



Suunnittelu,
valmistus ja tarkastus



Energia ja
energiatodellisuus



Koneet, painelaitteet
ja automaatio



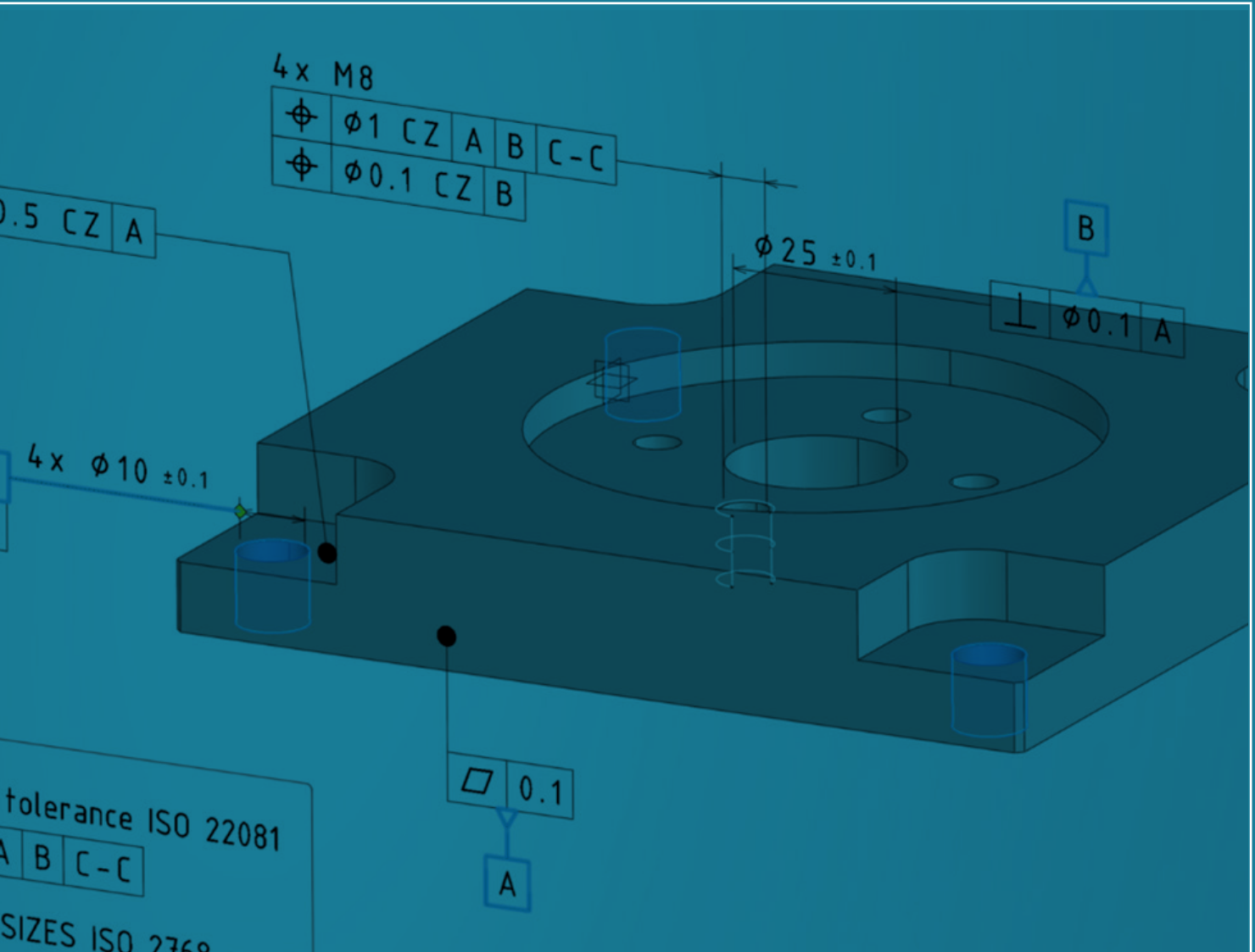
Rakentaminen
ja talotekniikka



Materiaalit

JUKKA-PEKKA RAPINOJA

Mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) perusteet ja standardien mukainen soveltaminen



Tämän teoksen osittainenkin kopiointi ja saattaminen yleisön saataviin on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman nimenomaista lupaa.

