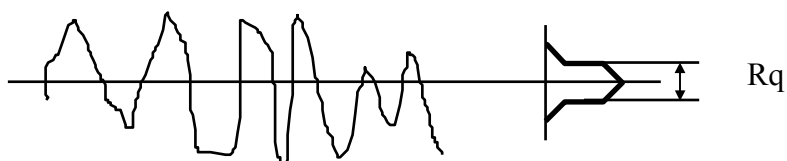
Sisuliselt annab see kaalutud keskmise keskjoone suhtes.



Ruutjuure keskmine karedus R_q on sarnane eelmisega:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} z^2(x) dx}$$

Rq iseloomustab sisuliselt keskmist elektrilist võimsust signaalil kuid kasutatakse kaasajal vähe tööstuses. Omab teatud nõrki külgi kuid on tundlik ebamäärasuste suhtes kuivõrd omab ruutu. Iseloomustab kõrguste standard hälvet.



Kolmandas astmes hälve Rsk :

$$Rsk = \mu^3 / Rq^3$$

Iseloomustab jaotuse sümmeetriat keskjoone suhtes, kui pinnal on rohkem nõgusid kui tippu, siis on tulemus negatiivne ning vastupidi.

Neljandas astmes hälve Rku :

$$Rku = m^4 / Rq^4$$

Tippude arv pikkusühiku kohta HSC .

Keskmine tippude vaheline kaugus RSm .

Pinna kareduse mõõtmine ja praktiline kasutamine

Kogu pinnal on lubatud tolerantsi väärtusi ületada 16 % mõõdetud väärtuste juhul kui ei ole määratletud muul viisil. Kui on määratletud nõue MAX, siis ei ole lubatud pinnal ületada maksimaalseid väärtusi. Tähistatakse joonise lliisades tolerantsi tähisele max, nt Rq_{max} .

Kõige levinumad mõõteriistad, kus nõel libiseb üle pinna. Kareduse poolt põhjustatud kõikumine muudetakse elektriliseks, magneetiliseks või valgussignaaliks, mida siis mõõdetakse mõõteriista abil.

Mõõtmisel võib vajadusel välja filtreerida ebasoovitavad elemendid (sagedused).

Pinnakareduse kahedimensionaalsel mõõtmisel on puuduseks, et ei võeta arvesse pinna ulatuse muutusi ning parameetrid iseloomuavad sama arvulise väärtusega erinevaid pindasid.

Seetõttu uuritakse võimalust määratleda pinnakaredust kolmedimensionaalsena.

Optimaalne mõõtme- ja kujutäpsus ning pinnakaredus on omavahel sõltuvuses – suurema täpsustasemega detail nõuab väiksemat pinnakaredust. Otsene karedusparameetrite arvutamine talitustingimustest lähtudes on raskendatud kuid esineb palju soovitusi pinnakareduse valiku kohta. Iga töötlemisviisi iseloomustab otstarbekas pinnakaredus. Näiteks liivvormvalu annab mustmetallist detailile Ra pinnakareduse 50...160 ning värvilisest metallist detailile 25...50.

Mehaanilise töötlemisel saavutatav pinnasileduse andmed on antud järgnevas tabelis:

Töötlemisviis	$Ra, \mu m$	IT ökonoomne	IT saavutatav
Hööveldamine	3,2...6,3	12...13	-
Freesimine silinderfreesiga	3,2...25	11...14	-
Freesimine otsfreesiga	3,2...12,5	11...14	-
Treimine pikiettenihkega	4,4...12,5	8...14	5
Puurimine	6,3...12,5	12...14	10
Süvistamine	3,2...25	10...15	8
Sisetreimine	0,4...100	7...17	6
Hõõritsemine	0,4...12,5	7...10	6
Kammlõikamine	0,8...6,3	7...9	-
Tasalihvimine külgekettaga	0,4...1,6	5...8	5
Soveldamine	0,1...3,2	5...7	-
Poleerimine	0,05...1,6	5...6	-
Plankimine	0,012...0,2	5...6	-
Hoonimine	0,05...0,4	6...8	-
Superfinis	0,1...0,4	5	-

Pinnakareduse põhimärgiks joonisel on “kolmnurkkuju” tipunurgaga 60° , mille vasaku haru kõrgus on ca 1,4 ja parema haru kõrgus ca 3 tähekõrgust - $\sqrt{\quad}$. Märgil võivad olla eri

kujud tingituna mehaanilise töötlemise nõudest - $\sqrt{\quad}$ või töötlemata jätmisest - $\sqrt{\quad}$. Põhilise karedusparameetri Ra väärtus kirjutatakse märgi madalama haru kohale, kusjuures

0,63/ $\sqrt{\quad}$

tähis Ra ise võib jääda kirjutamata - . Ülesse paremale võib kirjutada lisanõudeid töötlemisele ning joone alla mõõtmise lähtepikkus vajadusel ja Ra erinev

karedusparameeter - $\sqrt{0,8}$ Rz0,4. Ring parempoolse haru otsas osutab, et pinnakaredus on kogu kinnist kontuuri ^{lihvida} mõõda sama.

Kui on oluline pinnakonarusjoonte (töötlusjälgede) siht ja kuju, kasutatakse parempoolse märgiharu all vastavaid tingimärke. Täht M (*multi directional*) tähendab mitmesuunalist, C –kontsentrilist ringjoonelist, R – radiaalset ja P (*protuberant*) – sihitut pinnajoonist. Nt sobivaim toruäärikute tihenditega kontakteeruv pind on kontsentriliste ringjoontega. Pinnakareduse arvvaartus kehtib lõpliku pinna kohta, kuid võib olla vajadusel eraldi näidatuna enne ja pärast pindamist. Vahetult pinnakaredusmärgi ees võib olla antud töötlemisvaru vastavalt standardile ISO 10135-1. Pinnakaredusmärk osutab teravikuga sellele pinnale, mille kohta karedusnõue kehtib. Märk võib asetseda ka mõõtejoonel. Pinnakaredustähis näidatakse joonisel ühe pinna kohta vaid üks kord ja seal kus see on kõige iseloomulikum – võimalikult samal vaatel iseloomustava mõõtmis- ja positsiooniga. Silinder – ja prismapinna karedustähis võib näidata ühekordselt tsentrijoonel. Kui sama pinna karedust nõutakse enamike pindade kohta, kantakse üldtähis koos karedusparameetritega joonise pinnale, näiteks kirjanurga peale. Sulgudes lisatud tähis viitab sellele, et joonisel on veel pindu, mille karedus erineb üldisest ja näidatud on see joonisel pinna juures eraldi.

16 SPETSIIFILISTE TOOTMISPROTSESSIDE TOLERANTSID

Üldist

Standard ISO 286 oli esmaselt mõeldud toodetele, mida valmistati masintötlusega. See on aga üldise iseloomuga ning kasutatav muudes alades. Lõppotsustajaks on konstruktor. Tolerantside valikul tuleb arvestada kõrvalmõjusid nagu materjali suur mõju (plastmassdetailid), koostamise vähene täpsus (keeviskonstruktsioonid, üldjuhul), täiendav töötlemise vajadus (valutooted) jne.

Paljudele aladele on koostatud eraldi tolereerimise reeglid.

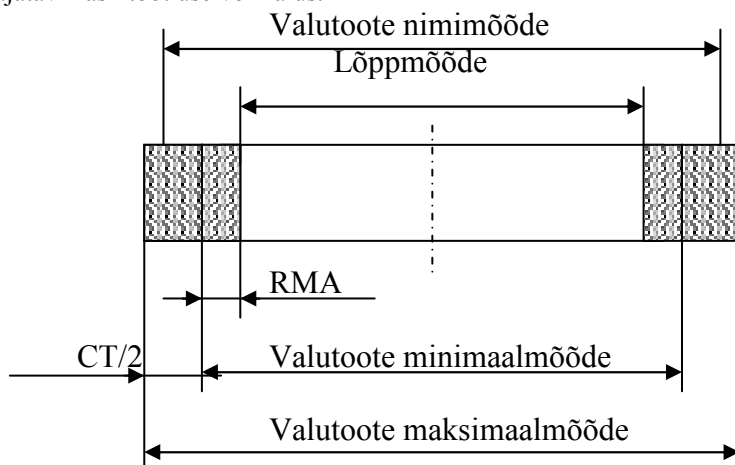
Valutooted

Reeglina on vajalik pinna täiendav masintöötlus ja projekteerimisel arvestada sellest tuleneva täiendavate tolerantsidega.

Valutoote mõõtmed, juhul kui töödeldakse täiendavalt mõlemat külge, on võimalik leida valemiga:

$$R = (F + 2 \times RMA + CT/2) \pm CT/2,$$

kus R on mõõde pärast valamist, F on mõõde pärast täiendavat lõpptöötlemist, CT on valutolerants ja RMA on vajatav masintötluse võimalus.



Vastavalt ISO 8062 on antud RMA'le 10 järku alates A kuni K, eelistatult C kuni K. Järgu valik sõltub eelkõige valamise tehnoloogiast ja materjalist.

ISO 8062 on antud väärtused RMA sõltuvalt nimimõõtmest ja järgust.

	Järk							
	C	D	E	F	G	H	J	K
Mõõde 63 kuni 100 0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	1,4	

Tüüpilised RMA järgud sõltuvalt tingimustest

Valumeetod	Materjal				
	Teras	Malm	Vask-sulamid	Tsingisulamid	Kerged sulamid
Liivavorm, käsi	G - K	F - H	F - H	F - H	F - H
Liivavorm, masin	F - H	E - G	E - G	E - G	E - G
Püsivalu, madalrõhk	-	D - F	D - F	D - F	D - F
Rõhkvalu	-	-	B - D	B - D	B - D
Täiendavvalu	E	E	E	-	E

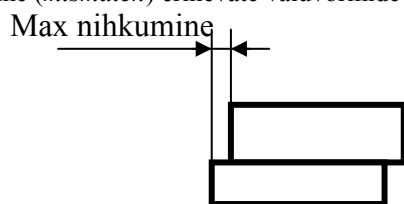
Valutolerantsidele CT on 16 järku tähistega $CT1$ kuni $CT16$. Järgu valikul tuleb arvestada materjali ning valuprotsessi.

	Järk							
	7	8	9	10	11	12	13	14
Mõõde 100 kuni 160 1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	14	

Tüüpilised CT järgud sõltuvalt tingimustest

Valumeetod	Materjal		
	Teras ja malm	Vase ja tsingisulamid	Kerged sulamid
Liivavorm, käsi	11 - 14	10 - 13	9 - 12
Liivavorm, masin	8 - 12	8 - 10	7 - 9

Lisaks võib anda täiendavaid protsessi spetsiifilisusest põhjustatud tolerantse. Valu puhul on selleks pindade nihkumine (*mismatch*) erinevate valuvormide vahel ja seda limiteeritakse maksimaalse lubatava erinevusega.



Valu tolerantsid tähistatakse erinevatel viisidel:

a) nagu üldtolerantsid (ISO 8062 järgi) + CT järk: nt: üldtolerants – CT10, CT 10 järgi on kõik mõõtmed väljaarvatud seinapaksus, mis on üks järk ebatäpsem;

b) nagu eelnev + nihkumise tolerants:

nt üldtolerants-CT12-maksimaalne nihkumine 1,5, kus 1,5 on millimeetrites;

c) nagu a) + RMA väärtus: nt üldtolerants-CT12- RMA 6(H), kus 6 on millimeetrites ja H on RME järk.

Keeviskonstruktsioonid

Standard ISO 13920 määratleb keeviskonstruktsioonide tolerantsid lineaarmõõtmetele ja nurgahälvetele ja mõnedele geomeetrilistele hälvetele.

Lineaarmõõtmed üldtolerantsid jagatakse nelja klassi – A, B, C ja D.

Geomeetrilise tolerantsid on määratletud sirgusele, tasapinnalisusele ja paralleelsusele nelja klassi järgi – E, F, G ja H.

Joonisele märgitakse üldtolerants ja vajadusel geomeetriliste hälvete klassid: nt : mõõde - BE.

Tolerantsi klass	Nimimõõde			
	120 - 400	Üle400 - 1000	Üle 1000- 2000	Üle 2000-4000
A	±1	±2	±3	±4
B	±2	±3	±4	±6
C	±4	±6	±8	±11
D	±7	±9	±12	±16
E	1	1,5	2	3
F	1,5	3	4,5	6
G	3	5,5	9	11
H	5	9	14	18

17 TOLERANTSID KOMPLEKSETELE GEOMEETRILISTELE OMADUSTELE

Üldist

Suur osa masina osasid nagu võllid, raamid jne on kujutavad lihtsate geomeetriliste elementide summana. Selliste geomeetriliste elementide, sirgjoon, tasapind, silinder ja koonus, tolereerimise põhimõtted olid käsitletud eespool.

Siiski on mitmeid osade tüüpe, mille geometria on keerulisem. Laiemalt kasutatavad on keermed, nuutvõllid ja hammasrattad. Kuivõrd need elemendid on laialdase kasutusega ülepiiride on nende standardne käsitlus eluliselt vajalik.

Keermed, põhiparameetrid, tolerantside järgud.

Keermed on standardiseeritud juba kaua aega ning standardid käsitlevad:

- baasprofili, põhimõõtmeid;
- tolerantsid;
- mõõtmise süsteem ja kaliibrite tolerantsid.

Masinaehituse on rakendatud mitmeid keermetüüpe, mis erinevad eelkõige keermeprofiili poolest.

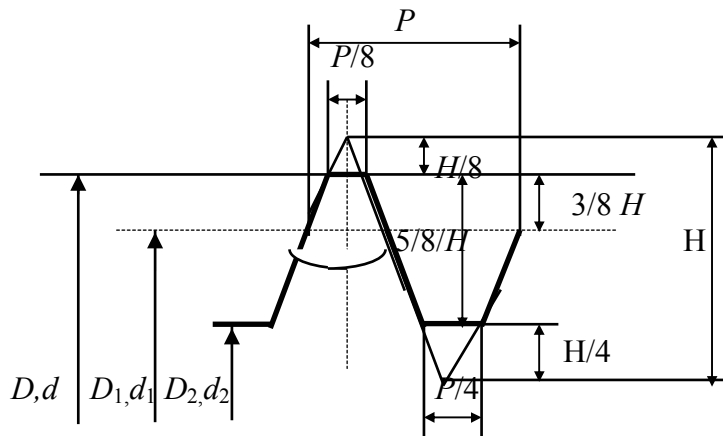
Põhiliseks on meeterkeere. Baasprofiliiks on kolmnurkse kujuga vorm vastavalt ISO 68-1. Kõik profiili mõõtmised sõltuvad sammust (*pitch*) P , mis on määratletud 0,25 mm kuni 8 mm. Kõrgus (*height*) H on leitav valemiga

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P$$

Standard ISO 724 annab nimimõõtmised läbimõõtudele: suurim läbimõõt D (väliskeermele) või d (sisekeermele), keermesammu läbimõõt D_2 või d_2 ning vähim läbimõõt D_1 või d_1 .

Näide standardist ISO 724, mõõtmised millimeetrites

Nimiläbimõõt= läbimõõt D, d	suurim	Samm P	Sammu läbimõõt D_2, d_2	Vähim läbimõõt D_1 või d_1
6		1	5,350	4,917
		0,75	5,513	5,188



Meeterkeermepõhimõõtmised

Suurim läbimõõt D või d on keermepõhimõõtmeks. Enamikel juhtudel võib ühele nimimõõtmele olla mitu sammu. Suurima sammuga keere on tavaliseks keermeks ning väiksema sammuga keermed moodustavad peenkeermepõhimõõtmised antud standardis ISO 261). ISO 724 on antud keermed nimimõõtmega 1 mm kuni 300 mm. Tavaline meeterkeere tähistatakse tähega M ning nimiläbimõõduga (nt M12), kusjuures sammu väärtust ei anta ning see tuleb leida standardist ISO 261. Peenkeermepõhimõõtmises antakse lisaks sammu väärtus (nt M12×1).

Meeterkeermepõhimõõtmised on antud standardis ISO 965, mis koosneb viiest osast. Peamine osa ISO 965-1 annab põhiprintsiibid ja põhiandmed.

Tolerantsid on antud keskläbimõõdule ning läbimõõdule, mis jäävad detaili sisse (väliskeermele vähim läbimõõt D_1 ja sisekeermele suurim läbimõõt d). Tolerantsid on jaotatud järkudeks.

Näide standardist ISO 695, tolerantsid mõõtmele D_1 , tolerantsi mõõtmised mikromeetrites

Samm	Tolerantsi järgud				
1	150	190	236	300	315
1,25	170	212	265	335	425

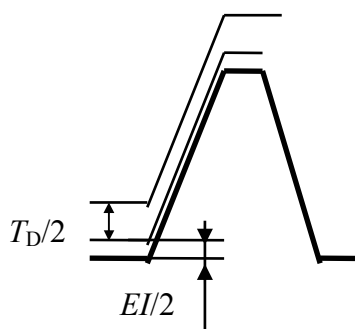
Keerme põhihõlbe antakse tolerantsi asukoht sarnaselt silindriliste elementide tolerantsiga. Põhihõlbed on tähistatud suurte tähtedega ning põhihõlve on leitav tabelist:

- sisekeermetele - G ja H;
- väliskeermetele - e, f, g ja h.

