

MÕÕTMISED JA VEAD

Mõõtmine – see on mõõdetava suuruse arväärtuse ehk mõõtetulemuse kindlakstegemine mõõteriista abil.

Otsene mõõtmine – see on arväärtuse kohene lugemine mõõteriistalt. Näiteks pinge mõõtmine voltmeetriga.

Kaudne mõõtmine – see on mõõtetulemuse leidmine hilisema arvutuskäigu abil. Näiteks toa pindala leidmine, korrutades pikkuse ja laiuse.

Selline eristus on veidi kunstlik, kuna nt kaal näitab massi kilogrammides, kuid mõõdab hoopis eseme kaalu ning „arvutab“ selle „hoo pealt“ massiks. Või, kas mõõdabki kaalu? Ehk hoopis täpse takistustraadi pikenemise tõttu suurenenud takistust? Või pigem voolu ja pinget?

MÕÕTMINE – ÜDINI VIGANE PROTSESS

Universumi alusseadused määravad, et igasugune mõõtmine annab põhimõtteliselt veaga tulemuse.

Miks ?

Sest mõõtmisprotsess mõjutab **ALATI** mõõdetavat protsessi. Lihtne näide – patarei pinge mõõtmisel voltmeetriga tekitame patareile väikese lisakoormuse ja seetõttu on mõõdetav pinge veidi väiksem. Selliseid vigu annab teatud ulatuses kompenseerida. Paljudel juhtudel on mõõteprotsessi mõju mõõdetavale objektile väga tühine – näiteks mõõtes teemantsfääri läbimõõtu mikromeetriga, saame veidi väiksema diameetri, kuna mikromeeter avaldab kokkusuruvat jõudu. Samas on selline mõju väiksem kui ühe aatomi läbimõõt ning seetõttu praktikas ebaoluline.

MÕÕTMINE – ÜDINI VIGANE PROTSESS

Võiksime eelnevast arvata, et mõõtevigu saab kompenseerida ja seetõttu on meil võimalik saavutada absoluutselt täpne mõõtetulemus – peab lihtsalt veel rohkem pingutama ja keerulisemaid masinaid ehitama.

Selline seisukoht valitses teaduses kuni 20. sajandi alguseni.

MÄÄRAMATUSE PRINTSIIP

Formuleeris Werner Heisenberg

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{h}{4\pi}$$

σ_x - osakese asukoha määramatus (viga)

σ_p - osakese impulsi määramatus

$h = 6,62607015 * 10^{-34} J * Hz^{-1}$ -

Plancki konstant

Mida see tähendab ?



MÄÄRAMATUSE PRINTSIIP

Esmapilgul tundub see valem võõrapärane ning mis on „päris maailmal“ pistmist Plancki konstandiga, mis näitab footoni (valguse elementaarosake) energia ja sageduse suhet ?

Määramatuse printsiip näitab, et ka kõige väiksemal osakesel **EI OLE VÕIMALIK** määrata samaaegselt asukohta ning impulssi (massi ja kiiruse korrutis). Süvitsi minnes näitab määramatuse printsiip, et osakese asukoht **EI OLEGI** täpselt määratud ning me ei saagi väita, et „elektron asub siin punktis“. Me saame ainult väita, et „tõenäosusega see ja see asub elektron selles ruumiosas“. Ning elektroni (ja footoni jt mikromaailmaosakeste) puhul ei saagi rääkida „osakesest“ – samaväärselt võime rääkida „lainest“ – millel puudub üheselt määratav asukoht ja eksisteerib ainult **TÕENÄOSUSLIK** asukoht

Makroskoopiliste osakeste „asukoha laialimääritus“ väheneb siiski väga kiiresti – suure molekuli asukoha „määramatus“ on suurusjärgus 1 pikomeeter, mis on <1% aatomi läbimõõdust.

KVANTFÜÜSIKA ÕUDUSED

Tahketest kehadest ja matemaatiliste valemite järgi toimetavast Universumist jäime seega 20. sajandi alguses ilma. Ehkki isegi Einstein oma elu lõpupoole kvantfüüsika vastu võitles (matemaatikaga) ja lootis leida „varjatud parameetreid“ mis elimineeriks kvantfüüsikas fundamentaalse juhuslikkuse, on praeguseks kvantfüüsika katseliselt tõestatud ja „vettpidav“. Seega peame leppima asjaoludega et..

Energia ja mass on sama

Osakeste asukoht ruumis on tõenäosuslik. Apelsin, mis on köögilaual, võib spontaanselt kaduda ja ilmuda välja Jupiteril. Siiski, sellise sündmuse tõenäosus on ÜLIVÄIKE. Kuid mitte NULL !

Millegi mõõtmise mõjutab mõõdetavat ja „neutraalset“ mõõtmist ei eksisteeri.

SUURE MAAILMA PROBLEEMID

Makroskoopiliste kehade mõõtmisel piiravad meid siiski teistsugused probleemid ja kvantfüüsika – kui absoluutne täpsuse piir – ei tule niipea kätte.

Mis on peamised mõõtevigade allikad ?

- **Temperatuur.** Temperatuuri mõju mehhaanilistele mõõtmistele on päris märkimisväärne, kuna enamik materjale omab soojuspaisumist. 20mm diameetriga terasvarras muudab oma läbimõõtu ca 0,24 mikromeetrit kraadi kohta. Talvel „õuest tупpa“ toodud varras – kohe mõõtes saame ca 5 mikromeetrit väiksema tulemuse, mis tundub väike, kuid samas mootoridetailide puhul võib omada märkimisväärset mõju.
- **Temperatuur** omab mõju ka elektrilistele mõõtmistele. Näiteks tavaline 1 kilo-oomine takisti võib „õues“ 0 kraadi juures omada ca 5 oomi väiksemat takistust, kuna reeglina on takistitel tuntav temperatuurisõltuvus

SUURE MAAILMA PROBLEEMID

- **Ebapuhtus.** Mehhaaniliste mõõtmiste korral võib ebapuhtus tekitada märkimisväärseid vigu. Nihiku vahele jäänud juuksekarv tekitab vea ca 0.05mm, kuid mikromeetri pinnal olev sõrmejalg ca 0.002mm.
- **Ebapuhtus** mõjutab ka elektrilisi mõõtmisi – oksüdeerunud testiproovikud võivad tekitada isegi voldini ulatuvaid vigu
- **Mõõteriista kalibreering** - igal mõõteriistal (isegi kaaluvihil) on teatav kasutusaeg, mille käigus mõõtetäpsus püsib lubatud piires. Peale seda aega ei ole mõõtetäpsus enam garanteeritud ning mõõteriist tuleb uuesti kalibreerida. See kehtib nii elektriliste (multimeetrid), mehhaaniliste (nihikud, mikromeetrid, pikkusplaadid) kui ka termomeetrite jne jne kohta. **KÕIK** mõõteseadmed kaotavad ajas täpsust

KALIBREERIMISAHEL

Iga tõsiseltvõetav mõõteseade omab kalibreerimissertifikaati, mis võimaldab tuvastada kalibreerimisahelat.