Lupia teoksen osittaiseen valokopiointiin, skannaamiseen tai muuhun digitaaliseen kopiointiin myöntää tekijöiden ja kustantajien valtuuttamana KOPIOSTO ry. Muuhun käyttöön luvat on kysyttävä suoraan kunkin teoksen oikeudenhaltijoilta.

JULKAISIJA METSTA ry

KUSTANTAJA

Teknologiainfo Teknova Oy

Eteläranta 10, 00130 HELSINKI

puh. (09) 19231

julkaisumyynti www.teknologiainfo.net

ISBN 978-952-238-329-7 (PDF)

© METSTA ry

Ulkoasu ja taitto:

Julkaisumonistamo Eteläranta Oy

Sisällys

Esipuhe	5
1 Johdanto	6
1.1 Miksi oikea vaatimusmäärittely on tärkeää.....	6
1.2 Toiminnallinen määrittely	6
1.3 Valmistusmäärittely.....	7
1.4 Todennusmäärittely.....	7
2 Johdatus mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn.....	8
2.1 Mikä MBD on.....	8
2.2 MBD:n hyödyt.....	8
2.3 MBD-tekniikat	8
2.4 Tekniikan taso.....	8
2.5 Kriittikää.....	9
3 ISO GPS-järjestelmä.....	10
3.1 Yleiset säännöt.....	10
3.2 Pituusmitat	10
3.3 Peruselementit.....	11
3.4 Rajoitetut peruselementit.....	11
3.4.1 Referenssipistejärjestelmä (3-2-1-järjestelmä).....	12
3.5 Geometriset toleranssit	13
3.5.1 Yleistä	13
3.5.2 Muoto	14
3.5.3 Suunta	14
3.5.4 Sijainti	15
3.5.5 Heitto ja kokonaisuheito.....	15
3.5.6 Pinnan muoto.....	15
3.6 Teoreettisesti tarkat mitat, TED-mitat.....	15
3.6.1 Yleistä	15
3.6.2 Eksplisiittiset TED-mitat	15
3.6.3 Implisiittiset TED-mitat.....	16
3.7 MBD-mallien lisämerkinnät.....	16
3.7.1 Yleistä	16
3.7.2 Leikkaustaso	17
3.8 Yleistoleranssi.....	18
3.8.1 Taustaa	18
3.8.2 SFS-EN ISO 22081.....	18
3.9 Pinnankarheus.....	19
4 MBD-mallin yleistiedot ja hallintatiedot	20
5 Eri valmistustekniikoihin liittyviä näkökohtia	21
5.1 Särätyt ohutlevyosat.....	21
5.2 Valukappaleet.....	21
5.2.1 Yleistä	21
5.2.2 Nimellismittoihin perustuva yleistoleranssi (ISO 8062-3)	21
5.2.3 Geometriseen muototoleranssiin perustuva yleistoleranssi (ISO 8062-4:2023).....	21
5.2.4 Muoviset ruiskuvalut.....	22
5.3 Hitsatut rakenteet	22
5.4 Koneistetut piirteet.....	23
6 MBD käyttötapaus.....	24
6.1 Taustaa	24
6.2 Virtakisko	24
6.3 Ohutlevyosa.....	26

6.4 Hitsattu kokoonpano.....	28
6.5 Muovipleksi.....	30
6.6 Yrityksen Y kokemuksia	32
7 MBD CAM-ympäristössä.....	33
8 MBD laadunhallinnassa.....	34
9 Lopuksi	34
Viitteet.....	35
9.1 METSTAn julkaisemat MBD-oppaat.....	35
9.2 Viitattut standardit.....	35

Esipuhe

Tämän oppaan tarkoituksena on lisätä ymmärrystä mallipohjaisesta tuotemäärittelystä (MBD, Model-Based Definition) ja sen soveltamisesta käytäntöön. Tällä hetkellä digitalisaatio etenee monilla yhteiskunnan eri osa-alueilla. MBD voidaan nähdä samanlaisena digitalisaation edistysaskeleena valmistavan teollisuuden tiedonsiirrossa ja tiedon hyödyntämisessä. Pelkistetyksi kyse on loppujen lopuksi tiedonsiirtotapojen kehityksestä. Taustalla olevat periaatteet ja tavoitteet ovat samoja, mutta tiedonvälityskeino ja tiedon soveltamistavat ovat murroksessa.