Näide standardist ISO 695, põhihõlbed, mõõtmed mikromeetrites, tolerantsile H - EI=0 ja h - ei = 0.

Samm, P	G EI	e es	f es	g es
0,75	+22	-56	-38	-22
1	+26	-60	-40	-26

Põhihõlbed kehtivad kõikidele standardiseeritud läbimõõtudele. St, et keerme profiil on nihutatud baasprofiili suhtes vertikaalsuunas.



Näide sisekeerme tolerantsile G.

Samm ja keerme nurk ei ole otseselt tolereeritud. Keerme profiil peab siiski jääma tolerantsitsooni sisse etteantud pikkusel. Standardiseeritud on kolm pikkust: lühike S, normaalne N, ja pikk L.

Erinevatel läbimõõitudel võivad olla erinevad järgud ja põhihõlbed, nt 5g (sammuläbimõõdule) ja 6g (suurimale läbimõõdule), kuid üldjuhul on soovitatav need säilitada võrdste järkude ja põhihõlvetega. Standardi järgi on sammuläbimõõdu arvuline väärtus tolerantsile väiksem teistest.

Keere tähistuses on antud kõik andmed, va erijuhul kus teatud keermetele antakse ainult lühendatud tähistus.

Üldjuhul on tähises keere, märk “-“, tolerantsi järk sammuläbimõõdule, tolerantsi järk sisesisele läbimõõdule, mõõte pikkus:

- nt M6×0,75 - 7g6g - L.

Tolerantsitähised võivad olla märkimata:

- sisekeermetele kuni M1,4 tolerants 5H ja suuremetele kui M1,6 tolerants 6H;
- väliskeermetele kuni M1,4 tolerants 6h ja suuremetele kui M1,6 tolerants 6g.

Tolerantside varieerumisega saab anda keermete tolerantside kvaliteete: peen (*fine*), keskmine (*medium*), jäme (*coarse*).

Soovitavad tolerantsid sisekeermetele (**bold** - eelistatud valik)

Tolerantsi kvaliteet	Tolerantsi asukoht G			Tolerantsi asukoht H		
	S	N	L	S	N	L
Fine	-	-	-	4H	5H	6H
Medium	(5G)	6G	(7G)	5H	6H	7H
Coarse	-	(7G)	(8G)	-	7H	8H

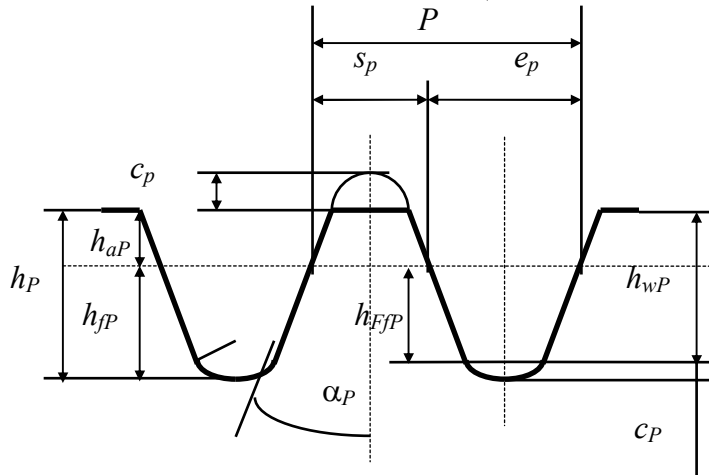
Keermepaaridele ei ole standardiseeritud eeliskombinatsioone. Tavaliselt on kasutusel paarid H/h, H/g ja G/h.

Silindrilised hammasrattad

Silindrilistele hammasrattastele on standardiseeritud järgmised elemendid:

- geomeetriseliste omaduste määratlused ja sümbolid (ISO 701, ISO 1122-1);
- hambaprofiil (ISO 53);
- moodulid (ISO 54);
- täpsustasemed ja hambapaksuse hälve (ISO 1328-1; ISO 1328-2).

On olemas ka hammasrataste kontrolli dokumente (ISO/TR 10064-1; ISO/TR 10064-2 jne).



Joon Hamba profiil

Standardse hamba proportsioonide on järgmised:

$$P = \pi m \qquad e_P = s_P = 0,5P$$

$$\alpha_P = 20^\circ \qquad h_{aP} = 1m$$

$$c_P = 0,25m \qquad h_{fP} = 1,25m \qquad e_{fP} = 0,38m$$

Tähistused valemities on järgmised: s_P on hamba paksus; e_P on hamba vahekaugus; P on samm ja m on moodul. Standardis ISO 1328-1 on käsitletud hammasrataste geomeetrist täpsust ja standardist ISO 1328-2 funktsionaalset täpsust.

Hälbed, mis on olulised koostule (paarilisele hammasrattale)

Hälbed on defineeritud standardis ISO 1328-1.

Hamba samm p_t on vahema hamba pindaded kaugus keskjoonel ning sellele on standardis 3 hälvet:

- üksiku sammu hälve (*single pitch deviation*) f_{pt} ;
- kogutud sammu hälve (*cumulative pitch deviation*) F_{pk} ;
- üldine kogutud sammu hälve (*total cumulative pitch deviation*) F_p .

Hamba profiili hälveteks on:

- üldine profiili hälve (*total profile deviation*) F_a ;
- profiili kuju hälve (*profile form deviation*) f_{fa} ;
- profiili slope hälve (*profile slope deviation*) $f_{H\alpha}$.

Hamba profiili kontrollitakse ideaalse pinna suhtes

Helix hälbed:

- *total helix deviation* F_{β} ;
- (*helix form deviation*) $f_{f\beta}$;
- (*helix slope deviation*) $f_{H\beta}$.

Võrreldakse ideaalsega.

Tangentsiaalse komponendi hälbed:

- üldine tangentsiaalse komponendi hälve (*total tangential composite deviation*) F_i' ;
- hambalt hambale tangentsiaalse komponendi hälve (*tooth-to-tooth tangential composite deviations*) f_i' .

Hälvete täpsustase on antud 13 täpsusjärguga (0 kuni 12). See on määratletud sammudimeetriga, mooduliga ja hamba paksusega ning nende alusel on leitavad ülaltoodud hälvete väärtused vastavalt ISO 1328-1 toodud valemitiesga.

Radiaal komponentide hälbed ja viskumised

Standardiga on määratletud järgmised hälbed:

- üldine radiaalkomponendi hälve (*total radial composite deviation*) F_i'' ;
- hambalt hambale radiaalse komponendi hälve f_i'' ;
- viskumine (*runout*) F_r .

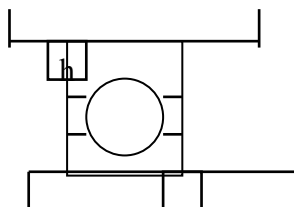
Määratletud on sammudimeeter ja moodul nende alusel on leitavad ülaltoodud hälvete väärtused vastavalt ISO 1328-2 toodud valemitiesga.

Hamba paksuse hälbed Määratletud on järgmised hälbed:

- ringpaksus s_{yn} mistahes diameetril (*circular thickness at any diameter*) d_y ,
- (*chordal thickness*) s_{ync} ;
- (*tooth span*) W_k ;
- (*dimension over balls or cylinders*) D_{Mthe} .

LAAGRITE ISTUD

Laagrite valiku lihtsustamiseks on praktilise tegevuse alusel välja kujunenud teatud põhimõtted laagrisõlme istude kujundamiseks. Välisvõru istatakse kerosse reeglina võllisüsteemis ja sisevõru võllile avasüsteemis. Oluline on seejuures, et nii välisvõru välisläbimõõdu kui ka sisevõru siseläbimõõdu ülemine piirhälve on null, alumised piirhälbed valitakse vastavalt tingimustele kasutamisel. Seega on sisevõru aval alumine hälve miinusesse. Selline tolerantsivälja paigutus annab vajaliku pingu laagri istamisel võllile, mille tolerantsiväli on näiteks n6, m6, k6 või js6.

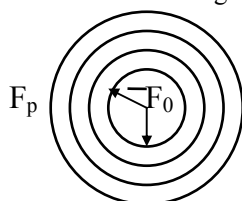


Võllid valmistakse IT 4...IT7 järgu järgi.

Põhilised andmed, mis iseloomustavad veerelaagreid ennast on põhimõtted siseläbimõõt d , välisläbimõõt D ning võrude laius B ning täpsusparameetrid sise- ja välisvõru radiaalkoormuse, sisevõru otsviskumise ja sise- ja välisvõrude veereteede viskumine.

Veerelaagri normaalne töö sõltub suurelt laagri istudest võllil ja korpuses. Laagri ist võllil ja keros sõltub sellest, kas laagri võru pöörleb või jääb liikumatuks temalemõjuva muutuva suunaga radiaalkoormuse suhtes. Võrudele mõjuv koormus võib olla kohalik, tsirkuleeriv (pöörlev) või pendeldav (võnkuv).

Kohaliku koormuse puhul on laagrivõru teatud osa koormatud püsisuunalise radiaalkoormusega F_0 , st koormus on ainult võru ühes kindlas kohas ning võru ei liigu koormuse suhtes.



Tsirkuleeriva koormuse korral on järjest koormatud kas pöörleva laagrivõru kõik osad püsisuunalise jõuga F_0 või paigalseisva võru osad pöörleva jõuga F_p , st võru suhtes koormus liigub.

Pendeldava koormuse korral on võru teatud osa koormatud jõuga $F_0 + F_p$.

Tsirkuleeriva koormusega võrude ist valitakse radiaalkoormuse intensiivsuse F_R alusel vastavatest tabelitest.

Laagri ava läbimõõt, mm		Lubatav intensiivsus F_R KN/m			
		Laagri ist võllil			
üle	kuni	js5, js6	k5, k6	m5, m6	n5, n6
18	80	kuni 300	300...1400	1400...1600	1600...3000
80	180	kuni 600	600...2000	2000...2500	2500...4000
Laagri välisläbimõõt, mm		Laagri ist keros			
üle	kuni	K6, K7	M6, M7	N6, N7	P7
50	180	kuni 800	800...1000	1000...1300	1300...2500
180	360	kuni 1000	1000...1500	1500...2000	2000...3300

Radiaalkoormuse intensiivsus (N/mm) on leitav valemi abil:

$$F_R = F_r k_1 k_2 k_3 / b,$$

kus F_r on laagri radiaalkoormus N, b on laagri istamispinna pikkus mm ($b = B - 2r$, kus B on laagri laius ja r võru servade ümardusraadius), k_1 dünaamilisustegur, mis sõltub koormuse iseloomust (mõõdukate tõugete ja vibratsiooni puhul, kui ülekoormus ei ületa 50 %, $k_1=1$, tugevate löökide ja vibratsiooni puhul, kui koormus on kuni 300 % $k_1=1,8$), k_2 on tegur, mis arvestab vähenemist, kui laager istatakse õõnesvõllile või õhukeseseinalisse kerosse (täisvõlli puhul $k_2=1$) ja k_3 on tegur, mis arvestab radiaalkoormuse ebaühtlast jaotumist kaherealise koonusrull-laagri ridade vahel (ühe välis- ja ühe sisevõruga radiaal- ja radiaaltugikuullaagritel $k_3=1$).

d_{ava}/d või D/D_{kere}		k_2 võllile			k_2 kerele
üle	kuni	$D/d \leq 1,5$	$D/d > 1,5 \dots 2,0$	$D/d > 2,0 \dots 3,0$	Kõigil
-	0,4	1	1	1	1
0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1
0,7	0,8	1,5	1,7	2	1,4
0,8	-	2	2	3	1,8

Kui dünaamilisustegurit k_1 ei saa täpselt määrata võib tsirkuleerivalt koormatud võru istu leida minimaalse pingu N_{\min} (μm) järgi $N_{\min}=13 F_r N^3 / 10^3 (B-2r)$, kus tegur N^3 on 2,8 kerge seeria, 2,3 keskmise seeria ja 2,0 raske seeria laagritel, koormus F_r on N ja mõõtmed B ning r mm. Soovitavad võllide ja avade tolerantsiväljad ja nende kasutamise näited on tabelis

Võlli istud:

Sisevõru koormus	Tööreziim	Kasutusala	Kuul laager võlli \varnothing		Rull laager võlli \varnothing		Soovita-tav tolerants
			Radiaall	Radtugil	Silinderl	Koonusl	
Kohalik (välis-võru pöörleb)	Kerge, normaalne	Konveier-rullid, kirjutus-seadmed	Kõik läbi-mõõdud	Kõik läbi-mõõdud	Kõik läbi-mõõdud	Kõik läbi-mõõdud	g6, h6
		Autode, trak-torite rattad					g6, f6, js6, j6, h6
	Keskmin e ja raske	Tõstemasinad					h6
Tsirkuleeriv (võll pöörleb)	Kerge ja normaalne	Väikesed el.masinad, el.trellid, käigukastid	kuni 100	kuni 100	kuni 40	kuni 40	k6, js6
			100.....140	100.....140	40.....140	40.....140	k6, h6, js6, j6
Tsirkuleeriv või pendeldav (võll pöörleb või segakoormus)	Normaalne või raske	Puidutöötlemis masinad, el.mootorid 100 kW, vāntmehanismid, suured reduktorid	18...100	kuni 100	kuni 40	kuni 40	k6, js6
			100..140	100...140	40...100	40...100	m6
Telg-koormus		Erinevad	kõik	kõik	kõik	kõik	js6, j6

Avade (korpuses) istud:

Kere tüüp	Välisvõru koormus	Tööreziim		Kasutus	Soovitatav tolerants
Ühest tükist	Tsirkuleeriv (kere pöörleb)	Välisvõru ei nihku telgsuunas	Raske, õhukese-seinaline kere	Autorattad koonusl, tornkraana rattad	P7
			Normaalne	Autode esirataste, kuull, pingutusrat.	N7
			Normaalne, muutlik koorm.	Lintkonveierattad	M7
	Pendeldav (kere pöörleb) või segakoormus		Raske dün.koormus	El.mootorid	M7
			Normaalne	El.mootorid, pumbd, käigukast, tagasillad	K7
Pendeldav (kere pöörleb või segakoorm.)	Välisvõru ei nihku telgsuunas	Normaalne või raske	Rasked metallil.pinkide spindlid	K6, Js6, M6, J6	
Ühest tükist või poolitav	Kohalik (võll pöörleb)	Välisvõru võib nihkuda telgsihis	Raske normaalne või	El.mootorid, pumbad, spindlid	Js7, J7
			Dün.muutuv koormus	Rongi rattapaar, masinate laagerdus	Js/, J7, H7
			Normaalne ja kerge	Paberma.kuivatustrumlid, põllutöömasin.	G7, H8
Ühest tükist	Telgkoormus	Välisvõru võib nihkuda keres	Normaalne	Tugilaagrid	E8
			Raske	Laagrid	H8, H9

Lõtkud veerelaagrites

Ühe laagrivõru pöörlemine teise suhtes on võimalik ainult lõtkude olemasolu tõttu laagris. Laagris olevad lõtkud sõltuvad laagri tüübist, konstruktsionist, koormuse liigist ja koostamistingimustest. Sisemine lõtk laagrivõrude vahel põhjustab mõningat laagrivõrude suhtelist nihkumisvabadust radiaal ja telgsuunas.

Laagrites esinevad radiaal- ja telglõtkud: Radiaallõtku all mõistetakse ühepoolse summaarse lõtku väärtust veerekehade ja veereteede vahel tasapinnas, mis on risti laagri pöörlemisteljega. radiaallõtkust sõltuvad ratsionaalne koormuse jaotus üksikute veerekehade vahel, laagri tööiga, vibratsioonid laagri tööolukorras jne.

Telglõtk laagrites määratakse laagrivõru suurima telgnihke suurusega liikumatu laagrivõru suhtes mõlema laagrivõru telje ühtimise korral.

Laagrites eristatakse kolme radiaallõtku:

- alg-radiallõtk, mis on laagris pärast tema valmistamist;
- koostamis-radiallõtku, mis saadakse pärast laagri monteerimist ja see on väiksem kui alglõtk;
- töö-radiallõtk, mis kujuneb töökoormusel ja töötemperatuuril.

Koostamislõtk on algradiaallõtkust väiksem vastavalt sise- või välisvõru veereteede deformatsiooni võrra.

Sisevõru ühendamisel võlliga avaldub koostamislõtk valemiga:

$$S_k = D_1 - [(D_2 + \Delta D_2) + 2d_k,$$

kus D_1 on kuulide veereteede välisläbimõõt, D_2 kuulide veereteede siseläbimõõt, ΔD_2 on laagri sisevõru deformatsioon ja d_k kuulide läbimõõt.