Oletame, et meil on kaalude valmistamise tehases kontrollimiseks kasutusel kaaluvihid massiga 1kg. 10 erinevas osakonnas. Lihtsustatult

1. Meil on tööetalonid, 1kg, kogus 10tk
2. Mida kontrollitakse tehase laboris tugietaloniga 1kg (mis asub labori puhtas ja turvalises keskkonnas)
3. Mida omakorda kontrollitakse riigi mõõtelaboris (Eestis nt Metrosert), võrreldes seda riigietaloniga
4. Mida omakorda kontrollitakse EU kesklaboris (Saksa metroloogiainstituudis) primaaretaloniga, mis tänapäeval ei ole enam kaaluviht vaid über-keeruline kvantmehhaanikaaparaat

Iga kalibreering omab vastavat tunnistust, punkti 1 ja 2 puhul on tegemist tehasesisese (ISO9001 raames paika pandud) dokumendiga ja järgmiste punktide puhul vastavate laborite dokumentidega. Sertifikaatidel on kehtivusaeg, mille ületamisel ei ole mõõtmised enam usaldusväärsed.

KALIBREERIMISAHEL

Loomulikult on etalonide ja etalonmõõteriistade täpsus igas punktis eelnevast kõrgem. Ja samas on ka hind kõrgem ja kasutustingimused rangemad. Kui tavaline „objektimultimeeter“ maksab 100 eurot, siis sellest 10x täpsem lauapealne mõõteriist 1000 eurot, Metroserdis asuv etalonmõõteriist 10 000 eurot ning kusagil Frankfurdi maa-aluses laboris tiksuv „tsentraalne voltmeeter“ 100 000 eurot ja rohkemgi veel.



TÄPSUS JA KORRATAVUS

Täpsus (accuracy) näitab kui lähedal on mõõtetulemus reaalsele väärtusele
Korratavus (precision) näitab kui lähedal on tulemused teineteisele.



| Kõrge täpsus
| Kõrge korratavus

Madal täpsus
Kõrge korratavus



| Kõrge täpsus
| Madal korratavus

Madal täpsus
Madal korratavus



TÄPSUS JA KORRATAVUS

Kõrge korratavus võib tekitada petliku mulje kõrgest täpsusest.

Kõrge täpsuse korral on reeglina ka korratavus kõrge.

Milline mõõteriist oleks kõrge korratavuse aga madala täpsusega – näiteks joonlaud, millel esimesed 5 sentimeetrit on kogemata giljotiiniga maha lõigatud. Mõõdame plekitükki 10 korda, igakord saame praktiliselt sama, korratava, tulemuse, mis on kahjuks täiesti ebatäpne.

Korratavust on võimalik parandada mõõtetulemuste keskmistamisega

Täpsust on võimalik parandada korrektsiooniteguriga – näiteks teades, et joonlaua esimesed viis sentimeetrit on maha lõigatud, lisame mõõtetulemustele „täpsustuse“ ja lahutame nendest 5 sentimeetrit. Ja tulemus on jälle täpne.

MÕÕTEVEEA KOMPONENDID

Iga mõõteriista viga koosneb üldiselt kahest komponendist

- Juhuslik viga, mis ei sõltu mõõtetulemusest (müra)
- Suhteline viga, mis on tingitud skaala mittelineaarsusest ja sõltub mõõtetulemusest.
- Mõlemad vead omakorda sõltuvad kasutustemperatuurist ning andmelehes on reeglina toodud temperatuurivahemik, milles lubatud täpsus kehtib
- Pikkusmõõteriistade täpsus – näiteks pikk terasniht – sõltub väga palju temperatuurist. Kuid siin tuleb arvestada ka asjaolu, et kui mõõdame terasdetaili terasnihtkuga ning mõlemal on sama temperatuur, siis viga valdavalt kompenseerub. See ei kehti aga näiteks alumiiniumi ja eriti ei kehti see plastdetailide puhul, kuna nende soojuspaisumine on terasest oluliselt kõrgem !

MÕÕTEVEEA KOMPONENDID

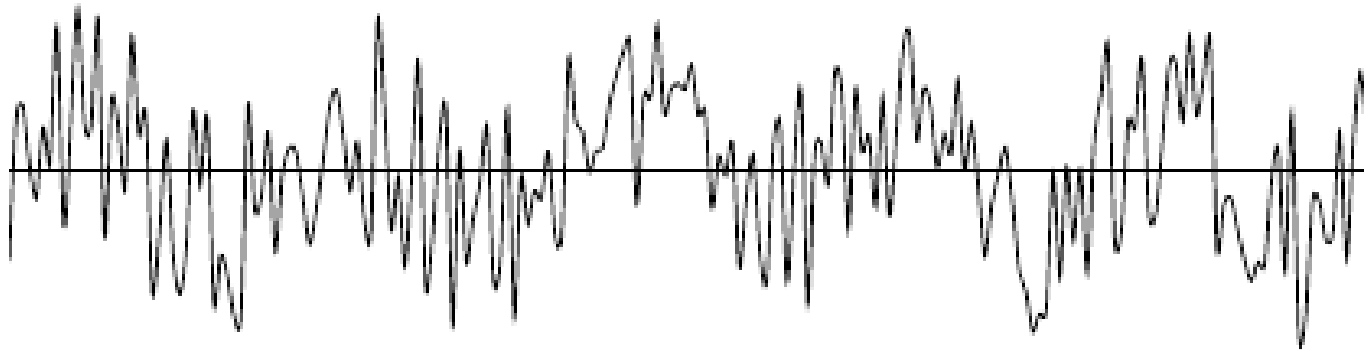
Specifications: Fluke 179 TRMS Digital Multimeter with temperature readings

Specifications		
Voltage DC	Accuracy ¹	$\pm(0.09\% + 2)$
	Max. resolution	0.1 mV
	Maximum	1000 V
Voltage AC	Accuracy ¹	$\pm(1.0\% + 3)$
	Max. resolution	0.1 mV
	Maximum	1000 V
Current DC	Accuracy ¹	$\pm(1.0\% + 3)$
	Max. resolution	0.01 mA
	Maximum	10 A
Current AC	Accuracy ¹	$\pm(1.5\% + 3)$
	Max. resolution	0.01 mA
	Maximum	10 A
Resistance	Accuracy ¹	$\pm(0.9\% + 1)$
	Max. resolution	0.1 Ω
	Maximum	50 M Ω
Capacitance	Accuracy ¹	$\pm(1.2\% + 2)$
	Max. resolution	1 nF
	Maximum	10,000 μ F
Frequency	Accuracy ¹	$\pm(0.1\% + 1)$
	Max. resolution	0.01 Hz
	Maximum	100 kHz
Temperature	Accuracy ¹	$\pm(1.0\% + 10)$
	Max. resolution	0.1 $^{\circ}$ C
	Range	-40 $^{\circ}$ C / 400 $^{\circ}$ C



MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE

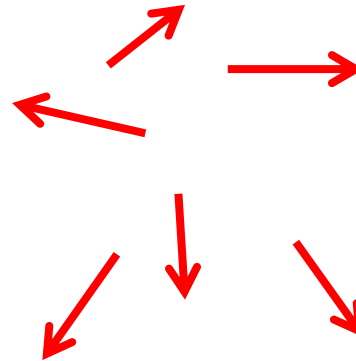
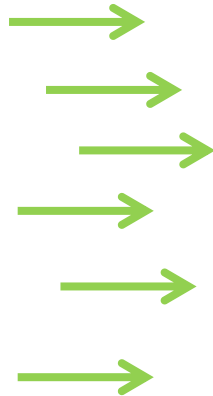
Mürarikkas keskkonnas on tulemuste korratavus madal. Selle parandamiseks saame teha mitu mõõtmist ning tulemused keskmistada. Mõõtetulemuste keskmistamine ning vigade statistika on keerulised teadusharud ja siinkohal piirdume ainult lihtsustatud kirjeldusega.



MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE

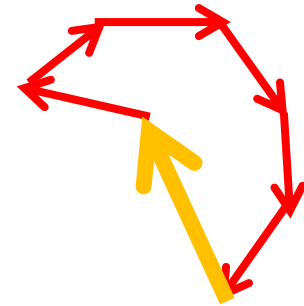
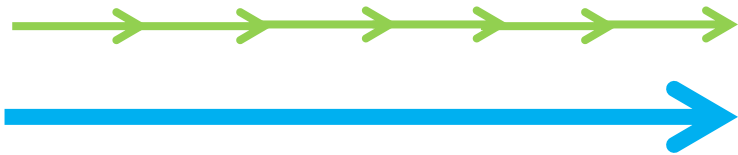
Müra – see on mõõtetulemusest mittesõltuv juhuslik väärtus. Näiteks akupinge mõõtmise ajal taustal särisev keevitusaparaat.

Kuna müra ei sõltu mõõtetulemusest, siis müravektori suund mõõteväärtuste väljas on juhuslik, samas mõõtetulemused on samasuunalised. (Suuna mõiste on tinglik, tegelikult peaks rääkima ortogonaalsetest telgedest ehk siis sellest et iga veavektor asub oma dimensioonis, mis on risti kõikide teiste veadimensioonidega...)



MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE

Teeme 6 mõõtmist ja liidame tulemused kokku



Näeme, et müra osakaal mõõtetulemustes on vähenenud



MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE – LIHTSUSTATUD TEORIA

Mõõdame mingit väärtust ja saame tulemuse mis on õige väärtuse ja vea summa $x+z$. Mõõteväärtus on x ning müra on z siis n -mõõtmise korral lihtsustatud arvutus näitab et

$$X = \frac{\sum x}{n}$$

Aga

$$Z = \frac{\sqrt{(z_1)^2 + (z_2)^2 + (z_3)^2 \dots + (z_n)^2}}{n}$$

Kui teeme 10 mõõtmist ja iga mõõtmise korral on meil „õiget väärtust“ 1 ühik ning „viga“ 1 ühik, siis 10 mõõtmise keskmistamisel on tulemuseks 1 ühik „õiget väärtust“ ning 0,3 ühikut „viga“.

MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE – PRAKTIKA

Plaadimängija helipea väljundsignaal on väga nõrk, ca 1mV.



Selle võimendamisel lisandub signaalile võimendi omamüra – „sahin“. Kuidas seda vähendada ? Üks võimalus on kasutada paralleelseid võimendeid.

MÕÕTETULEMUSTE KESKMISTAMINE – PRAKTIKA

Selle võimendamisel lisandub signaalile võimendi omamüra – „sahin“.

Kuidas seda vähendada ? Üks võimalus on kasutada paralleelseid võimendeid. Kui iga transistor võimendab signaali 10x ja lisab sinna 1 ühiku müra, siis tulemuseks saame 40x võimendust ja ainult $\sqrt{4} = 2$ ühikut müra.

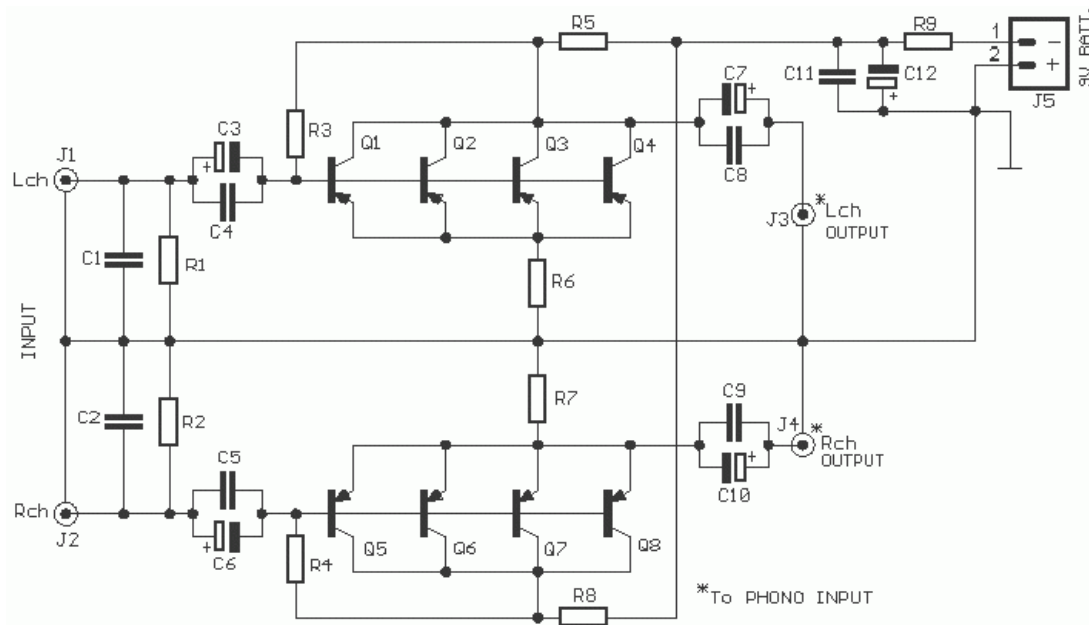


Fig.1--MOVING COIL HEAD PRE-PREAMPLIFIER [1]