Mallipohjainen tuotemäärittely on ollut horisontissa kajastava lupaus jo pitkään. Moni aikaisin liikkeellä ollut on törmännyt teknologian, asenteiden ja kysynnän asettamien haasteiden eteen ja MBD-hankkeita on lykätty tai niiden tavoitteita muutettu toimintaympäristön edellytysten mukaan. Teknologiset edistysaskeleet ovat tapahtuneet pikkuhiljaa vuosien varrella. Digitalisaatio valtaa alaa myös perinteisillä tekniikan alueilla ja osaaminen uusien insinöörisukupolvien myötä on yhä edistyneempää. Mittavaa kehitystä on nähty niin suunnittelujärjestelmissä kuin erityisesti mittauslaitteiden ohjelmistoissa. Myös MBD:hen liittyvässä standardoinnissa on tehty aimo harppauksia: rinnakkain on kehitetty piirustusmerkintöjä, toleranssijärjestelmää ja tiedonsiirtoformaatteja.

METSTA on aiemmin laatinut kaksi julkaisua MBD:tä koskien [1], [2]. Tämä käsillä oleva opas on pyrkimys antaa yksityiskohtaisempaa opastusta erityisesti standardien näkökulmasta. Me METSTALLA uskomme, että standardien avulla voidaan saavuttaa suurin mahdollinen hyöty. Jos standardoituja menetelmiä noudatetaan mahdollisimman laajasti, tekniset esteet voidaan poistaa tehokkaasti. Verkostoituneissa toimitusketjuissa tiedon yhteensopivuus ja uudelleenhyödyntäminen ovat ensiarvoisen tärkeitä.

Jos toimimme uusien teknologioiden käyttöönotossa eturintamassa, siitä on hyötyä suomalaisille yrityksille. MBD:n hyödyt mitataan erityisesti tehokkuutena, korkeampana laatuna, edistyneenä palvelutasona ja kustannussäästöinä.

Helsingissä 22.3.2024

Jukka-Pekka Rapinoja

METSTA

1 Johdanto

1.1 Miksi oikea vaatimusmäärittely on tärkeää

Tekninen piirustus (tai tekninen tuotedokumentti) on olennainen asiakirja työkappaleen vaatimusmäärittelyssä. Teknisessä dokumentaatiossa on annettava kaikki työkappaletta koskevat vaatimukset, kuten

- nimellisgeometria
- mitat ja niiden toleranssit
- geometriset ominaisuudet ja niiden toleranssit
- pinnankarheus
- materiaali
- työtavat
- sovellettava toleranssijärjestelmä
- sovellettavat yleistoleranssit ja standardit
- sovellettavat yritysstandardit ja toimitusohjeet
- muut liittyvät asiakirjat
- tarkastusvaatimukset
- käsittelyt, esim. lämpökäsittely, pinnoitus tai maalaus.

Teknisen tuotedokumentin on määriteltävä, mitä valmiilla työkappaleella edellytetään. Nykyinen mitoitus tapa on lähinnä valmistuslähtöistä, vaikka toiminnallisella mitoituksella voitaisiin ilmaista olennaisempia kriteerejä ja vaikuttaa mm. tuotteen kustannuksiin, kokoonpantavuuteen, toimivuuteen, vaihtokelpoisuuteen ja laatuun.

Vaatimusmäärittelyitä voidaan esittää eri tavoilla tai eri lähtökohdista sen mukaan, mikä on määrittelyn käyttötarkoitus (kuva 1). Suunnittelija asettaa tuotteelle suunnittelutavoitteen eli ne toiminnallisuudet, jotka valmiin tuotteen on täytettävä. Suunnittelutavoite esitetään teknisessä dokumentaatiossa (3D-malli, 2D-piirustus tai MBD-määrittely) toiminnallisena määrittelynä eli mitoituksena ja toleransseina. Valmistus ja laadunhallinta voivat tarvita omia lisämäärittelyitä.