Laagrivõrude deformatsioon leitakse järgmiste valemitega:

a) Laagri sisevõru ühendamisel võlliga $\Delta D_2 = \Delta'_{s\text{ teg}} d / d_0$ [mm] ja

b) laagri välisvõru ühendamisel korpusega $\Delta D_1 = \Delta'_{s\text{ teg}} D / D_0$ [mm],

kus $\Delta'_{s\text{ teg}}$ on suurim tegelik ping vastavalt laagri sisevõru ja võlli või välisvõru ja korpuse vahel.

Suurim tegelik ping sõltub laagri montaažil kasutatavast istust ja on leitav ligikaudu valemiga $\Delta'_{s\text{ teg}} = 0,85 \Delta'_{st}$,

kus Δ'_{st} on kasutatava istu suurim tabeliping, d_0 on laagri sisevõru redutseeritud välisläbimõõt ja D_0 on laagri välisvõru redutseeritud siseläbimõõt mm.

Redutseeritud läbimõõte võib küllaldase täpsusega määrata valemitega:

$$d_0 = d + (D - d) / 4 \text{ ja } D_0 = D - (D - d) / 4.$$

Koostamislõtk väheneb ka laagrivõrude kuumenemise tagajärjel tööprotsessis, mis on leitav valemiga

$$\Delta_t = \alpha \Delta t D_2,$$

kus α on materjali joonpaisumistegur (kroomterasel $11,2 \cdot 10^{-6}$), Δt on laagri sise- ja välisvõru temperatuuride vahe (praktiliselt $5 \dots 10$ °C) ja D_2 on laagri sisevõru veereteede läbimõõt, mm.

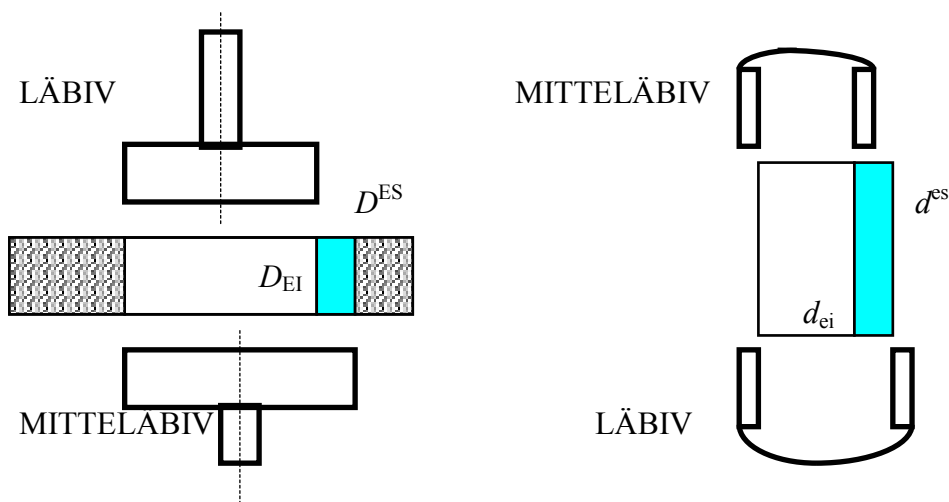
KALIIBRITE TOLERANTSID

Kaliibrid on ette nähtud detailide mõõtmete, kuju ja pindade asendi hälvete kontrollimiseks. Kontrollitavate detailide kuju ja teiste tunnuste järgi jagatakse kaliibrid järgmiselt: siledad kaliibrid silindriliste detailide kontrollimiseks, keermekaliibrid, kaliibrid pikkuste, astmete, kõrguste, pindade vastastikuse asendi jne kontrollimiseks.

Samaaegselt kontrollitavate elementide arvu järgi jagatakse kaliibrid element- ja komplekskaliibriteks. Elementkaliibrid on ette nähtud detailide üksikute joon- või nurkmõõtmete kontrollimiseks. Komplekskaliibrite abil kontrollitakse samaaegselt mitut elementi. Komplekskaliibrid kasutatakse näiteks hammas-, liist- ja keermesliidete või teiste keeruka geomeetrilise kujuga detailide mõõtmete, pindade asendi ja kuju kontrollimiseks. Ühe detaili kontrollimiseks vajatakse kahte piirkaliibrit, millest üks on läbiv ja teine mitteläbiv.

Piirkaliibritega kontrollitakse detailide piirmõõtmeid, jagades detailid kolme gruppi: a) kõlblikud, mille mõõtmed on lubatavuse piires; b) parandatav praaka, kui näiteks võlli mõõde on lubatavast suurem või ava mõõde lubatavast väiksem; c) parandamatu praak, kui võlli mõõde on lubatavast väiksem, aval aga suurem.

Ava tegeliku mõõtme kontrollimiseks valmistatakse mitteläbiv kaliiber lähtudes mõõtmest D^{ES} ja läbiv mõõtmest D_{EI} . Võlli kontrollimisel läbiv kaliiber valmistatakse lähtudes mõõtmest d^{es} ja mitteläbiv mõõtmest d_{ei} .



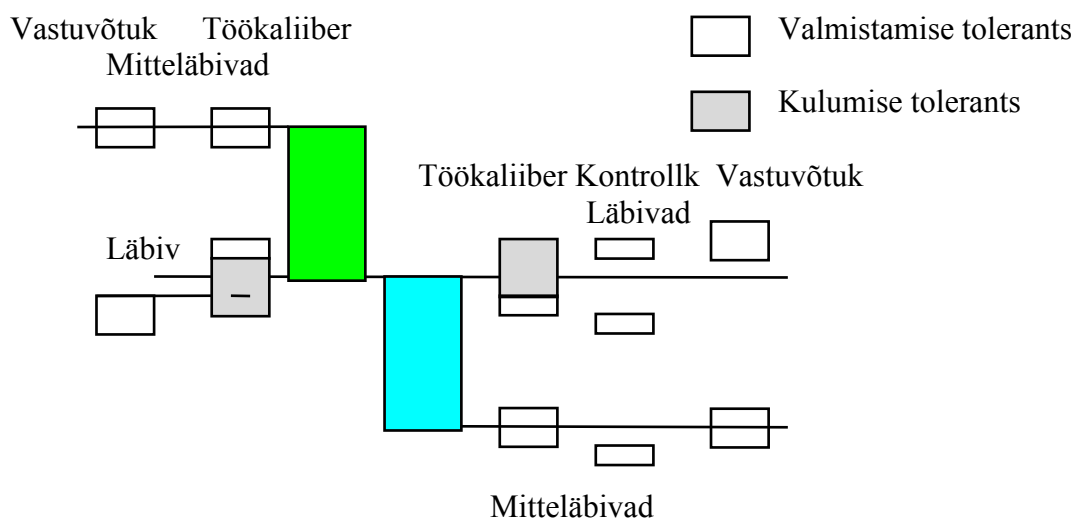
Kaliibrid ava (korkkaliibrid) ja võlli (harkkaliibrid) kontrollimiseks

Kui mitteläbiv korkkaliiber läheb kontrollitavasse avasse või mitteläbiv harkkaliiber kontrollitavale võllile, siis on tegemist parandamatu praagiga, kui aga läbiv korkkaliiber ei lähe kontrollitavasse avasse ning läbiv harkkaliiber võllile, siis on tegemist parandatava praagiga.

Piirkaliibriga kontrollimine ei nõua kõrge kvalifikatsiooniga kontrollijat ja suurendab tunduvalt kontrolli objektiivsust.

KALIIBRID AVADELE

KALIIBRID VÕLLIDELE



Kaliibrite tolerantsiväljade asetus

Kaliibrid jagatakse vastavalt nende kasutamise kohale ja iseloomule.

1. Töökaliibrid (läbiv ja mitteläbiv), mida kasutatakse vahetult töökohtadel detailide kontrollimiseks.
 2. Vastuvõtukaliibrid (läbiv ja mitteläbiv) on ette nähtud detailide kontrollimiseks kvaliteediteenistuse või kliendi poolt. Nendeks kaliibriteks on sobiv kasutada osaliselt kulunud läbivaid töökaliibreid. Vastuvõtukaliibril on ette nähtud oma tolerantsiväljad selleks, et vältida korralike detailide väljapraakimist tellija poolt pärast detailide kontrollimist ja kõlblikuks tunnistamist töökaliibri kasutaja poolt. Sellised detailide väljapraakimise juhud on seotud tolerantsiväljade kattumisega erinevates kontrolli instantsides kasutatavatel kaliibril.
 3. Kontrollkaliibrid on ette nähtud võllide töö- ja vastuvõtukaliibrite mõõtmete kontrollimiseks ja vajadusel (võimalusel) nende reguleerimiseks. Kontrollkaliibrid võivad olla uute töökaliibrite kontrollimiseks või teatud kulumistaseme kindlakstegemiseks.
- Kontrollkaliibreid kasutakse ainult harkkaliibrite kontrollimiseks. Korkkaliibreid kontrollitakse universaalmõõteriistadega.

Siledate kaliibrite valmistamismõõtmete määramine

Kaliibrite valmistamismõõtmeks nimetatakse kaliibri tööjoonisel antavat põhimõõdet. Kaliibrite valmistamismõõtmete arvutamisel kasutatakse teatmematerjali andmeid. Kaliibrite valmistamismõõtmete arvutamisel tuleb kasutada tolerantsivälja ühepoolset asetust. Seega on korkkaliibrite valmistamismõõtmeks antud korkkaliibri suurim piirmõõde tolerantsiga võrdse negatiivse hälbe ja harkkaliibri valmistamismõõtmeks on väiksem piirmõõde tolerantsiga võrdse positiivse hälbe.

Näide. Arvutada töökaliibrid võlli kontrollimiseks, võlli andmed - Ø100 mm, $es = -120\mu\text{m}$ ja $ei = -235\mu\text{m}$.

Võlli piirmõõtmed $d_{\text{max}} = 99,880\text{ mm}$ ja $d_{\text{min}} = 99,765\text{ mm}$.

Teatmematerjalist saame harkkaliibrile:

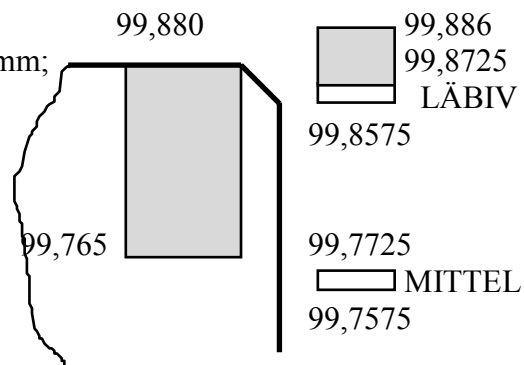
piirmõõtmed: - läbiv max = 99,8725 mm; - läbiv min = 99,8575 mm;
 - mitteläbiv min = 99,7575 mm; - mitteläbiv max = 99,7725 mm

valmistamismõõtmed:

- läbiv = $99,8575^{+0,015}\text{ mm}$;
 - mitteläbiv = $99,7575^{+0,015}\text{ mm}$;

kulunud kaliibri mõõde:

- läbiv = 99,886 mm



Keermekaliibrid

Eriti efektiivne on kaliibrite kasutamine keermete kontrollimisel.

Analoogselt eelnevaga on võimalik keermekaliibreid jaotada töö-, vastuvõtu ja kontrollkaliibriteks. Sise- ja väliskeermega detailide kontroll läbivate kompleks- ja mitteläbivate elementkaliibritega tagab kõikide keermeelementide mõõtmete paiknemise etteantud tolerantsivälja piirides.

Läbivate töökaliibrite sisse- ja pealekeeratavus kontrollitavale keermele tagab mitte ainult keeme keskmise läbimõõdu vastavuse normidele, vaid ka keeme sammu ning profiilinurga hälvete kompenseerimise keskläbimõõdule antud tegeliku lõtku arvel.

Keermetatud detailide kontrollimine läbivate töökaliibritega tagab, et mutri välisläbimõõt ei ole väiksem poldi välisläbimõõdust ega poldi siseläbimõõt suurem mutri siseläbimõõdust.

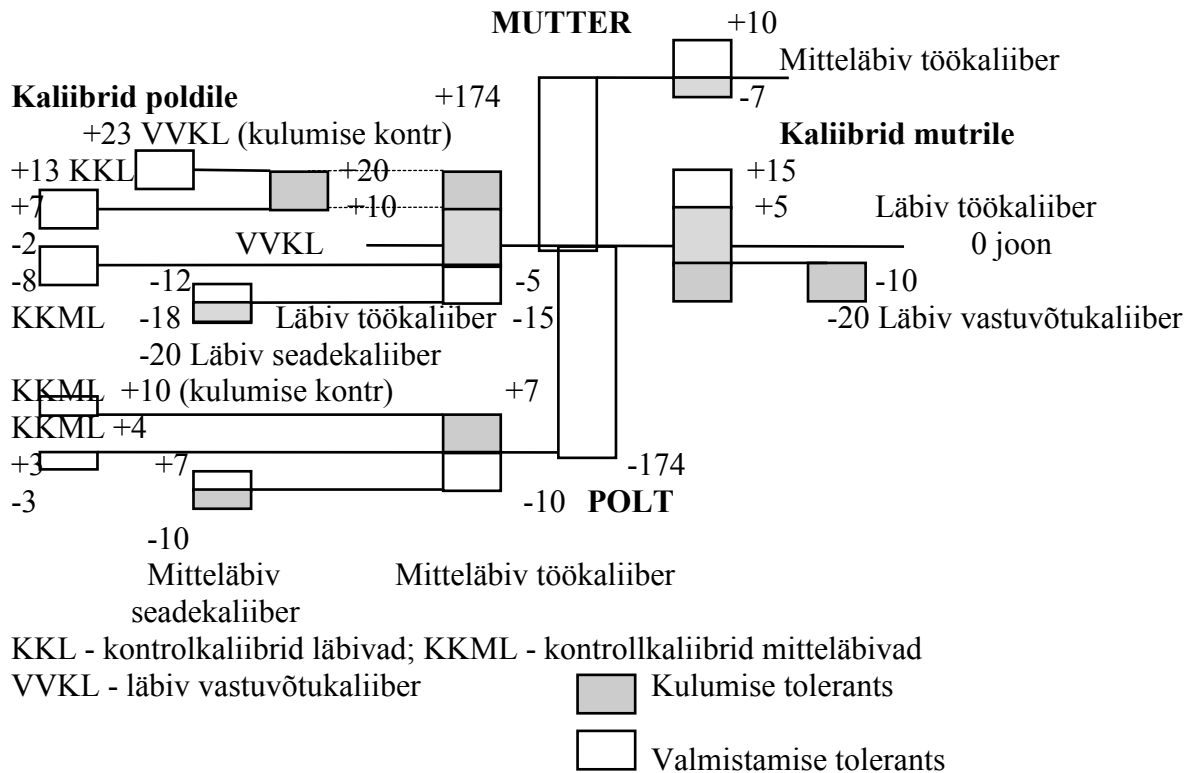
Mitteläbivatel töökaliibril võib olla sisse- või pealekeeratavus mutrisse või poldile kuni kahe pöörde ulatuses.

Mitteläbiva töökaliibriga keeme kontrollimisel tehakse kindlaks, et mutri keskläbimõõt ei ole suurem ja poldi keskläbimõõt väiksem normitud piirmõõtmest. Keeme sammu ja profiilinurga ja profiilinurga hälvete mõju vähendamiseks kontrollimise tulemustele valmistatakse mitteläbiv töökaliiber lühikesena (keermeniitude arv 2,5...3) ja profiili külje lühendatud pikkusega. Lühendatud profiiliga keermekaliibrid on ette nähtud ainult keeme keskläbimõõdu kontrollimiseks.

Läbivaid ja mitteläbivaid keermekaliibreid poltide kontrollimiseks võib kujundada mittereguleeritavate ja reguleeritavate rõngastena või reguleeritavate keermeharkidena. Mutrite kontrollimiseks on keermestatud korkkaliibrid.

Rõngas töökaliibrite kontrollimiseks on võimalik kasutada kontrollkaliibreid kõrge. Korkkaliibreid kontrollitakse universaalsete mõõteriistadega.

Vastuvõtu keermekaliibritele kehtivad analoogsed põhimõtted kui siledate detailide kaliibritele.