5m 7/02

MÕÕTETULEMUSTE VIGA KAUDSETEL MÕÕTMISTEL

Mõõdame mõõdulindiga mahuti ruumala ja mõõtetäpsus on $\pm 1mm$
Küljepikkused ja protsentuaalne viga on vastavalt

$$1000 \pm 1mm \text{ (0.1\%)}$$

$$2000 \pm 1mm \text{ (0.05\%)}$$

$$1500 \pm 1mm \text{ (0.067\%)}$$

Minimaalne maht $999 * 1999 * 1499 = 2993,5$ *liitrit*

Nominaalne maht $1000 * 2000 * 1500 = 3000,0$ *liitrit*

Maksimaalne maht $1001 * 2001 * 1501 = 3006,5$ *liitrit*

Näeme et mahu mõõtmise viga on $3000 \pm 6,5$ *liitrit* ehk **0.22%**

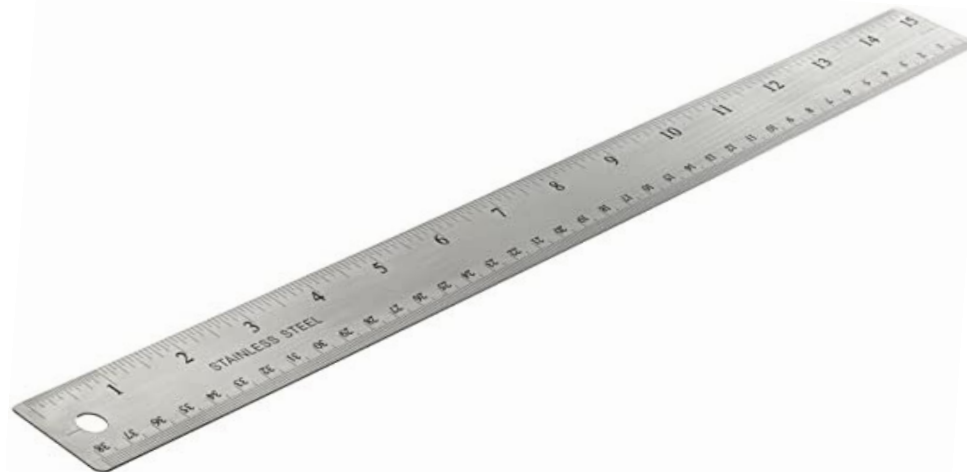
Maksimaalne viga on protsentuaalselt suurem kui eraldi mõõdetud komponentidel. Sellest järeldub, et ka lihtsad mõõtmised käituvad kõhutundest sõltumata üpris keeruliselt ja kõike, mida saab arvutada, tuleks arvutada – mitte arvata.

MEHHAANILISED MÕÕTMISED PRAKTIKAS

Üks levinumaid igapäevaseid mõõtmisi on pikkuse mõõtmine. Kirjeldame allpool levinumaid mõõteriistu täpsuse paranevas järjekorras

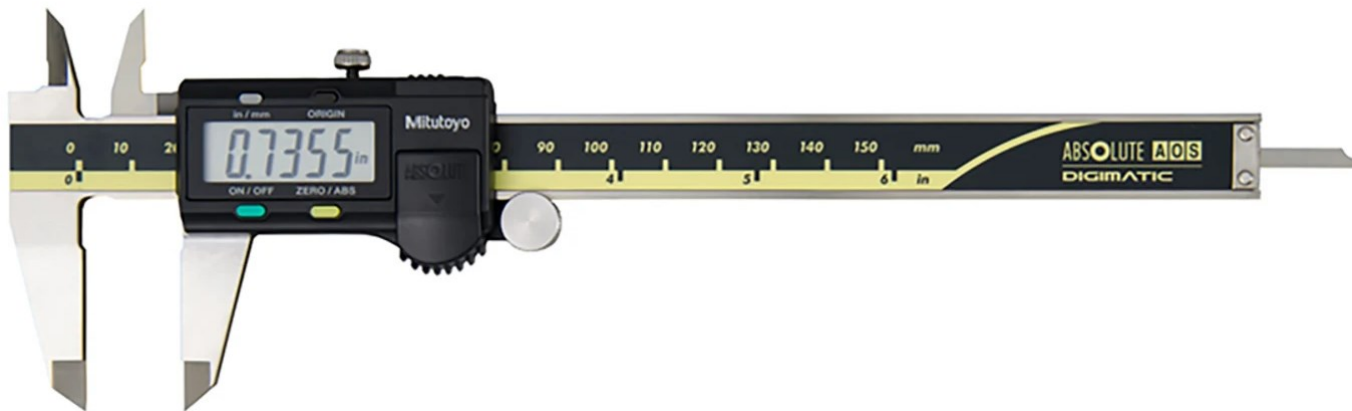
JOONLAUD

- Praktiline täpsus ca 0.5mm
- Kõige täpsem on metalljoonlaud, kõige viletsam on plastikjoonlaud – see jääb alla isegi puitjoonlauale
- Metalljoonlaua soojuspaisumine on sama mis terasdetailidel – mistõttu külmas keskkonnas teraskonstruksiooni mõõtmisel annab korrektsema tulemuse.
- Viga tekib enamasti nullpunkti joondamisel ning nurga all vaatamisest.
- Praktiline mõõteulatus 5mm – 3000mm
- Odav ja töökindel



NIHIK

- Praktiline täpsus ca 0.01mm
- Kaasajal on mõistlik osta digitaalne nihik
- Rämpstootjate nihikud ei ole usaldusväärsed – tuleb eelistada nt Mitutoyot
- Haaratsid peavad olema puhtad ja ilma täketeta
- On olemas kõvasulamitippudega nihikud – juhuks kui on halb komme märkida metalli haaratsitippudega
- Nullpunkti tuleb enne mõõtmist alati kontrollida
- Sisemõõtmise „abihaaratsid“ on ebatäpsed ja realselt ei saa nendega avade sisemõõtu täpselt mõõta
- Kui nihik näitab et patarei on tühi, siis on ka mõõtetulemused kahtlased !
- Nihikut ei tohi hoida karbis suletud haaratsitega – peaks olema ca 1mm pilu
- Õlises keskkonnas peab kasutama õlikindlat nihikut, muidu on tulemused kahtlased
- Nihikut tuleb aegajalt kontrollida, nt pikkusplaadiga
- Mõõtevigaga tekib haaratsite ebatäpsusest sulgemisjõust ja mustusest



MIKROMEETER

- Jaotis 1 μ m, praktiline täpsus ca 0.002mm kuid on olemas ka 0.1 μ m jaotusega mikromeetrid
- Mikromeetri haaratsid on alati kõvasulamplaadidega (veidi teist tooni hall). See tagab pindade sileduse, tækkevabaduse ning mittekulumise. Tuleb arvestada, et kõvasulam on rabe ja hooletu kasutamisega võib kilde lahti murda
- Mikromeetrit ei tohi kunagi hoiustada täiesti suletuna
- Mikromeeter peab olema ruumitemperatuuriga ühtlustunud. Temperatuurimuutus tekitab korpuse ajutist kõverdumist, mistõttu tekivad mõõtevead
- Mikromeetrit hoitakse ainult U-haaratsi allosast, plastikkattest. See vähendab kehatemperatuuri mõju mikromeetri korpusele
- Mikromeetrit tohib mõõtmiseks sulgeda ainult kärrist (ratchet timple). See tagab õige sulgemisjõu (5-10N) ja õiged mõõtetulemused. Ilma kärrita sulgemisel korpus deformeerub ning tekib mõõteveiga
- Alati tuleb kontrollida pindade puhtust ning nullasendit. Samuti ei tohi kasutada tühja patareiga !