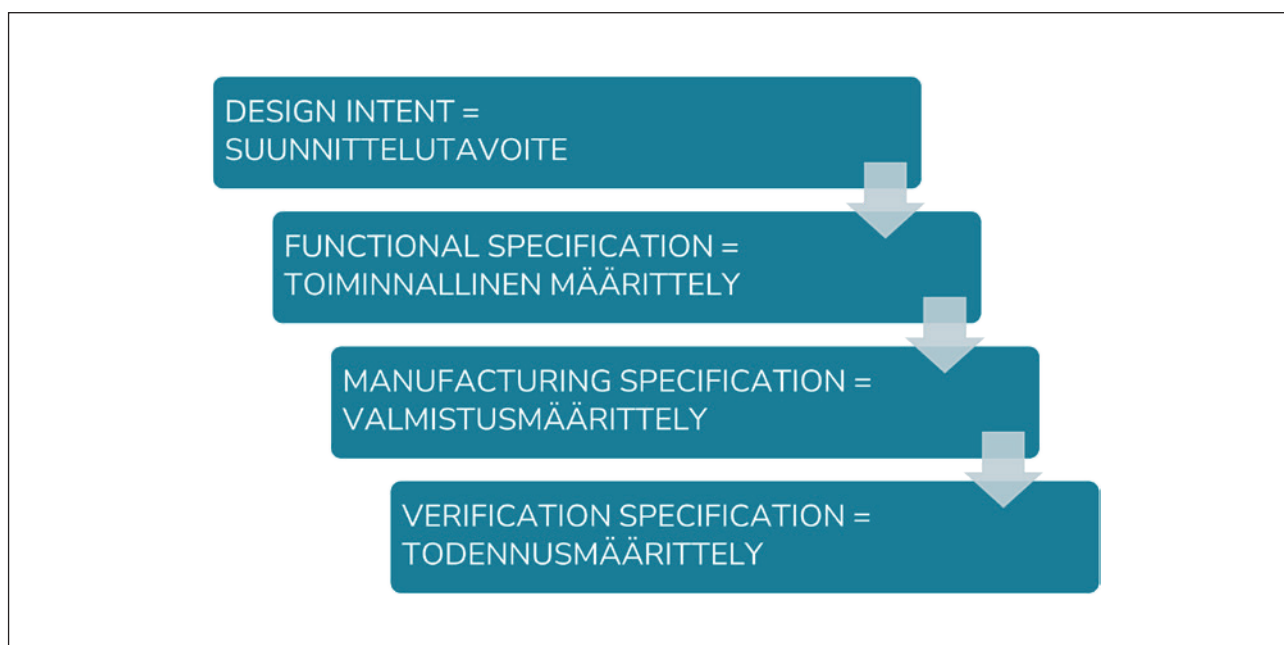
1.2 Toiminnallinen määrittely

Teknistä piirustusta käytetään useassa eri vaiheessa yrityksen eri toiminnoissa. Hankinta, tilaus, työnsuunnittelu, tarjouslaskenta, valmistus, alihankinta ja laadunvalvonta ovat esimerkkejä eri toimijoista, jotka tulkitsevat piirustusta omiin tarkoituksiinsa.

Suunnittelijan tehtävänä on viestiä työkappaleen toiminnallisuutta koskevat vaatimukset kaikille edellä mainituille toimijoille yksiselitteisellä tavalla. Tehtävä ei aina ole helppo ja saattaa sisältää ristiriitaisia vaatimuksia.