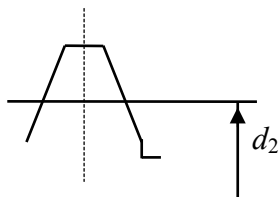
Joon. Keermekaliibrite keskläbimõõdu tolerantsiväljad (hälbed antud M24x3)

Kaliibrite hälbed antakse järgmisi põhimõtteid arvestades:

- keermekaliibri keskläbimõõdu hälbed antakse kontrollitava keermekeskläbimõõdu piirmõõtmest;
- läubivatel töökaliibritel ja nende kontrollimiseks kasutatavatel kontrollkaliibritel antakse hälbed poldi keermekeskläbimõõdu suurimast või mutri keermekeskläbimõõdu väiksemast piirmõõtmest;
- mitteläbivatel töökaliibritel ja nende kontrollimiseks kasutatavatel kontrollkaliibritel antakse hälbed poldi keermekeskläbimõõdu väiksemast või mutri keermekeskläbimõõdu suurimast piirmõõtmest;
- keermekaliibri välisläbimõõdu hälbed antakse poldi keermekeskläbimõõdu suurimast piirmõõtmest, siseläbimõõdu hälbed aga mutri keermekeskläbimõõdu väiksemast piirmõõtmest.

Mitteläbivad töökaliibrid kasutatakse lühendatud profiiliga keeret, millel on väiksem keermekõrgus ja keermeniitide arv (kuni 3). Kuna nimetatud kaliibrid on ette nähtud keermekeskläbimõõdu kontrollimiseks, siis keermeniitide kõrguse vähendamine ja nende väike arv võimaldab vähendada profiili kolmnurga ja sammu vigade mõju kontrollitulemustele.

Keermekaliibrite lühendatud profiil saavutatakse korkkaliibritel välisläbimõõdu vähendamisega ja süvise lõikamisega keermepõhja (keermekeskläbimõõdu juures), rõngaskaliibritel aga siseläbimõõdu suurendamisega ja süvise lõikamisega keermepõhja (keermekeskläbimõõdu juures). Süvis tuleb lõigata reguleeritavatel rõngas- ja harkkaliibritel, mille samm on üle 0,75 mm, teistel kaliibritel alates sammust 1,5 mm meeterkeermetele, tollkeermetele alates 20 niidist 1'' kohta.

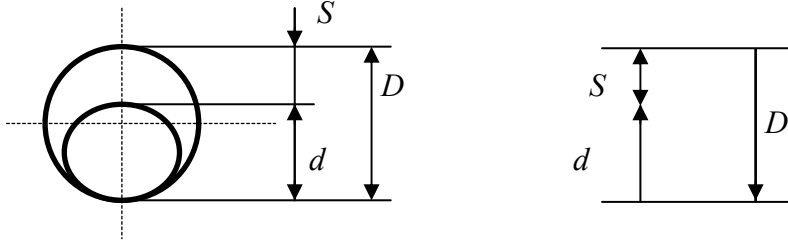


Keermekaliibrite parameetrid ja mõõtmed on antud erinevates käsiraamatutes.

18 MÕÕTEAHELAD DIMENSIONAL CHAINS

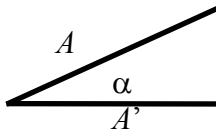
Detailielemendi ja koostu geometrilised parameetrid määratakse mitme omavahel seotud mõõtme koosinemisega. Mõõtmed moodustavad sisuliselt kinnise kontuuriga mõõteahelaid ning seega omavahel sõltuvad.

Lihtsaim koost on võll avas ning seal moodustuvad ahela võlli läbimõõt d , ava läbimõõt D ning nende vahele jääv ping N või lõtk S . Sõltuvus nähtub selles, kui muutes üht mõõdet, siis peab muutuma vähemalt ka teine mõõt. Sõltuvalt mõõtme muutmisest muutub teine mõõt kas samas suunas (nt mõlemad suurenevad) või teine muutub vastand-suunas (ühe suurenemisel teine väheneb).



Sulgevaks lüliks loetakse mõõdet, mis kujuneb pärast seda kui teised mõõtmed on määratud konkreetsete väärtustega. Olenevalt mõõtmete paigutusest ja valikust võib sulgev lüli olla teoreetiliselt ükskõik milline mõõde. Suurendavaks mõõtmeks (*increasing dimension*), omab mõjutegurit +1, loetakse mõõteahela lüli, mis suurenedes suurendab ka sulgevat lüli ning vähendavaks mõõtmeks (*decreasing dimension*), omab mõjutegurit -1, lüli, mis suurenedes vähendab sulgevat lüli. Tekstis on neid tähistatud traditsiooniliselt noolekesega tähise kohal - suurendaval paremale A ja vähendaval vasakule \bar{A} . Ka mõõteahela vektorskeemis on sobilik kasutada sama põhimõtet, kui võrd siis on kooskõlas koordinaatsüsteemi suunaga.

Kui koostislüli pole sulgevaga rööpne, siis ta mõju sellele kahaneb kaldenurga suurenedes ning kaldlüli väärtus tuleb taandada sulgeva lüli sihile. Mõõteahela koostamisel ja arvutamisel tuleb mõõtme A asemel kasutada tema projektsiooni A' sulgeva lüli sihil. Sõltuvalt nurga valikust on projektsiooni suuruseks $A' = A \cos \alpha$ või $A' = A \sin \alpha$.



Mõõteahela mõõtmete tähised võib asendada üldjuhul tähtedega A_i ning mõõteahela sulgeva lüli A_0 .

Kinnisel kontuuril on mõõtmete summa null arvestades mõjutegurit ξ :

$$\xi_0 A_0 + \xi_1 A_1 + \xi_2 A_2 + \dots + \xi_n A_n = 0$$

ning sulgev lüli kujuneb suurendavate mõõtmete summa ning vähendavate mõõtmete summa vahena

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i,$$

kus n on mõõteahela liikmete arv ilma sulgeva lülita.

Sulgev lüli saab kõikuda mõõteahela lülide tolerantside T_i summa ulatuses

$$T_0 = \sum_{i=1}^n T_i.$$

Kui suurendavad lülid ahelas on kõik maksimaalse võimaliku väärtusega ja vähendavad lülid samas minimaalsed, kujuneb sulgev lüli suurimaks võimalikuks. Kui suurendavad lülid on minimaalsed ja vähendavad maksimaalsed, saadakse sulgeva lüli minimaalne väärtus. Nende vahe on sulgeva lüli tolerants maksimum-miimumi (nimetatakse ka halvima juhu) meetodil. Äärmuslike väärtuste sellina kokkulangemine on realselt vähe tõenäoline. Tõenäosuslik sulgeva lüli tolerants on enamasti oluliselt väiksem. Halvima juhu meetod tagab täisvahetatavuse, tõenäosuslik - etteantud tõenäosusega osavahetatavuse.

Tolerantsiväljade keskvaartused EM_i on seotud nimimõõtmega ning esinevad kui vektor nimimõõtme otsas. Nimimõõde koos keskhälbega annab mõõtme tegeliku keskmise väärtuse.

Tolerantsiväljade keskvaartus omab suunamärki ning koos nimimõõtmega moodustab kinnise kontuuri, siis:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i (A_i + EM_i) + \xi_0 (A_0 + EM_0) = 0$$

Kui võrd nimimõõtmega, sh sulgev lüli, summa arvestades suunamärki on null, siis ka tolerantsiväljade keskvaartuste summa on null:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i EM_i + \xi_0 EM_0 = 0$$

Tolerantsivälja ülemine ES ja alumine EI piirhälve on leitav seostega:

$$ES_i = EM_i + T_i/2;$$

$$EI_i = EM_i - T_i/2.$$

Mõõteahelaid lahendatakse toote konstrueerimisel. Arvutatakse lülide puuduvaid nimiväärtusi, tolerantse ja põhihälbeid. Toote täpsuslikus sünteesis projektarvutuste ajal on ette antud sulgeva lüli parameetrid ning tuleb leida koostislülide sobivad parameetrid. Kontrollarvutustes on olukord vastupidine ning koostislülide parameetrite järgi leitakse sulgeva lüli parameetrid. Projektarvutus on keerulisem, kuna lõpplülile etteantud tolerantse tuleb jagada koostislülide vahel nii, et tulemus summaarselt oleks sobiv. See eeldab vajadusel väärtuste sobitamist ning sügavamaid teadmisi kasutusnõuetest.

Vastavalt joonestamise ja mõõtmestamise reeglitele sulgevat lüli kui teistest olenevat ise väljakujunevat, tööjoonisele ei kanta.

Mõõteahela analüüsi alustatakse vektorskeemi koostamisest. Mõõtmel märgitakse vektoritena üksteisele järgnevalt arvestades suunategurit seni kuni kontuuri sulgumiseni.

Seejärel arvutatakse sulgeva lüli parameetrid.

Mõõteahela arvutamine halvima juhu meetodil *Tolerance calculation based on deterministic model - min-max method* (ka min-max meetod, täisvahetatavuse meetod)

Selle meetodi puhul kasutatakse ainult piirmõõtmel, eeldades, et nende kombinatsioon mõõteahelas on ebasoodsaim - kõik suurendavad lülid on maksimaalsed, kõik vähendavad minimaalsed või vastupidi. Tagatakse täisvahetatavus, mis tähendab mistahes lüli piiranguteta väljavahetamise võimalust mistahes kohas juhusliku tolerantsi piires valmistatud samase lüliga. Sobitamist ei vajata.

Kontrollarvutuste puhul on vaba lüli leitav ülaltoodud valemitega.

Projektülesande juhul on antud vabalüli mõõtmel tolerants T_0 ja tolerantseivälja keskvaartus EM_0 .

Järgmisena tuleb jagada tolerantse ülejäänud liikmete vahel. Seda võib teha jagades summaarse tolerantsi võrdsele (**võrdtolerantside meetod**, *equivalent tolerance method*) ahelaliikmete vahel, siis $T_i = T_0 / n$,

kus i on koostislülide arv ilma sulgeva lülita ja n on i maksimaalne väärtus. Tolerants tuleb valida lähedaseim standardväärtus. Meetod sobib lähedase suurusega koostislülide korral kuid on ebasobiv mõõtemete suure erinevuse korral kui võrd kõik lülid saavad samaväärtusega tolerantsi.

Võrdtäpsuse meetod (*equivalent standard tolerance grade method*) seisneb koostislülide võrdse täpsustaseme otsimises. Standardtolerants avaldub seosega:

$$T_i = i_i a_i,$$

kus i_i on nimimõõtmel sõltuv tolerantseivähik ja a_i on täpsustegur. Seega

$$T_0 = \sum_{i=1}^n i_i \cdot a_i$$

Ühe tolerantseivähiku piires $a_1 = a_2 = \dots = a_n$, siis

$$a = T_0 / \sum_{i=1}^n i_i$$

Tolerantsivähik on arvutatav valemiga

$$i_i = 0,45 \sqrt[3]{A_i} + 0,001 A_i$$

Leitud a alusel saab leida standardse IT järgu (nt kui on saadud $a=56$, siis tuleb teha valik IT9 = 40 μ m ja IT10 = 64 μ m vahel). Edasi saadakse IT järgu ning nimimõõtmel järgi standardne tolerantse T_i igale mõõteahela lülile, kusjuures tolerantseivähiku summa peab andma kokku ligilähedaselt sulgeva lüli tolerantse. Suure erinevuse korral tuleb valitud andmeid veidi korrigeerida.

Veel tuleb määrata tolerantseiväljade keskhälbed nii, et nende summad annaksid sulgeva lüli keskhälbe. Soovitav on ette anda koostislülide keskhälvete rakendamise põhimõte - avadele valida H so $EM = +T/2$ ning võllidele h so $EM = -T/2$ ja ülejäänutele j_s so $EM=0$.

Kui mõne koostislüli tolerantse on ette antud ja seda muuta ei saa tuleb see maha lahutada sulgeva lüli tolerantseist.

$$T'_0 = T_0 - T_{\text{teada}}$$

Ülejäänud osa T'_0 tuleb jaotada võrdtäpsuse moodusel ülejäänud koostislülide vahel, kusjuures

$$a = T'_0 / \sum_{j=1}^m i_j$$

kus j on ilma tolerantseivähiketa lülide arv.

Arvutuste kontrollimiseks tuleb liita suurendavad lülid maksimaalsena ning sellest summast lahutada vähendavad mõõtmel minimaalsetena. Vahe peab andma sulgeva lüli maksimaalse väärtusele lähedase (või võrdse) tulemuse.

Arvutus on sobilik läbi viia tabeli abil.

Antud meetod on arvutuslikult lihtsaim, kuid ainult piirmõõtmel koosneva ahela esinemise tõenäosus on väga väike võrreldes juhuslike mõõtmeltega praktilise ahelaga. Saadavad täpsused kujunevad asjatult suurteks.

Lüli	A_i	ξ_i	i_i	IT	T_i	EM valem	EM_i	A_{EI}^{ES}
A_1								
....								
A_n								
Summa			Σ		Σ			A_{0MAX}

Mõõteahela arvutamine tõenäosusmeetodil *Tolerance calculation based on stochastic model*

Tegelikud mõõtmised on juhuslikud suurused ja nende ahel annab summeerudes mingeid tõenäoseid keskmisi summasid. Ahela koostislüli nimiväärtus ja keskhälve pole juhuslikud suurused ning eelnevad seosed nende osas ei muutu. Tolerantsi tegelik väärtus on juhuslik suurus, millel on dispersioon. Summa dispersioon on juhuslike suuruste dispersioonide summa ja tolerantsi ruut on võrdeline tegelike mõõtmete dispersiooniga.

Sulgeva lüli tõenäosuslik tolerants:

$$T_{0,p} = t \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 T_i^2}$$

, kus λ on suhteline standardhälve, normaaljaotuse korral 1/3, ristkülikjaotuse korral 0,577, kolmnurkse jaotuse korral 0,408 ning t tegur, mis sõltub tulemuse tõenäosusest (praagi protsendist).

Tõenäosus %	99,99	99,95	99,9	99,73	99,5	99,0	98,0	97,0	95,5	95,0	90,0	68,0
t	3,89	3,48	3,29	3,00	2,81	2,57	2,32	2,17	2,0	1,96	1,65	1,00

Praktikas sagedamini esineva normaaljaotusseaduse ja $P = 99,97\%$ korral seos lihtsustub ning valemiks kujuneb:

$$T_{0,p} = \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2}$$

Võrdsete tolerantside meetodil on tolerantsi keskmise väärtuse leidmiseks valemiks:

$$T_{ip} = T_{0p} / \sqrt{n},$$

Võrdtäpsuse meetodil tõenäosuslik keskmine täpsusteguri arvutusvalem on:

$$a_p = T_0 / \sqrt{\sum_{i=1}^n i_i^2}$$

Arvutus on sobilik läbi viia tabeli abil.

Lüli	A_i	ξ_i	i_i	i_i^2	IT	T_i	T_i^2	EM valem	EM_i	A_{EI}^{ES}
A_1										
....										
A_n										
Summa				Σ			Σ			

Kui mõne koostislüli tolerants on ette antud ja seda muuta ei saa tuleb see maha lahutada sulgeva lüli tolerantsist:

$$T'_{0,p} = \sqrt{T_{0,p}^2 - T_{teada}^2}$$

Ülejäänud osa T'_0 tuleb jaotada võrdtäpsuse moodusel ülejäänud koostislülid vahel,

$$a_p = T'_{0,p} / \sqrt{\sum_{j=1}^m i_j^2}$$

, kus j on ilma tolerantsideta lülid arv.

Võrdse mõju meetod (*equivalent influence method*) seisneb koostislülid tolerantsidele võrdse mõjutaseme otsimises arvestades kogu toodet. Mõju võib olla väljendatud näiteks optimaalse hinnaga, st mõõtme tolerantsid on lülid saavutatud nii, et nende hinnatase oleks sama (töötlemine, koostamine, remontimine). Seega:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n Q_i T_i$$

, kus Q_i on tundlikkuskoeffitsient. Valitakse $Q_1 T_1 = Q_2 T_2 = \dots = Q_n T_n$.

Optimeerimismeetod (*optimisation method*) seisneb koostislülid tolerantsidele optimaalse taseme otsimises arvestades kogu toodet. Aluseks võib olla optimaalne kvaliteet või optimaalne toote hind. Vajalik on viia läbi suuri uurimistöid konkreetseid tingimusi arvestades.

Tolerantside analüüs/süntees ja mõõteahelate arvutamine arvuti abil

Arvuti kasutamine lihtsustab rutiinset arvutustööd eriti toote arenduse staadiumis, kus on vajalik leida mitmeid sobivaid variante ja kontrollida tulemuste sobivust. Loodud on mitmeid programme mõõteahelate arvutamiseks.

Konstruktoril on vajalik siiski tunnetada ka toodet sügavuti, seetõttu on oluline teada ka ahelate arvutust käsitsi. Vajadusel peab olema oskus koostada konkreetsele objektile ise arvutusprogramm, mida on lihtne teha Excelis või Basic formaadis.

19 GEOMEETRILISTE TOLERANTSIDE RAKENDAMINE JA INTEPRETEERIMINE

Konstruktor kujundab iga detaili ideaalse kuju ja piirid rakendades komplektset protsessi, mis hõlmab loovust, kogemust ja teadmisi ala kohta. Lisaks konstruktor määratleb tootmisviisi ning kvaliteedi hindamise komponendid. Kui aluseks olev joonis on vigane, siis ei ole võimalik seda toote tootmisel rakendada.