MÕÕTEKELL

- Jaotis 1 μ m, praktiline täpsus ca 0.002mm kuid on olemas ka 0.1 μ m jaotusega
- Mõõtekell ei mõõda absoluutväärtust, vaid mõõtevarda nihet
- Mõõtekell on reeglina ette nähtud töötamiseks „õiget pidi“ ning võib tagurpidi asendis anda vale tulemuse. Tuleb vaadata mõõtekella andmelehte
- Ei ole üldiselt kasutatav eraldiseisvana, vaid konkreetses rakenduses – näiteks võlli viskumise mõõtmiseks
- Nagu iga mehhaanilise mõõteriista puhul, on oluline kvaliteetne tootja. Odavad kellad võivad ka täiesti uuena näidata aiateibaid



NULLINDIKAATOR ehk SERVALEIDJA

- Paigaldatakse freespingi tööriistahoidjasse
- Ots liigub nii vasakule-paremale kui ka sügavussuunas
- Indikaatorkell näitab otsa nihet
- Otsakuulikesse diameeter on täpse diameetriga
- Otsakuul liigutatakse detaili serva vastu, kuni osuti näitab nulli. Sellisel juhul on spindli telg täpselt detaili serva kohal
- Ots on kinnitatud keraamilise torukesega, mis piiridest välja liikudes puruneb ja päästab sellega kalli kellamehhanismi. Otsik on vahetatav
- Servaleidja abil on võimalik serv positsioneerida ca 5µm täpsusega
- Tüüpiline servaleidja sureb, kui unustatakse spindlisse ja spindlile antakse nt 1000 pööret. Kellamehhanism lendab sisemiselt tsentrifugaaljõu tõttu puruks



MÕÕTEMASINA INDIKAATOR

- Kasutatakse mõõtemasinate servade ja avade mõõtmiseks.
- Väga õrnad, väga kallid, väga täpsed
- Prooviku kuulikesed on lihvitud rubiinist
- Täpsusklass 1 μ m ja parem



SILE JA TASANE

Pind võib olla sile ja pind võib olla tasane. Kuid need ei ole sünonüümid. Sile pind tähendab kõrvuti asuvate pinnaelementide vähest kõrguserinevust, kuid tasane tähendab, et pinnalemendid asuvad kõik ühel tasapinnal.

Üldlevinud viga – siledat pinda, näiteks klaasiga kaetud töölauda – peetakse ka tasaseks.

Mõõtmiseks kasutatavad aluslauad ei ole alati siledad, kuid peavad olema tasased.

SILE JA TASANE

Mõõteplaat (või rihtplaat, rihtlaud) – kasutatakse pinnatasasuse kontrolliks (värviga) ning mõõteriistade ja mõõteseadistuste alusplaadiks. Tehakse malmist või graniidist. Väga oluline – kui selline plaat asetada lauale, peab see olema toetatud ainult ettenähtud punktides (reeglina 3 punktist). Vastasel juhul paindub plaat oma raskuse tõttu ning kaotab täpsuse. Mõõteplaadi tasasus – ehk viga võrreldes ideaalse tasapinnaga – on suurusjärgus 2..5 mikromeetrit. Ka mõõteplaat kaotab ajaga täpsust, mistõttu vajab aegajalt kontrollimist ja uuesti rihtimist.

Graniidist mõõteplaadi eelis – tükete kõrvale ei teki „küngast“. Malmplaadi eelis – värviga rihtimisel hoiab paremini värvi. Üldiselt on graniitplaat stabiilsem ja ei korrodeeru.

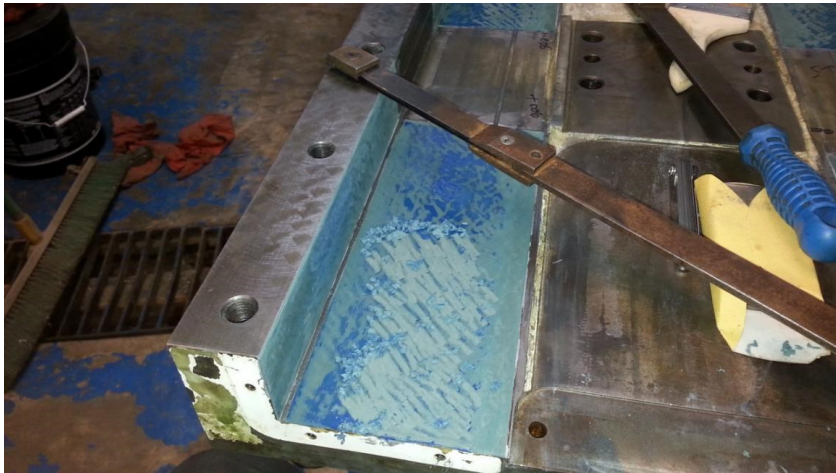
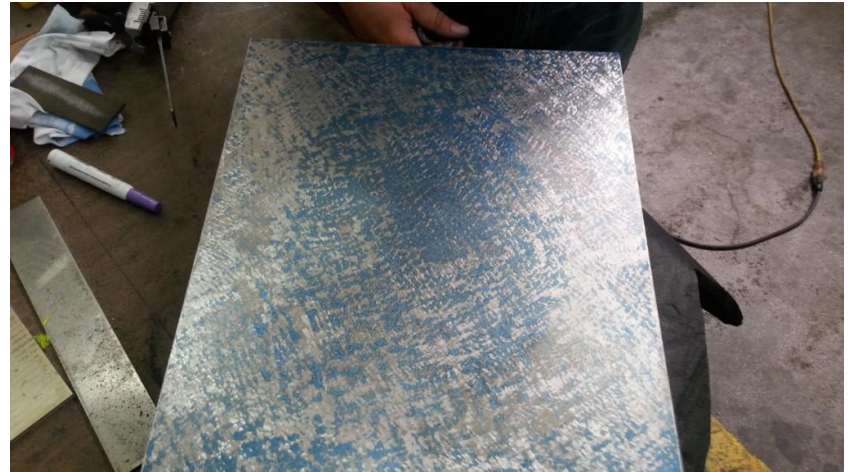


SILE JA TASANE – KUIDAS ?

Rihtplaatide valmistamine on omaette teadus. Malmist plaatide protsess on alljärgnev