Suomalaisessa teollisuudessa piirustuksessa pyritään tyypillisesti ilmaisemaan työkappaleen vaatimukset sirottuna suunnittelijan oletamaan valmistustapaan ja konekantaan. Mitoitus ja tolerointi suoritetaan näiden oletusten perusteella. Nykyisessä alihankintapainottei-

KUVA 1 Erilaisia vaatimusmäärittelyitä



sessä toimintaympäristössä tämä lähestymistapa voi olla hankala. Hankintatoimi voi etsiä tai vaihtaa työkalupaleen toimittajaa muilla kriteereillä kuin tietynlainen konekanta tai valmistustapa. Esimerkiksi kustannukset, osan tarkkuusvaatimus, toimitusaikataulu, kapasiteetti ja laatuvaatimukset voivat olla tällaisia kriteerejä.

Mitoitus- ja tolerointitapaa olisi entistä enemmän muutettava toiminnallisuutta kuvaavaksi. Suunnittelijan tehtävä on välittää tieto valmiin työkalupaleen toiminnallisuusvaatimuksista lopullisessa käyttötarkoituksessaan. Esimerkiksi peruselementteinä olisi käytettävä toiminnallisesti tärkeitä piirteitä, ei esimerkiksi kappaleen ulkopintoja, joilla ei ole lopullisessa käytössä mitään merkitystä. Usein luullaan, että valmistus tarvitsee näitä kappaleen ulkopintoja kiinnityksien tekemiseen. Näin voikin olla, mutta tätä ei tarvitse ohjeistaa piirustuksessa. Näin annettu ohje toimii yhdelle valmistustavalle, mutta mitä tapahtuu, kun toimittajaa ja valmistustapaa halutaan muuttaa?

Toiminnallista määrittelyä voidaan sen sijaan soveltaa erilaisiin valmistusmenetelmiin ja erilaisiin konekantoihin. Sen avulla hankintatoimi voi hyödyntää laajasti toimittajaverkostoa ja kilpailuttaa työkalupaleen hankintaa. Toiminnallisesta määrittelystä hyöttyy myös laadunhallinta, joka pystyy sen avulla mittaamaan oikeasti tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia. Toiminnallinen määrittely mahdollistaa myös toleranssianalyyysien tekemisen.

1.3 Valmistusmäärittely

Nykyinen mitoitus ja tolerointi on pitkälti valmistuslähtöistä. Vaikka mitoitus muutetaan enemmän toiminnallisuutta kuvaavaksi kohdan 1.2 mukaisesti, valmistusta koskevaa mitoitusta ja ohjeistusta voidaan antaa esimerkiksi erillisellä piirustuslehdellä. Valmistusmäärittely voi antaa lisätietoa esim. työvaiheista, välivaiheiden toleransseista tai kiinnityksistä.

1.4 Todennusmäärittely

Toiminnallinen määrittely sopii yleensä sellaisenaan laadun todentamiseen. MBD-muodossa oleva toleransidata voidaan siirtää koneluettavasti useisiin 3D-mittauslaiteohjelmistoihin. Tarvittaessa todennusta varten voidaan luoda omia määrittelyitä esimerkiksi liittyen avainmittoihin, jotka on tarkastettava aina tai tietyllä otannalla.

2.1 Mikä MBD on

Mallipohjaisessa tuotemäärittelyssä (MBD, Model-Based Definition) tuotteen geometria ja vaatimusmäärittely on sisällytetty digitaaliseen 3D-malliin (MBD-tietomalli, MBD data set). MBD-tietomalliin voidaan linkittää myös muuta dataa, kuten asiakirjoja ja ohjeita. MBD-tietomalli korvaa perinteisen piirustuksen kokonaan tai osittain. MBD:n kantavana ajatuksena on käyttää samaa digitaalista tuotemallia tuotteen koko arvoketjussa. Tuotteen arvoketjun voidaan tässä yhteydessä katsoa sisältävän kaikki toiminnot yrityksen sisällä, alihankintaketjun, jakelun ja jopa loppuasiakkaan. Jokaisella arvoketjun toimijalla on oma näkökulmansa tuotemalliin ja he voivat jalostaa tuotemallia edelleen oman prosessinsa osalta. Tuotemallissa olevaa tietoa voidaan suodattaa, rajata ja visualisoida toimijan näkökulmaan sopivalla tavalla.