Tootmist lihtsustavad ümbriku nõue ja maksimaalse materjali tingimus.

Tolerantside ja hälvete rakendamisel tuleb leida vastus järgmistele küsimustele:

- mis on mõõtme funktsioon;
- kas mõõtme üldtolereerimine on piisav, kui mitte, milliseid samme tuleb astuda;
- millist geomeetrilist hälvet on vaja limiteerida, kas hälve on otsene või tulenev teisest;
- mis on lähteks, kas on reaalne pind või üleviidud pind;
- milline on tolerantsi väli, silindriline, joon vm;
- kuidas on tolerantsitsoon määratletud, lähtega, piirangutega vm;
- milliseid ekstreemseid geomeetrilisi hälbeid võib omadus omada. Paine, mitteristseis, konstantne paksus, elliptilisus, maksimaalne materjali tingimus;
- kas mõni tolerants on ülemuslik, kas rakendatav on ümbriku tingimus;
- sobiv on joonistada tolerantside ja hälvete skeem.

Geomeetriliste omaduste tolereerimine

Tehniliste kaupade kvaliteedi ja tootmise kvaliteedi tagamiseks tuleb limiteerida geomeetrilisi omadusi. Geomeetrilised hälbed on põhjustatud suuresti töötlemisprotsessist.

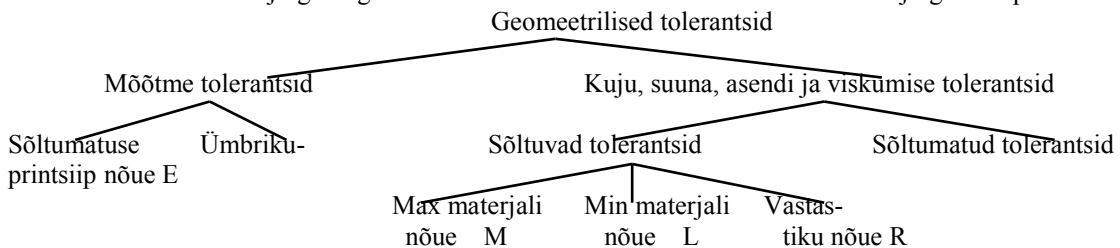
Geomeetrilisi hälbeid on reeglina käsitletud sõltumatutena.

Mõõtmisel kontrollitakse reaalselt pinda, kuid mitte nominaalpinda.

On vajalik määratleda lähted, mis reaalses olukorras kujunevad sageli üleviidud lähteks (telje asemel mingi külgpind). Osasid hälbeid on sobivam kujutada teiste hälvete kompleksina (silindrilisus koosneb ümarusest, sirgjoonelisusest ja paralleelsusest).

Tolereerimise printsiibid

ISO 8015 järgi on põhiprintsiibiks hälvete sõltumatu käsitlemine või paari moodustavatel detailidele ümbriku nõude rakendamine. ISO 1101 järgi on geomeetriliste hälvete tolereerimisel rakendatavad järgmised printsiibid.



Lisaks on kasutusel projektsioon tolerants P ISO 1101 alusel või vaba seisukord F vastavalt standardile ISO 10579.

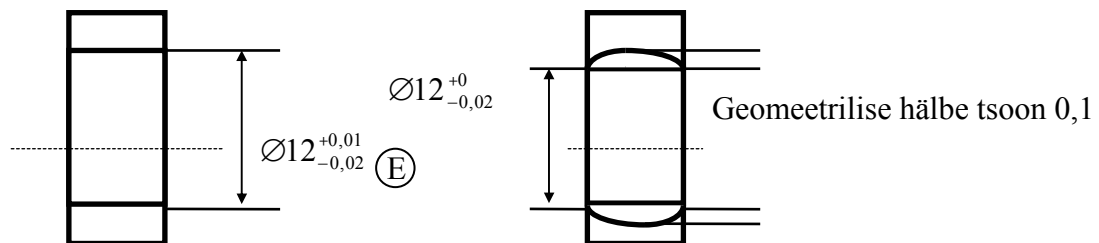
Sõltumatuse printsiip on kasutusel reeglina mõõtmetele, mis ei moodusta paari. St et mõõde peab asetsema tolerantsi piirides.

Ümbriku nõue on rakendatav paari kohta ning näitab, et tegelik mõõde ei tohi ületada ideaalset ümbrist maksimaalse materjali piirides kogu paari haarde ulatuses.

Joonisel tähendab ümbriku nõue, et mõõtme tolerantsi tuleb vähendada kujuhälbe võrra.

a) joonis

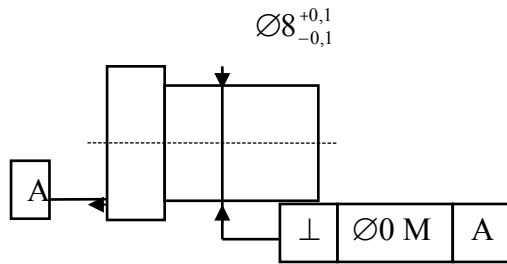
b) võimalik tegelik detail



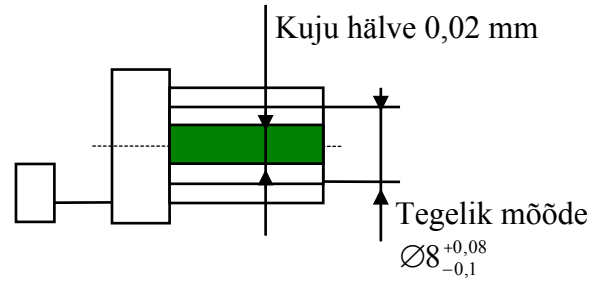
Ümbriku nõue

Maksimaalse materjali nõue on sobiv silindrilistele ja prismaatilistele vormidele, mis omavad sümmeetrilist telge või tasapinda. Maksimaalse materjali nõue tähendab, et mõõde ei tohi ületada mitte mingil juhul piirväärtust.

a) joonis

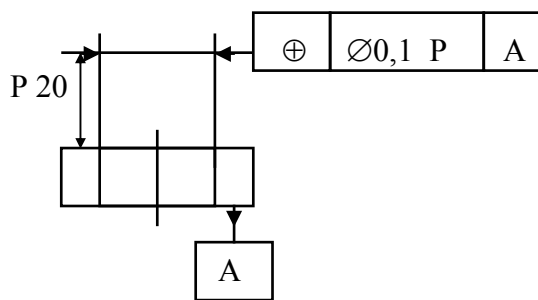


b) võimalik tegelik mõõde



M tingimus on kasutatav asendi hälbe \oplus ja samatelgsusele.

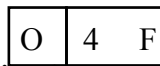
Tolerantsi projektsioon tsoon P võimaldab geomeetriselised hälbed kujutada selgelt joonisel. Projektsioon tuuakse paari mõjupinnale. Nt ava ristseisu nõue viiakse pinnalt teatud kaugusele.



Ristseis telje asendi hälvena $\varnothing 0,1$ ulatub pinnalt kaugusele 20 mm

Vaba oleku tolerant võimaldab tolereerida kergelt muutuvaid detaile, nt õhukesesenaalist lehtmetailtoodet, vabas olekus.

Nt tähendab ümaruse hälvet 4 mm vabas olekus.



Mõõtmed joonisel

Kõik andmed toote valmistamiseks peavad olema tööjoonisel. Mistahes element joonisel, nt tasapind, silinderpind, paralleelpinnad, õlgmik, keere, soon, prifiil jne, mõõtmestatakse reeglina ühekordselt. Liigsed mõõtmed pole kohased. Mõõtmed asetatakse vaatele või lõikele, mis kõige selgemalt avavad elemendi olemuse.

Standardi ISO 129:1985 liigitab mõõtmeid joonisel talituslikeks (*functional dimension*), talitusvabadeks (*non-functional*) ja abimõõtmeks (*auxiliary*). Talituslikud mõõtmed on olulised toote eesmärgikohaseks toimimiseks. Talitusvabad pole funktsioneerimise seisukohalt vajalikud, kuid aitavad nt tehnoloogiat rakendada (nt keermestatud ava üldpikkus). Abimõõtmed on antud ainult informatsiooniks, teatmemõõtmelena ning antakse ilma tolerantsideta. Mõõtmed on kogu joonise ulatuses smades ühikutes, peamiselt mm-tes ja neid ei kirjutata joonisele. Kui on olemas erinevaid ühikuid tuleb mittepeamisele lisada mõõtühik.

Mõõtarvud kirjutatakse:

- paralleelselt mõõtejoonega nii, et oleks loetav alt üles või paremalt vaadates;
- paralleelselt joonise allservaga ning siis soovitatavalt mõõtejoone keskel.

Joonisel tuleb kinni pidada mõõtkavast.

Joonisel ei tohi olla kinniseid mõõtahelaid st üks mõõtmetest tuleb jätta vabaks.

Valmistus- või kontrollprotseduure ei tule joonisel ette näha, või ainult siis, kui see on vältimatu funktsionaalsuse või vahetatavuse kindlustamiseks. Peamiseks põhjuseks on võimalike tehnoloogiate suur mitmekesisus. Sama toode võidakse teha alguses universaalpinkidel, hiljem seerias automaatpinkides.

Toote tehnoloogilises määratakse suuresti talituslike mõõtmete lähtepindade ja tehnoloogiliste lähtepindade valikuga ja mõõtmete paigutamise ja joonisel.

Mõõtmestamine on tehnoloogiliselt sobivaim, kui konstruktsioonilised ja tehnoloogilised lähted kattuvad, kui mõõde on tagatav häälestatud pingioperatsiooniga, lihtsalt kontrollitav, ratsionaalses järjestuses töödeldav. Nt allesjäävat osa on lihtsam mõõta kui mahatöödeldud osa.

Oluline on lahti mõtestada avade vahelised kaugused (erinev põhimõte, kui kasutatakse kontrollimiseks kaliibreid, universaal mõõteriistu või koordinaat mõõtmeid).

Arvestada tuleb tootmisprotsessis esinevat mõõteriista muutust (nt kulumine).

Masinaosad toimivad koostöös. Osade kokkusobivus ja koostatavus sõltub liiteelementide nimimõõtmete, mõõte- ja geomeetria hälvete ning pinnakareduse koostoimimisest.

Nimimõõtmed

Koostude tehniliste lahenduste väljatöötamisel tekivad esmalt iseloomulikud nimimõõtmed, so mõõtmed, mis määravad elemendi geomeetria üldistes joontes ja mille juurde seejärel hakatakse arvestama hälbeid. Need mõõtmed pannakse paika enamasti ruumilise ettekujutuse tulemusena. CAD kasutamisel on koostatav joonis täpne ning mõõtmele vastab ka mõõtarv.

Visuaalselt kontrollitav on kõige paremini mõõtkava 1:1. 3D stiili kasutamise võimalusel tuleb modelleerides ettekeerata olulised vaated ning üks nendest võtta nõ põhivaateks.

Ainult mõned kriitilised mõõtmed kontrollitakse kinemaatiliste, tugevuse, jäikuse, kulumise, töökindluse jm sarnaste arvutustega.

Nimimõõtmed reeglina ei ole arvutatavad, sest sellisel juhul oleks kõik lihtsalt komputiseeritav.

Praktika on näidanud, et alus uuele tootele tekib konstruktori loova töö tulemusena ning sageli järk-järgulise lähendusena ning kasutades varasemaid kogemusi.

Paljude elementide kohta on antud soovitusi, mis on sobilikud enamustel juhtudelkasutamiseks. Nt faasid, ümardusraadiused, laagrite sõlmed, kinnituselemendid jne.

Nimimõõtmed soovitatakse valida joonmõõtmete standardreast.

Tegelikuses konstrueerimisel on tõsiasi, et paljude mõjurite väärtusi ei ole teada kuid nende toimet tuleb aga käsitada koos väga erinevate ja vastuoluliste eksploatatsiooniliste nõuetega. Nt masinatel esinevad erinevad kiirused, sõidustiilid, pinnase, koormatus, löögid, väsimust põhjustavad vibratsioonid ja erinevad koormuste tsüklid. Selliseid asjaolusid annab parandada konstruktori "talendiga" ning vajadusel mudelite katsetamisega.

Seega kujunevad nimimõõtmed joonisele konstruktsiooni arenedes järkjärgulise lähenemise teel, arvestades etteantud parameetreid kui tõenäosuslikke suurusi, arvestades eelmiste toodete väljatöötamise kogemusi ja mitmesuguste normidega ette nähtud kitsendusi. Laialdase automaatprojekteerimisega ja mõõtmete arvutamiseega ei saa enamasti suurt midagi pealehakata.

Mõõtmete normimine

Mõõtmete normeerimisel on eesmärgiks ebaotstarbeka mitmekesisuse piiramine. Eelisravude süsteem standardi ISO 3 järgi objekti parameetrite väärtustena kasutatult võimaldab saavutada üksteisest sõltumatult loodud objektide kooskõla, hoida kokku aega ja vahendeid tootmises ja eksploatatsioonis.

Eelisravude rea aluseks on geomeetiline progressioon, kus kahe järgneva arvu suhe on konstantne.

Standardsed eelisravud moodustavad neli põhirida eelistuste kahanemise järjekorras - R5, R10, R20 ja R40. Lisaread on R80 ja R160. Ümardatult on reategurid vastavalt 1,6; 1,25; 1,12; ja 1,06.

Rea R5 moodustavad arvud 1,00; 1,60; 2,50; 4,00; 6,30 ja 10,00. Eelisarvusid saab koma nihutamiseega piiramatult pikendada.

Monedes rahvusstandardites on joonmõõtmete koostatud oma eeliarvude read, kus arve on mõnevõrra ümardatud ja kohandatud. Joonmõõtmete rida tähistatakse Ra.

Mõõtmeterantside ja geomeetriliste tolerantside ning pinnakareduse omavaheline seos

Mõõtmeterantsid ja geomeetrilised hälbed tuleb reeglina arvesse võtta sõltumatutena.

Kui geomeetriliste hälvete täpne määramine ei ole võimalik või otstarbekas on esitatud soovitus, et:

- normaalseks loetakse geomeetrist täpsust, kui kuju- või asenditolerantsid moodustuvad umbes 60 % mõõtmete tolerantsist;

- normaalsest kõrgemate nõuete korral peaks geomeetrilised hälbed moodustuma ca 40 % mõõtmete tolerantsist; ning

- eriti täpsete detailide korral peaks suhe olema 25 %.

Mõõtmeterantside ja geomeetrilise hälvete ning pinnakareduse vahel on teatud korrelatsioon, kuivõrd mida täpsem on detailsedaväiksemad on ka lubatud pinnakareduse väärtused.

Praktika alusel on antud vastavad soovitusid sõltuvalt detaili nimimõõtmest, tema mõõtmeterantsist ning geomeetriliste hälvete suurusel.

Nt soovitusel Ra suurusel:

Nimimõõde mm	Tolerantsijärk, sj ei ole nõuet geom. hälbele	Geom hälve, normaalne	Geom hälve, täpne
18...12	IT 3 Ra 0,4	0,2	0,1
120...500	IT 3 Ra 0,8	0,4	0,2

20 MÕOTMESTAMISE JA TOLEREERIMISE VEKTORIPÕHINE KÄSITLUS

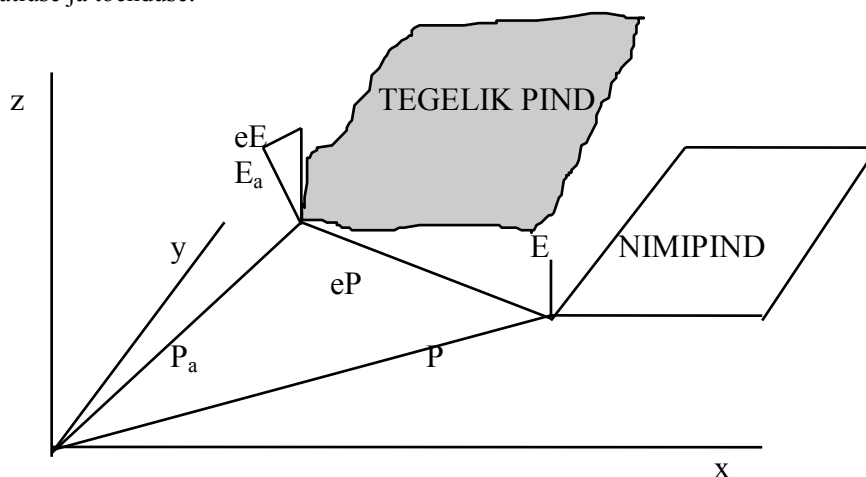
Vektoripõhise käsitluse perspektiivid

Vektoripõhine mõõtmestamine ja tolereerimine (VDT) (*vectorial dimensioning and tolerancing*) on uus konsept, mis esitab detaili geometriat ja tema tolerantse. VDT järgib reegleid, mis on esitatud CMM ja CAD/CAM süsteemi poolt ning traditsioonilist tolereerimist. Lisaks on võimalus korraldada mõõtmine otse tootmisprotsessis ning rakendada vajalikud täpsustused koheselt.