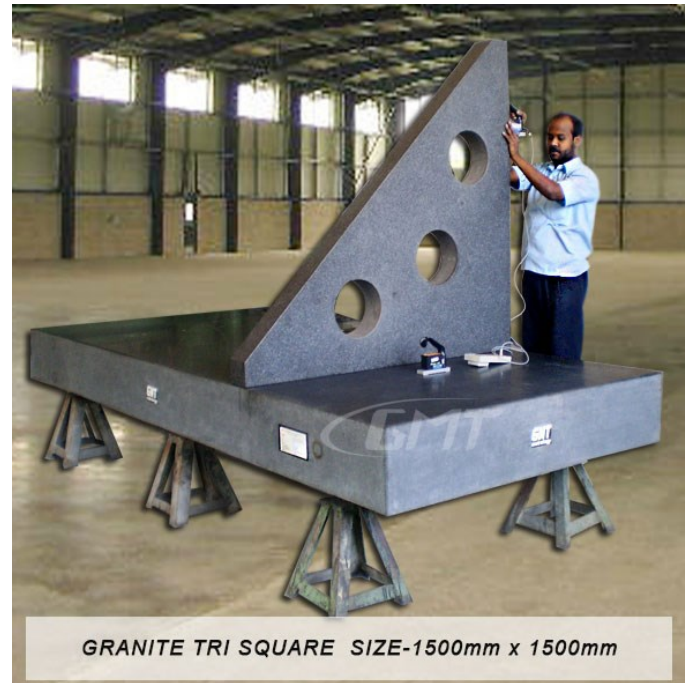
- Plaadi valamine kvaliteetsest malmist
- Termotöötlus
- Laagerdamine (mitu aastat välistingimustes seismist), et vähendada sisepingeid
- Pinnakihi freesimine ja/või hõõveldamine
- Pinnakihi lihvimine lihvpingis
- Ja kõige tähtsam – pinna käsitsi kraapimine peitliga (scraping), kasutades etalonplaati ja värvi. See annab lõpliku tasasuse, mis on piiratud isegi mitte etalonplaadiga, vaid kraapija meisterlikkusega. Nimetatakse ka saaberdamiseks.
- Pikalt kasutusel olnud plaadid kontrollitakse ning vajadusele rihitakse uuesti. Kuna malm aja jooksul siiski „mängib“, võime järeldada et 50 aastat vana rihtplaat on uuest plaadist väärtuslikum
- Graniitplaadi valmistamisel jääb „laagerdamine“ ära – sest materjal on juba sada miljonit aastat maa sees laagerdanud. Samuti kasutatakse esialgseks silumiseks ainult hõõveldamist ning peitliga kraapimise asemel teemantpastaga käsilihvimist
- Lisaks rihtplaatidele kraabitakse käsitsi ka täpsete masinate kontakt- ja juhikpindu. Selle tunneb ära erilisi mustri järgi – mida kahjuks odavtootjad vahel imiteerivad, jättes mulje kvaliteetsest masinaehitusest

SILE JA TASANE – KUIDAS ?



SILE JA TASANE

Koos mõõteplaadiga kasutatakse ka graniit (või malm) kolmnurkasid, astmeplaate, silindreid jt täppiskehasid. Väga oluline nii mõõteplaatide kui abivahendite puhul on kõrge puhtus ja ühtlane temperatuur. Kui puhastame graniitplaadi pinna piiritusega, kaotab plaat mõneks ajaks täpsuse. Miks ?



SILE JA TASANE

Masinate juhtpindade kontrolliks kasutatakse malmist juhtpinnaetalone (camelback)



SILE JA TASANE

Väikeste masinaosade (seibid, rõngad) täpse tasapinna saamiseks kasutatakse lihvplaate. Plaadile asetatakse kvaliteetne märg vesilihvpaber, abrasiiv loomulikult ülevalpool, ning detaili lihvitakse vastu plaati surudes 8-kujuliste liigutustega. Kohe on näha detaili pinnatekstuurst, kus olid kõrgemad ja kus madalamad kohad.

MÕTTEKOHT: Miks me PÕHIMÕTTELISELT ei saa väga siledat pinda treipingist või freespingist, isegi kui pink ja lõikeriistad on väga täpsed ja kvaliteetsed ?



PIKKUSPLAADID

Pikkusplaadid on väga paralleelsete otspindadega ja kalibreeritud pikkusega plaadikesed. Viimasel ajal (tänu digitaalsete nihikute levikule) ei ole enam nii laialt kasutusel, kuid neil on oma koht kaliibrrite koostamisel ning mõõteriistade kontrollimisel.

Enamasti valmistatakse terasest, harvemini kõvasulamist (volframkarbiid) või keraamikast. Keraamilised plaadid on väikese soojuspaisumisega, väga kõvad, stabiilsed ja täpsed ning ühtlasi ka väga kallid.

Vasakpoolsel pildil olev komplekt on täpsusega ca 0.1mikromeetrit ja maksab ca 3000 eurot.

Parempoolsel pildil on üksik keraamiline pikkusplaat pikkusega 200mm, täpsusega 0.25mikromeetrit, soojuspaisumine praktiliselt null ja hind – 4000 eurot tükk.



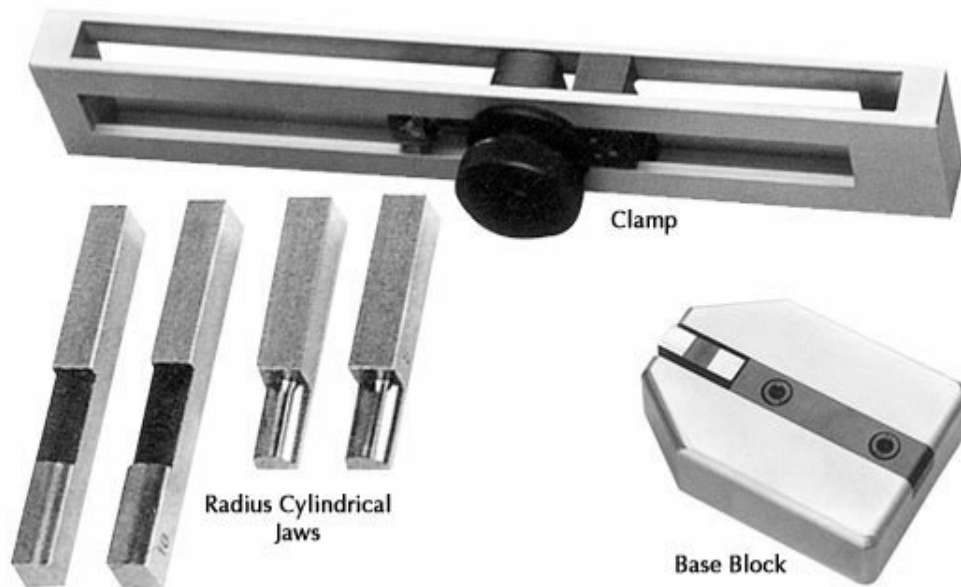
PIKKUSPLAADID

Pikkusplaatidest koostatakse sobilik pikkus omavahelise ühendamise teel. Kui pinnad on puhtad, siis tänu ülimale siledusele ja tasapinnasusele jäävad plaadid otsapidi kinni – aatomitevahelise tõmbejõu tõttu. Plaatide otspind asetatakse nurga alla ning „keeratakse“ kinni. Kui plaadid ei jää kinni, siis on pinnad mustad või defektsed.



PIKKUSPLAADID

Pikkusplaate saab kasutada nihikute ja mikromeetrite kontrollimiseks, vajadusel saab neid paigutada mõõteraami ning koostada sobiliku kaliibri. Kumerate haaratside abil saab sellise kaliibriga kontrollida ka avade sisemõõtu. Puuduseks on muidugi asjaolu, et kontrollimiseks on vaja kahte kaliibrit – ühte, mis peab mahtuma ja teist, mis ei tohi mahtuda (go-nogo süsteem).



TIHVTKALIIBRID

Erinevad komplektid, reeglina sisaldab tihvti mille mõõt on ava nominaalmõõt (nt 1.00mm) ning naabertihvte millest üks on üle ja teine alamõõduline (0.99 ja 1.01mm).

Kasutatakse tootmises avade kontrollimiseks, kiirem ja robustsem kui otsene mõõtmine.