Tässä oppaassa MBD-tietomallilla tarkoitetaan tuotteen 3D-mallia, johon on sisällytetty tuotetta koskevat vaatimukset annotaatioina tai muina liittyvinä dokumentteina. 2D-piirustusta ei ole lainkaan tai jos sellainen on, se ei ole tuotetiedon lähde eikä välttämättä sisällä kaikkea tietoa. MBD-malli on tiedon alkuperäislähde (master).

Joissakin yhteyksissä MBD-datasta käytetään nimitystä PMI-data (Product Manufacturing Information). PMI tarkoittaa lähinnä annotaatioita, jotka on sisällytetty 3D-malliin. MBD-tietomalli on käsitteenä hieman laajempi sisältäen myös varsinaisen 3D-mallin.

2.2 MBD:n hyödyt

MBD-toimintatavan ytimessä on kaiken tuotetiedon sisällyttämisestä digitaaliseen tuotemalliin. MBD-toimintatavassa digitaalista tuotetietoa hyödynnetään kaikessa tuotteeseen liittyvässä toiminnassa. Näitä ovat esimerkiksi suunnittelutoimi, analyysit, hankintatoimi, tuotannon suunnittelu, laatu, kokoonpano, asennus, kunnossapito, dokumentointi ja asiakkaan omat tarpeet.

Ihannetapauksessa MBD-tietomalli on ajantasainen ja kaikkien toimijoiden saavutettavissa oleva yhteinen tietomalli. MBD-tietomallia pitäisi jakaa mahdollisimman automaattisesti eri tietojärjestelmien ja eri toimijoiden välillä. Tällä tavalla varmistetaan hallitsemattomasti muuttumaton ja yhdenmukainen tuotetieto. Muutosprosesseja (revisiot) voidaan hallita luotettavasti ja tarjota kaikille toimijoille viimeisintä oikeaa tietoa. MBD-tietomallin koneluettavuutta olisi hyödynnettävä mahdollisimman paljon (esim. CAM-ohjelmistoissa ja mittauslaiteohjelmistoissa). 3D-mallien hyödyntäminen lisää käyttäjien ymmärrystä tuotteesta.

3D-mallia voidaan hyödyntää tuotantoprosessin suunnittelussa ja kustannusrakennelaskennassa. On olemassa kaupallisia ohjelmistoja (esim. aPriori), jotka voivat analysoida 3D CAD-mallin ja siihen sisältyvää MBD-dataa ja tuottaa niistä kustannusrakennelaskelman.

MBD:n avulla voidaan aikaansaada 2D-piirustukseen verrattuna täsmällisempi ja täydellisempi vaatimusmäärittely. Kehittyneiden CAD-toimintojen avulla MBD-mallista saadaan tuotemäärittelyn osalta riittävän täydellinen, erityisesti jos CAD-ohjelma pystyy opastamaan suunnittelijaa vaatimusten asettamisessa. Suunnittelu- ja valmistusprosessien eri vaiheissa voidaan saavuttaa työajallisia säästöjä, kun 2D-piirustuksia ei tarvitse laatia ja revisioida manuaalisesti, vaan ne voidaan tuottaa automaattisesti.

Useat toimijat hyötyvät enemmän havainnollisista 3D-malleista kuin hankalasti tulkittavista 2D-piirustuksista. Uudenlaista esitystapaa voidaan hyödyntää erityisesti kokoonpanotehtäviin ja dokumentoinnissa sekä asiakasmateriaaleissa.

2.3 MBD-tekniikat

Tässä oppaassa annetaan MBD-mallin laadintaa koskevia näkökohtia. Lisäksi METSTAn julkaisemissa aiemmissa MBD-oppaissa (viitteet [1] ja [2]) on hyvää tietoa suositeltavista toimintatavoista ja -tekniikoista.

2.4 Tekniikan taso

Useimmat kaupalliset suunnitteluohjelmistot tukevat MBD-toimintatapaa ainakin osittain. Tavanomaisimmat merkinnät saadaan esitettyä suhteellisen helposti. Eroja alkaa näkymään edistyneemmissä merkinnöissä, helpokäyttöisyydessä ja tiedonsiirrossa. Jotkin ohjelmistot ohjaavat käyttäjää oikeissa valinnoissa ja estävät loogisesti mahdottomien vaatimusten lisäämisen.