VDT konsept esitati 80-ndate aastate lõpus A.Wirtz poolt. 1996-1998 loodi ISO juures vastav nõuandev kogu ning VDT põhimõtteid on arendatud laialdaselt edasi.

Vektoripõhise käsitluse kontseptsioon

VDT võimaldab täpse eristatavuse asendi, suuna, mõõtme ja kuju elementide vahel ja seega tagab täpse probleemi määratluse ja tõenduse.



Üleviidud elemendi väärtused:

Üleviidud element	Asend		Suund		Mõõde		Kuju	
	Nimi-mõõt	Piirhälve ±	Nimi-mõõt	Piirhälve ±	Nimi-mõõt	Piirhälve ±	Nimipind	Piirhälve ±
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm
	$P_x P_y P_z$	$T_x T_y T_z$	$E_x E_y E_z$	$T_{Ex} T_{Ey} T_{Ez}$	S	T	Tasapind	
Tasapind nr 1

Joon. Pinna vektoriaalne käsitlus.

Nimipind on määratletud nimi asendi vektoriga P ja nimi suuna ühiku vektoriga E . Tegelik pinda arvatud üleviidud pind on määratletud tegeliku asendi vektoriga P_a ja tegeliku suuna ühiku vektoriga E_a .

Silindri vektoriaalsel käsitlusel antakse silindri telje asukoha vektor P , telje suuna vektor E , mis moodustavad tasapinna ning lisaks nimimõõtme (raadiuse kujul) vektor r .

Tegelikud detailid saadakse piirates tasapinda sirgetega ning silindrit tasapindadega.

VDT põhireegliteks on:

- Omadus mida mõõtmestatakse ja tolereeritakse on asendatud geomeetriselt täislik pind (nimipind), mis ei ole tegelik tööpind.
- Tegelik pind on reaalse detaili pinna üleviidud pind, mis on saadud reaalse pinna mõõtmiste ning selle arvutamisel Gaussi meetodi alusel.
- Nimipinna määratletakse koordinaatide süsteemi abil.
- Eraldi ja sõltumatult on antud asendi ja suuna vektorid.
- Võimalik on kasutada telgede ümber pööramist etteantud nurkade võrra.
- Elementide mõõtmed on määratletud skaaladega.
- Joonis ja tabel annavad tööpinna geomeetria andmed.

Joonisel on antud sümbolitega:

- nimielemnt ja seda määratlevad punktid antuna vektoritega;
- reaalse elemendi lähte süsteem.

Tabelis antakse:

- nimiasendi vektorite parameetrid ja piirväärtused neile;
- nimisuuna vektorite parameetrid ja piirväärtused neile;
- vajadusel nimi pöördenuurkad ja piirväärtused neile;

- nimimõõtmed asendavale elemendile ja piirväärtused neile;
- kuju ja pinnakareduse nõuded;
- vajadusel ümbrikunõue, maksimaalse materjali nõue jne.

Asendavad elemendid (*substitute elements*)

Asendav geomeetiline element on geomeetiline element, mis on sama tüüpi kui nimielement (omadus). Asendav element on ideaalne geomeetiline element nt sirgjoon, ring, tasapind, silinder, sfäär, koonus, ringtoru, kesktasapind, vaba kujuga element. Detailil on saadud üleviitud pind, mis on arvatud Gaussi meetodit kasutades punktide kogumit tegelikul pinnal. Sellel juhul kasutatakse põhimõtet, et tegelikult pinnalt hälvete, mis on risti pinnaga, ruutude summa oleks väikseim.

Asendatud elemendid koos:

- nimiasendi vektorite ja hälvetega;
- nimisuuna vektorite ja hälvete;
- nimipöördenurkade ja hälvetega;
- nimimõõtmete ja tolerantsidega;
- kujutolerantsidega

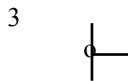
määratlevad detaili geomeetriselised omadused paremini kui klassikaline mõõtmestamine ja tolereerimine ISO1101 alusel.

Asendav element on määratletud alltoodud andmete alusel:

Element	Asendivektor P	Suuna ühikvektor	Mõõt	Minimaalne punktide arv
Tasapind	Punkt tasapinnal	Pinnanormaal	-	3
Sfäär	Keskpunkt	-	Diameeter	4
Silinder	Punkt teljel	Telje suund	Diameeter	5
Koonus	Punkt teljel	Telje suund	Diameeter Koonuse nurk	6
Ringtoru	Keskpunkt	Telje suund	Toru diameeter Ringi diameeter	7
Sirgjoon	Punkt joonel	Telje suund	-	2
Ringjoon	Keskpunkt	Pinnanormaal	Diameeter	3
Pindade paar	Punkt kesktasapinnal	Keskpinna normaal	Pindade vahekaugus	6
Vaba kujuga pind	Valitud punkt	Pinna suund	Pöördenurk	Andme fail

Tegeliku detaili kujuhälbed on võimalik mõõta asendatavast pinnast. Kontrollpunkte peab olema piisavalt palju, et saada ülevaadet tegelikust pinnast. Asendatavad elemendid tuleb joonisel nummerdada ja identifitseerida.

Asendav element tähistatakse kujul



Asendava elemendi punkt tähistatakse kujul

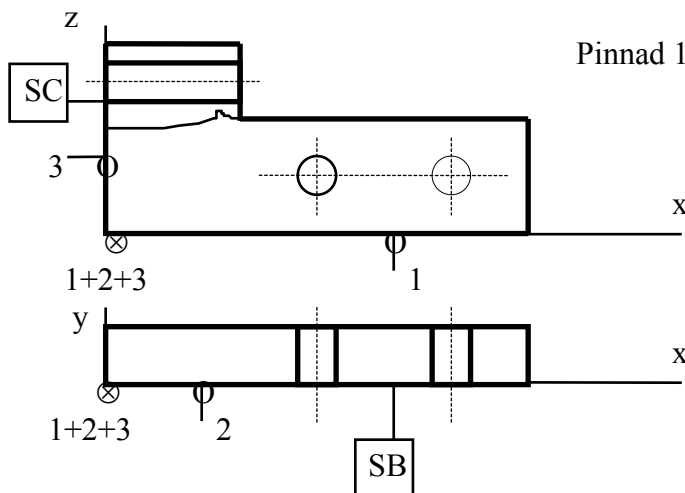


Tähis 1+2 tähistab lõikepunkti. Tähis (1+2)-(3+4) tähistab punktidega eraldatud sirget.

Asendav lähtesüsteem

Asendavaks lähtesüsteemiks on koordinaatsüsteem. Asendav lähtesüsteem võib olla primaarne, sekundaarne või tertsiaalne. Primaarne asendav lähtesüsteem (nt pind koordinaatides x ja y) esitab primaarset lähtesüsteemi, siis sekundaarne (nt pind x ja z) ja tertsiaalne (nt pind y ja z) asendavad vähema tähtsusega lähteid.

Asendavad pinnad tähistatakse SA (või SB; SC jne).



Asendav asukoht

Asukoht on määratletud vektoriga P. Asukoha hälve on tegeliku pinna asukoha vektori ja asendava pinna asukoha vektori vahe.

Asendav suund

Asendav suund on määratletud suuna ühiku vektoriga E.

Asendav pööre

Tähendab pööret ümber koordinaadi O punkti.

Kuju, pinnakareduse ja muud nõuded

Antakse joonisel eraldi nõuetena, kuivõrd on raske siduda vektorkäsitlusega.

Vektoripõhine käsitlus on eriti sobiv arvutiga seotud töötlemisprotsessis ning mõõtmistel.

Näide: Kepsu vektoripõhine käsitlus Vt GPS ptk 20.9.

21 MEHAANILISTE KOOSTUDE STATISTILINE TOLEREERIMINE**Üldist**

Statistilist tolereerimist on käsitletud, mitmes töös ning ka DIN 7186-1. ISO tasemel standardite loomine on alles projektistaadiumis.

Klassikaline tolereerimine võtab aluseks halvima juhu põhimõtte, st hälbeid käsitletakse maksimaalses väärtuses. See tagab elementide täisvahetatavuse.

Tegelikkuses on mõõtmised juhuslikud suurused ning võivad kõikuda tolerantsi piirides tõenäosuse põhimõtete alusel. Juhuslikud suurused on käsitletavad statistiliste teooriate alusel. Statistika kehtib suurte koguste juhul ning võivad esineda mittevastavused nõuetele.

Seda tuleb arvestada, kui on võimalik ohuolukorrad toote kasutamisel.

Statistika põhitõed

Tõenäosuse ning statistika teooria on lai valdkond kuid tolereerimisel piisab mõnede põhitõdede mõistmist. Lisaks on võimalik sageli lihtsustada statistilisi mudeleid.

Füüsikalise süsteemi statistiline suurus või juhuslik suurus X võib mõõtmisel omada erinevaid väärtusi. Võimalike väärtuste kogum x määratleb statistilise jaotuse. Jaotuse saab kirjeldada tõenäosuse tiheduse funktsiooniga g(x), mis omab kahte olulist omadust:

- funktsioon on selline, et tõenäosus, et X mõõtetulemus asub piirkonnas x₀ ja x₀+dx on antud g(x₀)dx; ja

- integral g(x) -st x järgi on ühik, so $\int g(x)dx = 1$.

Eeltoodu alusel keskmine μ_x ja varaints σ_x^2 saab kirjutada

$$\mu_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x g(x) dx$$

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |x - \mu_x|^2 g(x) dx$$

Sageli on jaotus kirjeldatud nende kahe võrrandiga, mis annab keskvaertuse ja jaotumise ulatuse. Differentiaali kasutamine on vajalik tulemuste pideva (katkematu) jaotumise korral ning diskreetse jaotumise korral on eeltoodud valemid kasutatavad kujul:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_i x_i$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_i |x_i - \mu_x|^2$$

kus N on mõõdetavate arvude koguarv ja summa on kõikide x_i osas.

Kui funktsiooni saab kirjutada juhuslike suuruste lineaar kombinatsioonina, siis ka selle funktsiooni keskmine on sama lineaar kombinatsioon muutujate keskmisest.

Seega kui

$$F(y_i) = a_0 + a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_n y_n$$

siis

$$\mu_F = a_0 + a_1 \mu_{y_1} + a_2 \mu_{y_2} + \dots + a_n \mu_{y_n} \text{ ja}$$

$$\sigma_F^2 = a_1^2 \sigma_{y_1}^2 + a_2^2 \sigma_{y_2}^2 + \dots + a_n^2 \sigma_{y_n}^2.$$

Viimane valem on tõene ainult juhul, kui juhuslikud suurused y_i on statistiliselt sõltumatud.

Viimased kaks valemit on kasutatavad osade koostamisel, kus kogumit iseloomustab keskmine ning on võimalik leida nende hajumine.

Näide. Koost koosneb võllist, mis on asetatud silindrilisse avasse. Võll omab läbimõõtu d_s , keskmist μ_s ja standardhälvet σ_s ning ava analoogselt d_h , μ_h ja σ_h . Eeldades, et geomeetriselised hälbed on väikesed, siis lõtk on leitav lineaarse võrrandiga $S = d_h - d_s$.

Keskmine lõtk partiis on analoogselt $\mu_S = \mu_h - \mu_s$.

Eeldades, et ava ja võll on valmistatud erinevates vabrikutes tagamaks korrelatsiooni puudumist, siis on lõtkude jaotumine leitav valemiga

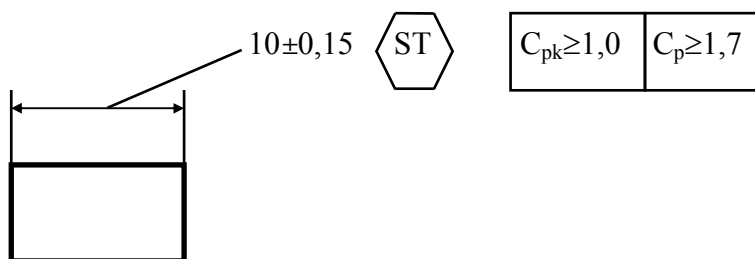
$$\sigma_S = (\sigma_h^2 + \sigma_s^2)^{1/2}$$

Kui diameetrite tulemuste jaotumine oli normaaljaotuse kohane, siis ka lõtk on normaaljaotuse kohane ning on võimalik leida osa, mis võib minna praaki.

Tolerantside tähistamine

Detaili geomeetriselised karakteristikud saab statistiliselt tolereerida, sh kuju, suuna, asukoha ja viskumise hälbed. Statistiline spetsifitseerimine on alati täienduseks halvima juhu tolereerimisele.

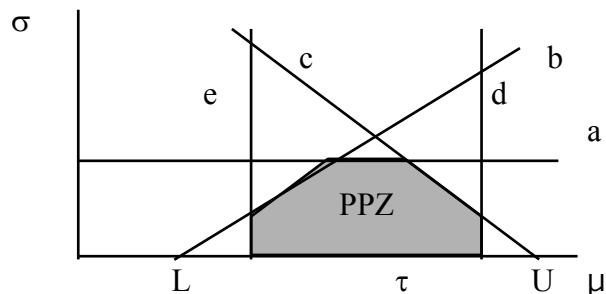
Statistilised tolerantsid tähistatakse tähtetega ST, mis asub heksgonaalis, millele järgneb kast, milles on antud jaotuse andmed (ei ole senini standarditud).



Statistilise taseme andmed on esitatavad mitme meetoditega.

Järgnevas näites on tähised antud nn **Process Capability Indices** (PCI) põhimõtetest ning parameetrid C_{pk} ja C_p on leitavad spetsiaalsete valemitega.

PCI järgi koostatakse graafik μ - σ , mis kirjeldab objekti võimalikku jaotumist teatud eelis piirkonnas PPZ (*populatsioon parameter zone*). Selles eelistsoonis asetsevad μ ; σ väärtused rahuldavad ST tolerantsse.



Suurused L (*low*) ja U (*upper*) on halvima juhu piirväärtused ja τ on soovitud väärtus tolereeritavale karakteristikule. Sageli on L ja U sümmeetrilised τ suhtes, siis $\tau = (U+L)/2$. Eeltoodu ei kehti, kui rakendatakse näiteks maksimaalse materjali tingimust.

Olukorra hindamiseks rakendatakse võime tegureid C_p , C_{pk} , C_c ja C_{pm} , mis on leitavad järgmiste valemite abil.

$$C_p = \frac{U - L}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu}), \text{ kus}$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - L}{3\sigma} \quad \text{ja} \quad C_{pu} = \frac{U - \mu}{3\sigma}$$

$$C_x = \max(C_{el}, C_{cu}), \text{ kus}$$


$$C_{el} = \frac{\tau - \mu}{\tau - L} \quad \text{ja} \quad C_{cu} = \frac{\mu - \tau}{U - \tau}$$

$$C_{pm} = \frac{U - L}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - \tau)^2}}$$

Eeltoodud joonisel on saadud PPZ tsoon võimetegurite abil.

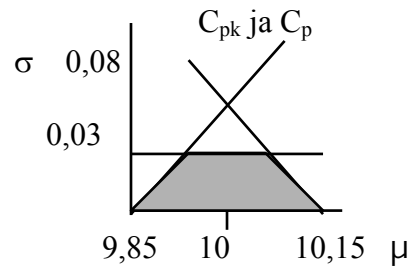
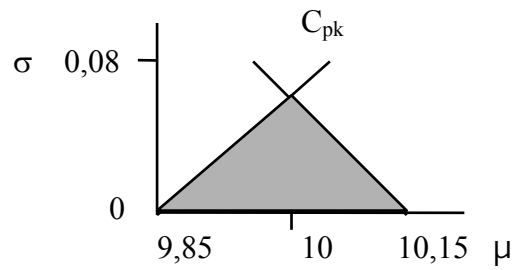
Joon a puhul $\sigma \leq (U-L)/6C_p$; joon b puhul $\sigma \leq (\mu-L)/3C_{pk}$; joon c puhul $\sigma \leq (U-\mu)/3C_{pk}$; joon d puhul $\mu \leq \tau + C_c(U-\tau)$ ja joon e puhul $\mu \geq \tau - C_c(\tau-L)$

Näite andmete

$10 \pm 0,15$ 

$C_{pk} \geq 1,0$	$C_p \geq 1,7$
-------------------	----------------

alusel saab koostada PPZ tsooni



22 GEOMEETRIILISTE HÄLVETE KONTROLLIMINE

Üldist

Seoses tootmise mehaniseerimisega on järjest tõusnud detailide valmistamise täpsuse kontrollimine. Kaasajal on toodetel järjest rangemad nõuded täpsuse suhtes. Piisavalt nõuetekohane detail tagab kogu toote kvaliteetse koostuna toimimise.

Järjest paranevad samuti mõõtmisvõimalused ning mõõtevõimed ning sellega tegeleb nn tööstuslik metroloogia.