KEERMEEKALIIBRID

Iga keermemõõdu jaoks vaja eraldi kaliibrit. Kontrollitakse sissekeeramise abil – punase triibuga keere on ülemõõduline ja ei tohi sisse minna rohkem kui 0.5 – 1 pööret. Teine, ilma triibuta keere peab omakorda minema täielikult sisse.

Analoogselt töötavad ka väliskeermekaliibrid (parempoolsel pildil).

Kasutatakse tootmisel jooksvaks kontrolliks, aitab leida kulunud keermepuurid või valesti ettepuuritud avad. Väga lihtne ja robustne meetod.



AVADE DIAMEETRI MÕÕTMINE

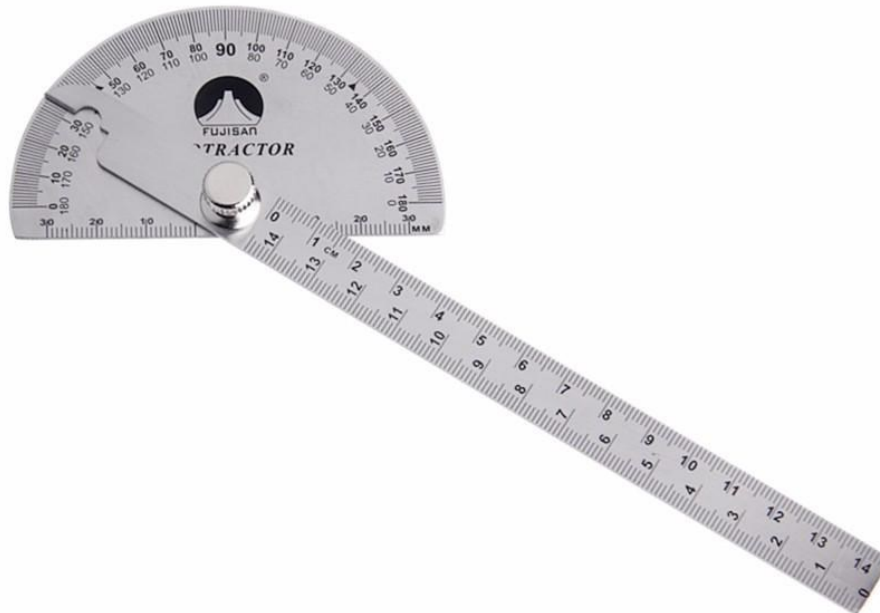
Avade sisediameetri absoluutne mõõtmine on päris tülikas ja kulukas tegevus. Kasutatakse sisemikromeetreid, mis omakorda kalibreeritakse rõngaskaliibri abil. Mõõteriist peab olema ava teljega samas sihis, nurga all hoidmine tekitab vigu. Kolmepunktsüsteem annab kõige täpsema tulemuse, väikeste avade puhul kasutatakse kahepunktisüsteemi.

Mõõteriist katab ainult suhteliselt kitsa diameetrivahemiku, nt 30-40mm, mistõttu neid on vaja mitmeid.



NURKADE MÕÕTMINE

Nurkade ebatäpne mõõtmine toimub nurgamõõturiga.
Praktiline täpsus 0.1 kraadi või viletsam.



NURKADE TÄPNE MÕÕTMINE JA SEADISTAMINE

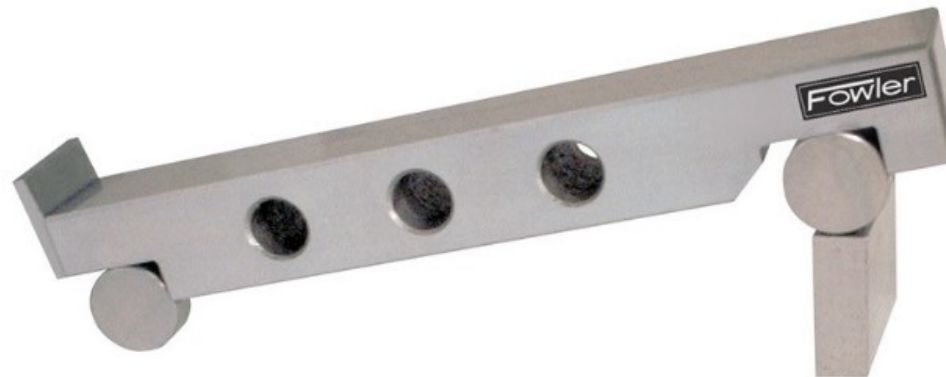
Täpse nurgamõõdu seadistamiseks on vaja siinusjoonlauda. Siinusjoonlaul on kaks silindrilist tugipinda, mille omavaheline kaugus on väga täpselt paigas. Näiteks 100mm. See on kolmnurga hüpotenuusi pikkuseks. Ühe tugipinna alla pannakse pikkusplaat, mille pikkus on soovitud nurga siinus*hüpotenuus

$$L = \sin\alpha * D$$

Näiteks 33.2 kraadise nurga korral 100mm joonlaul

$$L = \sin 33.2^\circ * 100 = 54,756\text{mm}$$

Ja nurga täpsus on piiratud ainult pikkusplaatide täpsusega – mis on väga kõrge !



NURKADE TÄPNE MÕÕTMINE JA SEADISTAMINE

Analoogse süsteemiga töötavad siinuskruustangid – näiteks lihvpingis pinna nurga alla lihvimiseks



KUI TÄPNE ?

Masinaehituses ja metallitöös on alati küsimus, kui täpne on piisavalt täpne ? On ju ilmselge et laudaukse hinged ei pea olema valmistatud sama täpselt kui kosmoseteleskoop.

Üldiselt võib öelda, et kaasaegse freespingiga on kergelt saavutatav täpsus $\pm 20\mu\text{m}$ või parem. Kui kasutada lisamõõtmist ja peenfreesimist, siis ca $\pm 5\mu\text{m}$.

Sellest täpsemaks tööks on vaja lihvimist ning kui vajalik täpsusklass on $\pm 1\mu\text{m}$ või peenem, siis käsitsi lihvimist koos etalonide kasutamisega.

Enamasti on täpsusklass $20\mu\text{m}$ masinaehituses piisav.

AVADE JA VÖLLIDE TOLERANTSID

Tihtipeale võib joonistel (eelkõige tootmisjoonistel) näha avade diameetrite tähistust kujul „10H7“. Või siis tihvti diameetri tähistust „8m6“. Mida see tähendab ?

Tegemist on avade ja völliade tolerantsisüsteemiga. 10H7 tähendab seda, et ava mõõt on vastavalt tabelile vahemikus 10.000 kuni 10.015mm. Ja 8m6 tähendab et völli välismõõt on vahemikus 8.006 kuni 8.015mm.

Miks on vaja mõõte niiviisi tähistada ? Lisaks tolerantside tabelile on olemas ka istude tabelid. Selle alusel saame teada, kas vastav kooste (tihvti avas) on „tihke“ või „logiseb“. Näiteks:

H11/c11 vabalt liikuv ist

H7/h6 tihe ja täpne ist (näiteks kahe masinadetaili omavaheliseks positsioneerimiseks)

H7/n6 pressi all koostatav ist

H7/m6 haamriga koostatav. NB ! See on väga levinud kooste – poldipoest ostetud tihvt / H7 hõõritsaga töödeldud ava.