Nõutavamad on mõõtmised mida on võimalik kergesti hinnata, kasutada automatiseeritult koos arvutitega, integreerida tootmisprotsessi ja võrku. Selle tulemusel on välja arenenud mõõteriistad elektrilise ja digitaalse väljundiga.

Tööstuses kontrolliks kasutatavad mõõtemetodid saab jagada järgnevalt:

- tavapärane katsetamine (käsimõõtevahendid);
- kujumõõtemasinad;
- koordinaat mõõtemasinad;
- hammasrataste mõõtemasinad;
- automaatsed pikkuse mõõtemasinad.

Kontrollimine võib olla subjektiivne so inimese poolt visuaalne hinnang või mõõtevahenditega sooritatud. Viimane juhul annab täielikuma kinnituse, et nõuded on täidetud, kuivõrd saadakse arvuline tulemus.

Kontrollimisel on vajalik sobiv meetod, sobivad vahendid ning hinnata tuleb mõõtemääramatus.

Mõõtmete ja vahemaade mõõtmine

Lineaarvahemaad on võimalik mõõta lihtsate vahenditega mõõtes otseselt kahe punkti vahemaa.

Lineaarmõõtmiste jaoks on sobivad järgmised mõõteriistad:

Nimetus	Skaalajaotise väärtus	Nimetus	Skaalajaotise väärtus
Nihik	0,05; 0,1 mm	Sügavusnihik	0,05; 0,1 mm
Väliskruvik	0,01 mm	Sisekruvik	0,01 mm
Sügavuskruvik	0,01 mm	Kellindikaator	0,01 mm
Siseindikaator	0,01; 0,002; 0,001 mm	Sügavusindikaator	0,01 mm
Kang-hammasratas mõõtepea	0,001; 0,002 mm	Mitmepöördeline kang-hammasindikaator (mikroindikaator)	0,001; 0,002 mm
Vedru-mõõtepea (mikrokaator)	0,0001...0,0005 mm	Optiline vedru-mõõtepea	0,001...0,005 mm
Kangkruvik	0,002; 0,005 mm	Kanghark	0,002; 0,005 mm
Harkindikaator	0,01 mm	Optimeeter	0,001 mm
Mõõtemikroskoop	0,005; 0,01 mm	Pikkusplaadid	
Mõõtejoonlauad ja mõõdulindid	0,5 mm	Lehtkaliibrid	0,01 mm

Eeltoodud mõõteriistadega on mõõteprotsessis parim mõõtevõime ligikaudu samal tasemel kui minimaalne jaotise väärtus.

Mõõteriistade lühiiseloostus:

a) Nihik (*calliper*), ISO/WD 13385, erinevad variandid võimaldavad kontrollida välismõõtusid, sisemõõtusid, astmeid, sügavusi. Mõõteulatused väga laiad, 0 kuni mitme meetrini, parim mõõtevõime kuni 0,05 mm. Täpsuse taseme parandamist takistab mõõtepindade mitteparalleelsus, mis on põhjustatud lõtkudest liikumise võimaldamiseks. Skaalad võivad olla lineaarsed, kellakujulised või digitaalsed. Mehhaanilistel nihikutel saavutatakse lugemi täpsustamine nooniuse abil. Mõõtmisel tuleb tagada korrektne kontakt mõõteotsikute ja mõõdetava pinna vahel.

b) Kruvik (*micrometer gauges*), ISO 3611, kasutusala on nihikule analoogne, välismõõtmel, sisemõõtmel ja sügavus. Mõõteulatus reeglina 0 kuni 500 mm, skaala jaotis reeglina 0,01 mm. Mõõtejõu ühtluse tagab üleviskemehanism ning konstruktsiooni tõttu on vähene käe temperatuuri mõju. Täpsuse taseme tõusu takistab mõõteotsikute kiivsus (kalle) ühise telje suhtes. Võimalik on rakendada digitaalnäitu. Kruviku kruvi samm $P=0,5$ mm, seega ühe täispöörde $n=1$ korral on kruvi joonpaigutus $L = P \cdot n = 0,5 \cdot 1 = 0,5$ mm. Pöörates kruvi ringskaala ühe jaotise, so $n = 1/50$ võrra, on kruvijoonpaigutus $L = 0,5 / 50 = 0,01$ mm, mis on ka jaotise väärtuseks.

c) Kellindikaatorid (*dial gauges*), ISO/CD 463, on mõeldud eelkõige vahede mõõtmiseks. Töökäik on väike, 0 kuni 10 mm. Võimaldavad mõõta sirgjoonelisust, paralleelsust ja ümarust. Absoluutmõõtmete kontrollimiseks on vajalik täiendavad skaalad ja abiseadmed. Jaotise väärtus reeglina 0,01 mm. Võimalik varustada erinevate otsikutega ja digitaalnäiduga. Mõõdetava pikkuse tegelik väärtus on võrdne seademõõdu ja hälbe algebralise summaga. Mõõtemehanismis on kasutusel täpishammasratasülekanne.

Siseindikaator omab spetsiaalset abikonstruktsiooni silindriliste sisemõõtude kontrollimiseks, sügavusindikaator abipinda ning seinapaksuse indikaator harkset mõõteotsikut.

d) Kellkomparaatorid (*dial comparators*) on analoogsed kellindikaatorile kuid lühikesema käiguulatusega (kuni 1 mm) ja täpsemad (jaotise väärtus kuni 0,002 mm). Mõõtmisel võrreldakse etalonväärtusega.

e) Optimeetrid ja mõõtemikroskoop. Kasutatakse optilisi omadusi mõõtmisel.

e) Nurgamõõtevahendid. Nurka mõõdetakse otseselt nurgamõõtevahendiga (analoogne nihiku põhimõttele) või arvutatakse kasutades mitut lineaarmõõtme mõõtmist, kasutades sageli siinuslaudu ja pikkusplaat.

f) Kaliibrid.

g) Kui on lisaks vajalik mõõta ümbriku nõude täitmist läheb vaja koordinaat mõõtemasinat.

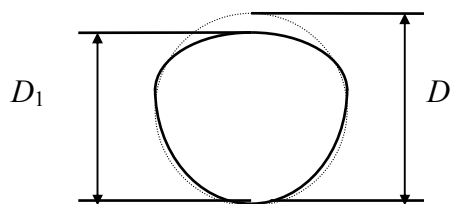
Kujuhälvete mõõtmine

Kasutusel on peamiselt mõõtevahendid, mis võimaldavad skaneerida ümaruse, sirgjoonelisuse, tasapinnalisuse ja silindrilisuse hälvet. Libistatakse (skaneeritakse) otsikut üle pinna ning võrreldakse seda referenspinna. Mõõteotsiku liikumine filtreeritakse, võimendatakse ning esitatakse.

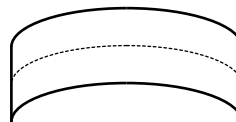
Mõõtepunktid võivad olla ka diskreetselt, katkeva joonena. Mõõtetäpsuse tõustes väheneb mõõteulatus. Vajalik on sobiv mõõtejõud.

Ümaruse kontrollimisel ristlõike ovaalsus on suurima ja väiksema läbimõõdu vahe. Kuna suurim ja väiksem läbimõõt ei tarvitse olla teineteisega risti, siis täpsema mõõtmise korral tuleb pöörata detaili mõõteriista mõõteotsikute vahel ühe täispöörde ulatuses ning määrata suurim ja väiksem läbimõõt. Tsentrite vahele kinnitatud detaili ovaalsuse mõõtmisel tuleb mõõtetulemusest kõrvaldada ekstsentrilisuse mõju. Selleks seatakse tasapinnalise või joonotsikuga mõõtepea madalaimas punktis nulli ning võetakse näidud, pöörates detaili 90°, 180° ja 270° ning ovaalsus määratakse $o = \alpha_{90} + \alpha_{270} - \alpha_{180}$.

Ristlõike kandilisus on piireringjoone läbimõõdu d ja reaalse profiili paralleel-puutepindade suurima kauguse vahe. Kandilisuse kontrollimisel prisma tuleb mõõtmiselaadud suurima ja väikseima näidu vahe A jagada kantide arvust ja prisma nurgast sõltuva teguriga.



Silindrilisuse hindamisel koonilisuse absoluutväärtuseks on ühe ja sama pikilõike otstes mõõdetud läbimõõtude vahe $d_s - d_v$ ning tünnilisuse ja sadulsuse väärtuseks on detaili ühe otsa ja keskvaartuse läbimõõtude suurim vahe. Kõveruse väärtuse määrab pikilõike suurim läbipaine. Kõveruse kontrolliks pööratakse tugelel asuvat detaili mõõteriista sfäärilise mõõteotsiku all 360° võrra. Kõverus on võrdne mõõteriista näitude suurima poolvahega.

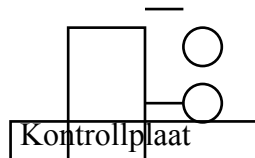
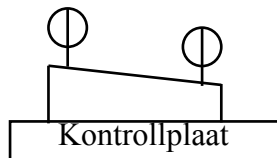


Sirgjoonelisuse hälve on kontrollitava pinna profiili punktide suurim kaugus piirdesirgest.

Tasapinnalisuse hälve on kontrollitava pinna punktide suurim kaugus piirdetasapinnast.

Mõlema kontrollimiseks saab kasutada lekaaljoonlauda valguspilu meetodil, laiapinnalist joonlauda koos lehtkaliibriga, laiapinnalist joonlauda koos mõõteplaatide ja kang-mehaanilise mõõteriistaga, hüdrostaatilist meetodit (ühendatud anumate printsibil), pingutatud traadi ja optilise viseerimise meetodit. Kasutamist leiavad veel nurga hälvete meetod (kontrollimine loodi abil, kollimatsiooni- ja autokolimatsioonimeetod) ja interfereentsimeetod. Lihtsaim meetod on "värvitäpimeetod".

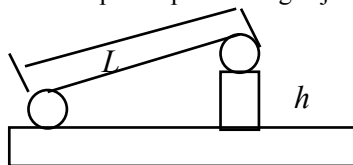
Pindade ja telgede asendi ning viskumise hälvete mitmesuguseid kontrollimise juhte esineb praktikas väga sageli ning eksisteerib mitmeid meetodeid. Vajalik on erilised rakised ning hälbed määratakse sageli kellindikaatorite abil. Kellindikaatorid seatakse etalonide järgi.



Nurkade mõõtmine

Nurkade kontrollimiseks kasutatakse mitmesuguseid vahendeid: nurgikuid, nurgaplaate, koonuskaliibreid, nurgamõõttureid, mehaanilisi ja optilisi jagamispaide, goniomeetreid ja siinuslaudu. Praktikas mõõdetakse detailide

nurki enamasti universaalmõõturitega (nooniusega nurgamõõtur). Siinuslual mõõtmisel asetatakse detail siinuslauale ning horisontaalsus seatakse kellindikaatorite abil rakises. Laua kalle on leitav valemiga $\sin 2\alpha = h/L$, kus h on rulli alla asetatava pikkusplaadi kõrgus ja L tugirullide vahekaugus.



Koordinaatmõõtmised (CMM)

Rakendatakse kolme koordinaadi põhimõtet. Mõõtmised lähtuvad nullpunktist. Võimaliku on erinevad koordinaadistikud - sfäärilised, silindrilised või Cartesia koordinaadistikud.

Mõõteotsik liigub vajalikku punkti ning võetakse lugem.

Lihtne seostada arvutitöötlusega.

Vajalikud järgmised põhiosad:

- mõõteriista baas; - detaili hoidik;
- laagerdus; - ülekanne;
- mõõte ja kontkatisüsteem; - arvuti ning seostamissüsteemid;
- vajadusel, spetsiaalsed abiseadmed, eriliste mõõtmiste võimaldamiseks;
- tarkvara mõõtmisteks; - tarkvara hindamiseks.

Võimalik on erinevad mõõteulatused (20x20x5) mm kuni (20x6x4) m. Tagatud on kõrge täpsustase. Vajalik erilised tunnetusotsikud, et saadakse kindlas kohas mõõtetulemus, kuid erisuunas liikudes.

Vajalik esmane kalibreerimine.

Mõõtemääramatus

Hälvete nõuetekohaseks kontrollimiseks on vajalik teatud suhe tolerantsi ning mõõteprotsessi hälbe vahel. Sageli loeti piisavaks 10 kordne vahe, kuid ei arvestatud statistilist lähenemist.

Mõõtetulemus on tegelikult juhuslik suurus ning selle kujunemist mõjutavad oluliste komponentidena mõõtevahend, keskkond, objekt, mõõtemeetod ning operaator.

Need komponendid summeeritakse ruutudena ruutjuure all, eeldades, et nad on mittekorreleeruvad ning ühesuguse tundlikkuskoeffitsiendiga.

Vastavusotsuse tegemine

Pärast detaili kontrollimist tuleb vastu võtte otsus vastavuse kohta spetsifikatsioonile. Selles tuleb arvestada mõõtemääramatust. Täieliku nõuetekohasuse tagamise nõude korral tuleb piirväärtusi vähendada mõõtemääramatuse võrra.

23 TOOTMISPROTSESSI STATISTILINE KONTROLL

Üldist

Seoses defektide vähendamise nõudega tootmises on suurenenud vajadus kõrgevõimega tootmisprotsesside järele. Selleks on rakendatud kvaliteedi tagamise süsteeme, milles on nõuded protsessi kontrollile. Rakendatud on protsessi võime näitajad C_p ja C_{pk} , mis peaksid olema vähemalt 1,33. Sellel juhul defektide võimalus on 63 ppm maksimaalselt. Võime näitajate juures 2,00 on praagi võimalus 0,002 ppm.

See eeldab kõrge täpsusega kontrollmõõtmisi.

Hajumine

Tootmis- või mõõteprotsessi tulemuseks ei saada kunagi ühesugust tulemust. Igas protsessis on erinevaid mõjureid ning tulemuseks on tulemuste hajumine. Detailide partii valmistamisel sama joonise järgi esineb alati tegelikest mõõtmetest juhuslikke ja süstemaatilisi hälbeid. Juhuslikud põhjused (detaili kõvaduse ja töötlemisvaru ebaühtlus, lõikerežiimi kõikumised jne) viivad süsteemi pink-rakis-tööriist-detail elastsete deformatsioonide erinevusele ja on mõõtmete jaotusseaduse välja kujunemisel enamasti domineerivaks. Lisanduvad töötaja poolt tekitatud juhuslikud häällestuse, rakisesse kinnitamise jm ebatäpsused. Kui ei ole domineerivaid põhjusi, toimib sagedamine normaaljaotusseadus Gaussi kõvera järgi.

Kõvera püstteljel on esinemissagedus.

Horisontaalteljel on tulemuste keskmine \bar{x}

(väljendub kui matemaatiline ootus) ja

hajumist iseloomustavad suurused - standardhälve σ .

Detailimõõtmete suurem kogus kuhjub keskele,

ümber keskväärtust ning esinemissagedus

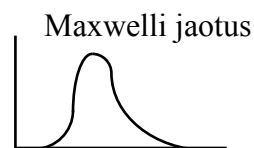
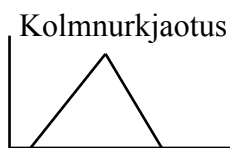
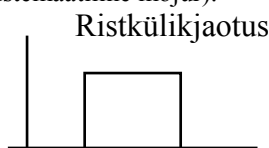
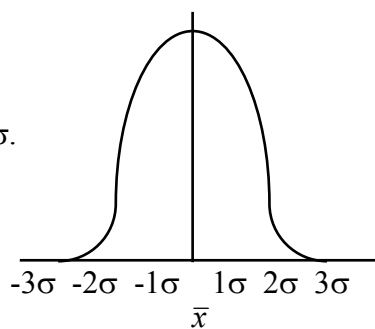
äärmistel väärtustel väheneb järsult.

Kõvera kõrgus on ligikaudu $y_{\max}=0,4/\sigma$.

Kaugusel $\pm\sigma$ keskteljest on kõrgus $y_i=0,24/\sigma$.

Suuremal täpsusel on kõver kitsam ja kõrgem, so σ on väiksem.

Harvemini esineb ristkülikjaotust (tuleneb kasutada kui ei ole teada andmeid jaotumise kohta, sohalvim juhul), kolmnurkjaotust (esineb kaks domineerivat mõjurit võrdsena) või nihutatud tsentriga normaaljaotust (esineb süstemaatiline mõjur).



Jaotumise uurimiseks grupeeritakse saadud mõõtetulemused, mille alusel koostatakse histogramm. Püstteljel on esinemissagedus, horisontaalteljel mõõtevahemikud. See on lähendus jaotusseaduse graafikule. Tolerants kui mõõtmete lubatud muutumise ulatus ja tegelike mõõtmete hajumisulatus püütakse panna kattuma. Alati see ei ole võimalik või pole otstarbekas. Väljajäävad lõigud näitavad praagi olemasolu. Histogrammist võib nähtuda ka süstemaatilise hälbe olemasolu.

Hajumisväljade parameetrite määramine

Normaaljaotuse tihedust iseloomustab matemaatiline ootus $M(x)$, mis näitab hajumisvälja keskväärtust ja dispersioon $D(x)$, mis näitab hajumist keskvälja suhtes. Praktilistes arvutustes kasutatakse dispersiooni asemel keskmist ruuthälvet

$$\sigma = \sqrt{D(x)}$$

Normaaljaotuse korral asetseb intervallis $\pm 1\sigma$ kõikidest mõõdetest 68 %, intervallis $\pm 2\sigma$ kõikidest mõõdetest 95 % ja $\pm 3\sigma$ kõikidest mõõdetest 99,73 %.

Grupeeringu keskväärtus on leitav valemiga

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k x_i n_i / N$$

ning keskmine standardhälve

$$s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i / N}$$

kus x_i on intervalli keskmine mõõde, n_i on detailide arv intervallis ja N on detailide koguarv.

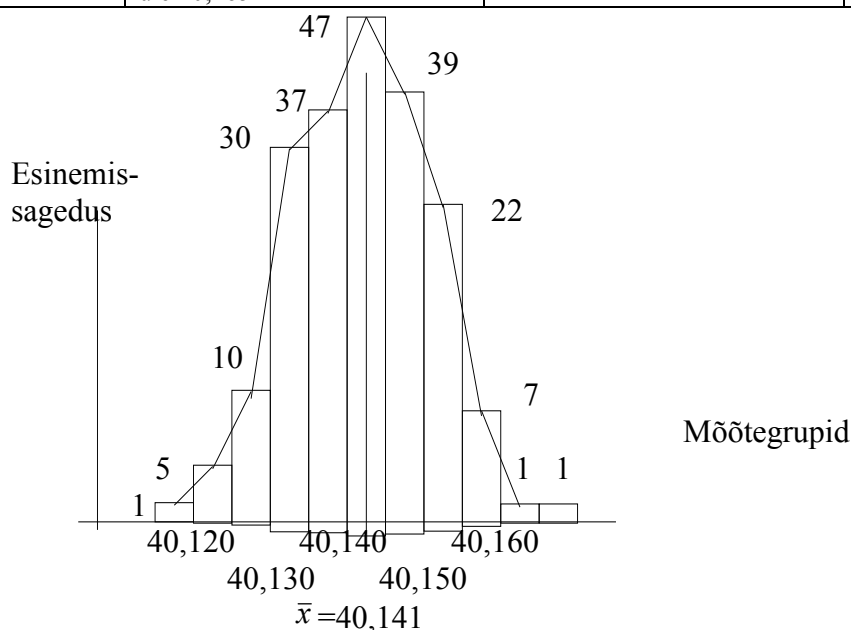
Soovitavalt võetakse intervalle 8...15.

Soovitavalt võetakse intervalle 8...15. Praktiliselt on sobiv tulemused kanda tabelisse.

Näide:

Jrk nr	Vahemik	Vahemiku keskväärtus	Sagedus
--------	---------	----------------------	---------

1	alla 40,120	-	1
2	40,120- 40,124	40,122	5
3	40,125 - 40,129	40,127	10
4	40,130 - 40,134	40,132	30
5	40,135 - 40,139	40,137	37
6	40,140 - 40,144	40,142	47
7	40,145 - 40,149	40,147	39
8	40,150 - 40,154	40,152	22
9	40,155 - 40,159	40,157	7
10	40,160 - 40,164	40,162	1
11	üle 40,165	-	1



Joon. Tulpdiagramm ja mõõtmete praktilise jaotumise kõver
 Arvutatakse aritmeetiline keskmine \bar{x} ja keskmine ruuthälve σ .
 Normaalkõvera kõrgus on leitav valemiga

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Tulemuste analüüsiks tuleb kui hästi sobib jaotusseedus tegelikule jaotumisele. Selleks võib kasutada erinevaid meetodeid kuid üheks levinumaks on χ^2 kriteerium.

Samuti tuleks hinnata mõõdetud tulemuste seas valesti mõõdetud suurused, mis tuleks jaotumisest eraldada. Empiirilise jaotuskõvera kõrvutamisel normaalkõveraaga võib mastaabid määrata järgmist arvestades. Mastaap x -teljel: $\sigma \mu\text{m} = a \text{ mm}$, millest $1 \mu\text{m} = a/\sigma \text{ mm}$ joonisel. Tegur a on vabalt valitav mastaabitegur, mis on ligikaudu võrdne lõigu pikkuse kuuendikuga, millele soovitatakse paigutada hajuvusulatust ($6\sigma \mu\text{m} = 6a \text{ mm}$).

Mastaap y -teljel normaalkõveraale vastavalt eeltoodud valemile. Kui $x=0$, siis $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ ehk $0,4/\sigma \mu\text{m}^{-1}$. Vabalt valitava mastaabiteguri b kohaselt vastab teljel $1/\sigma \mu\text{m}^{-1} = b \text{ mm}$ ja $1 \mu\text{m}^{-1} = b\sigma \text{ mm}$ joonisel.

Siit $y = 0,4/\sigma \mu\text{m}^{-1} = b\sigma 0,4/\sigma \mu\text{m}^{-1}$. Juhul kui soovitakse, et teoreetilise jaotuskõvera suurim ordinaat oleks suuruselt lähedane hajuvusulatusega, siis tuleks valida $0,4b=6a$, millest $b=15a$.

Analoogselt määratakse normaalkõvera teiste ordinaatide pikkused millimeetrites, kasutades normeeritud normaalkõvera andmeid.

Jrk nr	$z=\pm x/\sigma$	$y(z)$	Jrk nr	$z=\pm x/\sigma$	$y(z)$
0	0	0,3989	4	2	0,0540
1	0,5	0,3521	5	2,5	0,0175
2	1	0,2420	6	3	0,0044
3	1,5	0,1295			

Tootmisprotsessi iseloomustus

Tootmisprotsessi tulemusi saab hinnata keskvaartusega \bar{x} ja standardhälbega s . Ülesandeks on hoida keskvaartus võimalikult lähedasena nimiväärtusele ning standardhälve võimalikult väiksena. Tolerantsiväli tuleks võrdsustada $\pm 3\sigma$ väärtustega, mis tagab statistilise tõenäosuse 99,73 %.

Tegelikult (*actual size*) mõõtmeks loetakse konkreetse mõõdu tõelisele väärtusele lähedast suurust. Konkreetse mõõtmise tulemuseks on juhuslik suurus. Juhuslikuks suurusel on ka tegelik hälve - etteantud nimimõõtme ja mõõtetulemuse vahe.

Tootmisprotsess on statistilisena iseloomustatav võimekuse näitajatega C_p ja C_{pk} . Nende näitajate leidmiseks tuleb mõõta suur kogus ühesugust toodet (eelkõige nende olulist parameetrit läbimõõdud, pikkused, nurgad jne) ning leida keskvaartus ja standardhälve.

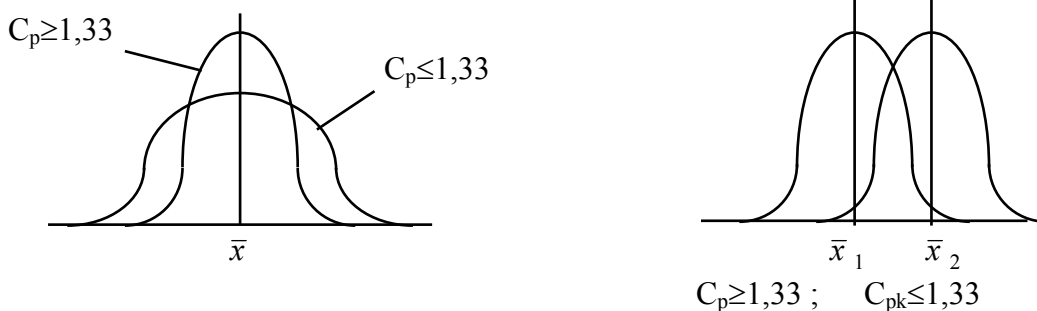
Väärtus C_p iseloomustab protsessi hajuvust seoses tolerantsiga ja C_{pk} võtab täiendavalt arvesse mõõdetud keskmise ja tolerantsi välja keskmise erinevuse.

Näitajate arvutusvalemiteks on:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6s} \geq 1,33$$
$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \right\} \geq 1,33$$

kus USL on ülemine lubatud piirhälve, LSL on alumine lubatud piirhälve, s on standardhälve ja \bar{x} on keskvaartus. Protsess loetakse kontrolli alla olevaks kui mõlemate näitajate väärtused on suuremad kui 1,33. Kui C_p on väiksem 1,33, siis tulemuste hajumine on liialt suur.

Kui C_{pk} on väiksem 1,33, siis eri aegadel mõõdetud detailide gruppide tulemuste väljade keskpunktid on nihkunud üksteise suhtes.



Joon Protsessi võimekuse näitajad

Mõõteprotsessi iseloomus

Mõõteprotsessi võimekuse iseloomustamiseks kasutatakse tegureid C_g ja C_{gk} , mis ei ole aga standardiseeritud ning kasutusel on erinevaid määramisviise.

Teiseks võimaluseks on kasutada mõõtemääramatust. Mõõtemääramatuse aluste ja arvutamise kohta on saavutatud üksmeel ning neid käsitletakse dokumendis "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

Mõõtetulemus M on väljendatav kujul M, U, k , kus U on laiendmääramatus ning k kattetegur.

Tootmisprotsessi kontrollimine mõõtevahendiga

Kui tootmisprotsessi kontrollitakse mõõteriistaga siis mõõtetulemus ei sisalda ainult tootepoolseid väärtusi. Sellele lisanduvad mõõteriistaga seotud ja põhjustatud hälbed.

Nendest põhjustatud hajumine summaarse standardhälbena on leitav valemiga:

$$s_o = \sqrt{s_p^2 + s_m^2}$$

kus s_p on tootmisprotsessist põhjustatud standardhälve ja s_m on mõõteriistadest põhjustatud standardmääramatus.

Protsessi võimekuse näitajad C_p ja C_{pk} sisaldavad tegelikult mõõtmistega seotud hälbeid ning seetõttu on nad tagalikkuses veidi paremad. Praegu ei ole korrektset meetodit kuidas eraldada mõõtmise näitajad tootmisprotsessi näitajatest.

Praktikas on sageli piisavaks kui mõõteriista laiendmääramatus on 20 korda väiksem kui mõõte tolerants. Mõõtmiste määramatuse suurenemisel protsessi võime näitajad vähenevad.

Tegeliku protsessi võime määramine

Tootmisprotsessis on vajalik, et mõõtevead oleks võimalikult väikesed. Arvutiga seotud tootmisprotsessis on võimalik seda saavutada, lisades pidevalt vastava parandi. See parand on aga esitatav piirväärtustena.

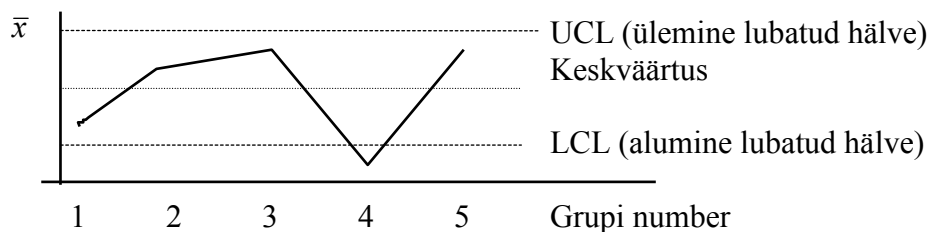
Protsessi statistiline kontroll

Tootmisprotsessi kontrollimiseks on rakendatavad mitmesugused kvaliteeditagamise vahendid - andmevormid-kontrolllehed (*check list*), histogrammid (*histograms*), Pareto diagrammid, hajuvusdiagrammid (*scatter diagrams*), Ishikava kalaluudiagrammid (*fishbone diagrams*) jt.

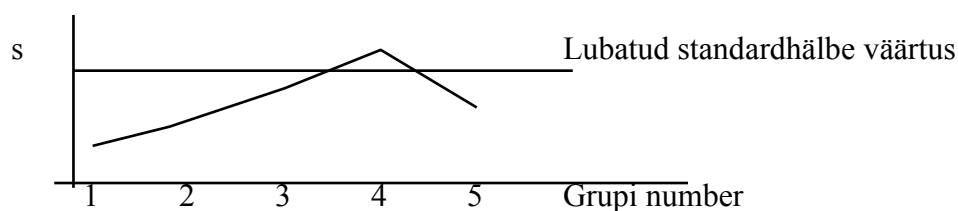
Tootmisprotsessi kontrolliks kasutatakse eelkõige X- ja S-kaarte.

X-kaardile kantakse gruppide keskväärtused ning S-kaartidele standardhälbed.

X-kaart



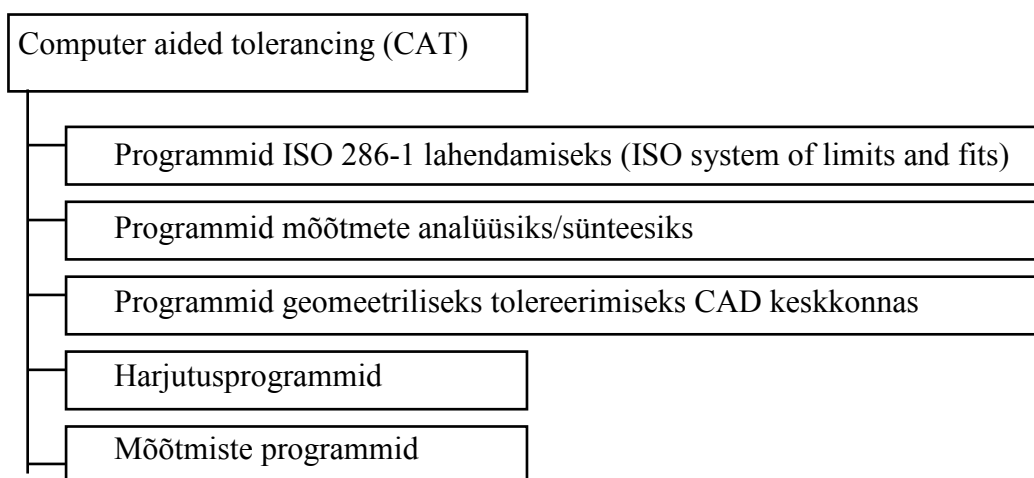
S-kaart



Lubatud väärtused on leitud enne kontrolltsükli algust ning võib vajadusel olla korrigeeritud.

24 ARVUTIABINE TOLEREERIMINE JA TÕENDAMINE

Tolereerimist ja mõõtmestamist on võimalik esitada arvutite abil. Selleks on välja töötatud mitmeid programme. Programmid on võimalik liigitada järgnevalt:



Võimalik leida esitusi sellel alal: <http://adcats.et.byu.edu/home.html> (Brigham Young University in Provo web-site)

ISO piirväärtused ja istud

Arvutit on võimalik rakendada arvutuste lihtsustamiseks ning programmid sisaldavad järgmist:

- tolerantside piirväärtuste leidmiseks järkude ulatuses;
- lõtkude ja pingude arvutamine;
- tolerantsitsoonide graafiline visualiseerimine.

Mõõtmestamise ja mõõtahelate analüüs ja süntees

Arvutused on töömahukad ning võimalused on vigade tekkimiseks. Kasutamiseiga on raskusi kui võrd joonestamine toimub ise CAD süsteemis ning lahenduste programmid on kasutajale raskesti mõistetavad.

Geomeetrilised hälbed CAD keskkonnas

Tolerantside valiku teeb konstruktor ning programmid lihtsustavad joonisele kandmist.

CAD keskkonnas on võimalik:

- mõõtmestamise sümboloid;

- lähte sümboleid;
- geomeetriliste karakteristikute sümboleid;
- materjali tingimuste sümboleid;
- omaduste kontrolli raame.

Uuemad variandid võimaldavad kontrollida tolerantside ja omaduste korralikku seost. Võimaldavad visualiseerida ühendust.

Harjutuspaketid

Levinud on USA's ASME standardite õpetamine.

Üldõpetust saab www.tolerancing.com.

Mõõtmiste tarkvara

Mõõtmiste osas on areng olnud kiire ning võimalik on geomeetriliste omaduste täpne automaatne mõõtmine.

Programmide võimaldavad:

- statistiline protsessi kontroll (kvaliteedi kontrolli kaardid);
- protsessi ja masinate võime analüüs;
- mõõtevahendite kalibreerimine;
- pinnakareduse mõõtmine;
- kuju mõõtmine;
- hammasrataste mõõtmine;
- 1 dimensionaalne mõõtmine;
- 2 dimensionaalne mõõtmine (mõõtemikroskoop);
- 3 dimensionaalne mõõtmine (koordinaat mõõtemasinad).