H7/u6 permanente kooste, nt kuumalt völliade pressitud hammasratas.

Nii saame eraldada mõõdu ja koostu tüübi – see teeb jooniste lugemise ja ka detailide valmistamise lihtsamaks, kuna saame ilma numbriid võrdlemata teada koostu tüübi ja tugevuse.

AVADE JA VÖLLIDE TOLERANTSID – tabeli näidis

Nominal dim. range	Tolerance fields for external dimensions [mm]																		
	d12	f9	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	js14	js15	js16	js17	m6
up to 3	-0,02 -0,12	-0,006 -0,031	0 -0,006	0 -0,01	0 -0,014	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,06	0 -0,1	0 -0,14	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,6	0 -1,0	±0,125	±0,2	±0,3	±0,5	+0,008 +0,002
over 3 up to 6	-0,03 -0,15	-0,01 -0,04	0 -0,008	0 -0,012	0 -0,018	0 -0,03	0 -0,048	0 -0,075	0 -0,12	0 -0,18	0 -0,3	0 -0,48	0 -0,75	0 -1,2	±0,15	±0,24	±0,375	±0,6	+0,012 +0,004
over 6 up to 10	-0,04 -0,19	-0,013 -0,049	0 -0,009	0 -0,015	0 -0,022	0 -0,036	0 -0,058	0 -0,09	0 -0,15	0 -0,22	0 -0,36	0 -0,58	0 -0,9	0 -1,5	±0,18	±0,29	±0,45	±0,75	+0,015 +0,006
over 10 up to 18	-0,05 -0,23	-0,016 -0,059	0 -0,011	0 -0,018	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,07	0 -0,11	0 -0,18	0 -0,27	0 -0,43	0 -0,7	0 -1,1	0 -1,8	±0,215	±0,35	±0,55	±0,9	+0,018 +0,007
over 18 up to 30	-0,065 -0,275	-0,02 -0,070	0 -0,013	0 -0,021	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,33	0 -0,52	0 -0,84	0 -1,3	0 -2,1	±0,26	±0,42	±0,65	±1,05	+0,021 +0,008
over 30 up to 50	-0,08 -0,33	-0,025 -0,087	0 -0,016	0 -0,025	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,39	0 -0,62	0 -1,0	0 -1,6	0 -2,5	±0,31	±0,5	±0,8	±1,25	+0,025 +0,009
over 50 up to 80	-0,1 -0,4	-0,03 -0,104	0 -0,019	0 -0,03	0 -0,046	0 -0,074	0 -0,12	0 -0,19	0 -0,3	0 -0,46	0 -0,74	0 -1,2	0 -1,9	0 -3,0	±0,37	±0,6	±0,95	±1,5	+0,03 +0,011
over 80 up to 120	-0,12 -0,47	-0,036 -0,123	0 -0,022	0 -0,035	0 -0,054	0 -0,087	0 -0,14	0 -0,22	0 -0,35	0 -0,54	0 -0,87	0 -1,4	0 -2,2	0 -3,5	±0,435	±0,7	±1,1	±1,75	+0,035 +0,013
over 120 up to 180	-0,145 -0,545	-0,043 -0,143	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -1,0	0 -1,6	0 -2,5	0 -4,0	±0,5	±0,8	±1,25	±2,0	+0,04 +0,015
over 180 up to 250	-0,17 -0,63	-0,05 -0,165	0 -0,029	0 -0,046	0 -0,072	0 -0,115	0 -0,185	0 -0,29	0 -0,46	0 -0,72	0 -1,15	0 -1,85	0 -2,9	0 -4,6	±0,575	±0,925	±1,45	±2,3	+0,046 +0,017
over 250 up to 315	-0,19 -0,71	-0,056 -0,185	0 -0,032	0 -0,052	0 -0,081	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,32	0 -0,52	0 -0,81	0 -1,3	0 -2,1	0 -3,2	0 -5,2	±0,65	±1,05	±1,6	±2,6	+0,052 +0,02
over 315 up to 400	-0,21 -0,78	-0,062 -0,202	0 -0,036	0 -0,057	0 -0,089	0 -0,14	0 -0,23	0 -0,36	0 -0,57	0 -0,89	0 -1,4	0 -2,3	0 -3,6	0 -5,7	±0,7	±1,15	±1,8	±2,85	+0,057 +0,021
over 400 up to 500	-0,23 -0,86	-0,068 -0,223	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,097	0 -0,155	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -0,97	0 -1,55	0 -2,5	0 -4,0	0 -6,3	±0,775	±1,25	±2,0	±3,15	+0,063 +0,023

Tolerantsiklassid

Joonistel on tihtipeale toodud „täpsusklass“, nt ISO 2768m. Sellisel puhul on lubatud kõrvalekalle leitav tabelitest (näidis kõrval). Siin on aga üks nüanss. Praktiliselt 95% joonistest on täpsusklass jäänud kirjanurgas muutmata ja sellele ei ole insener tähelepanu pööranud. Ja seetõttu tuleb lähtuda kas heast praktikast või üle küsida, ehkki enamasti ei oska keegi vastata. Olen näinud kaitsevõre stopperit, mille nõutav täpsus oli 5µm, ehkki sama funktsiooni täidaks ka kirvega poolekslöödud hokilitter. Eriti raske juhtum – nurgamõõdud, need ei ole kunagi korrektselt esitatud täpsusega.

General Tolerances to DIN ISO 2768

- The latest DIN standard sheet version applies to all parts made to DIN standards.
- Variations on dimensions without tolerance values are according to "DIN ISO 2768- mk".

GENERAL TOLERANCES FOR LINEAR AND ANGULAR DIMENSIONS (DIN ISO 2768 T1)

LINEAR DIMENSIONS:

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (medium)	c (coarse)	
0.5 up to 3	±0.05	±0.1	±0.2	-
over 3 up to 6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
over 6 up to 30	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0
over 30 up to 120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
over 120 up to 400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
over 400 up to 1000	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0
over 1000 up to 2000	±0.5	±1.2	±3.0	±6.0
over 2000 up to 4000	-	±2.0	±4.0	±8.0

EXTERNAL RADIUS AND CHAMFER HEIGHTS

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
0.5 up to 3	±0.2	±0.2	±0.4	±0.4
over 3 up to 6	±0.5	±0.5	±1.0	±1.0
over 6	±1.0	±1.0	±2.0	±2.0

ANGULAR DIMENSIONS

Permissible deviations in degrees and minutes for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
up to 10	±1°	±1°	±1°30'	±3°
over 10 up to 50	±0°30'	±0°30'	±1°	±2°
over 50 up to 120	±0°20'	±0°20'	±0°30'	±1°
over 120 up to 400	±0°10'	±0°10'	±0°15'	±0°30'
over 400	±0°5'	±0°5'	±0°10'	±0°20'