Tyypillisesti MBD-ominaisuudet tulevat erillisen ohjelmistomoduulin mukana. Tällaisen MBD-moduulin tekniikan tason arvioinnissa kannattaa kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin seikkoihin:

- ovatko ISO-standardien mukaiset toleranssimerkinnät mahdollista esittää oikealla tavalla
- tunnistaako ohjelma erityispiirteitä (esim. akseli, reikä, mitallinen elementti)
- analysoiko ohjelma suunnittelijan tekemien merkintöjen mielekkyyttä
- varoittaako ohjelma toleroimattomista piirteistä

- voiko yleistoleranssin esittää järkevällä tavalla
- voidaanko toleranssivaatimuksia ja peruselementtejä määritellä rajatuille alueille
- voidaanko käyttää rajoitettuja peruselementtejä voidaanko toleranssivaatimuksia antaa pattern-ryhmille (esim. reikäryhmät)
- onko merkintöjen tekeminen helppoa ja intuitiivista voiko MBD-datasta generoida 2D-piirustuksia helposti
- missä tiedostomuodoissa MBD-malli voidaan siirtää muihin tietojärjestelmiin ja onko siirtotiedosto laadultaan hyvä
- mitä ISO-standardien painoksia ohjelma tukee (esim. ISO 1101:2017, ISO 16792:2021).

2.5 Kriittikää

MBD:n tulemistä laajasti teollisuuden käyttöön on odotettu pitkään. Ilmeisimmät esteet ovat tähän mennessä olleet ohjelmistopohjaisia, mutta myös toimintatavat, yrityskulttuuri ja asenteet vaikuttavat paljon. Seuraavassa on lueteltu joitain näkökohtia, jotka vaikuttavat MBD:n käyttämiseen.

Ohjelmistot ja järjestelmät:

- CAD-ohjelmistojen kyky tuottaa MBD-merkintöjä standardoidulla tavalla
- MBD-tiedon siirto järjestelmästä toiseen puutteellista
- CAM-ohjelmat eivät tue MBD-mallien käyttöä
- koneluettavuuden puuttuminen
- toimittajaverkoston kanssa jaetut yhteiset tietokannat. Pääsy ajantasaiseen tietoon voi olla rajattua.
- Suljetut järjestelmät, joissa olevaan tuotetietoon voi olla vaikea päästä muilla ohjelmistoilla.

Yritykset:

- CAD/CAM-ohjelmistojen helppokäyttöisyys. Monet ohjelmat ovat yhä vaikeaselkoisia ja kankeita käyttää
- toleranssimerkintöjen ymmärrys, ts. koulutuksen puute
- asenteet
 - o ei ymmärretä vaatimusmäärittelyn merkitystä/ ei haluta tehdä sitä uudella tavalla
 - o muita kuin 2D-piirustuksia ei haluta ottaa vastaan
- MBD-tiedon käytettävyysongelmat työpaikoilla, esim. työkoneella tai muissa verastosolosuhteissa. Paperitulosteet ovat joskus käytettävyydeltään parempia kuin esim. kosketusnäytöt
- toimijoiden erilaisuus (pienillä yrityksillä voi olla osaajapula eikä mahdollisuutta investoida)
- MBD:n hyöty voi korostua tietyn tyyppisessä tuotannossa. Hyvin yksinkertaisissa kappaleissa hyöty voi jäädä pieneksi.
- luottamus MBD-tekniikkaan. Pidetäänkö uutta tapaa esittää ja jakaa kriittistä tuotetietoa riittävän hyvänä ja uskalletaanko koko tuotemallia jakaa verkostossa, jos ei voida olla varmoja siitä mihin/kenelle se päättyy.

3 ISO GPS-järjestelmä

3.1 Yleiset säännöt

Vaatusmäärittely on tehtävä teknisessä tuotedokumentaatioissa riittävän täsmällisesti ja yksiselitteisesti, jotta väärintulkinnoilta voidaan välttyä. Tätä varten on kehitetty muutamia teknisissä piirustuksissa sovellettavia toleranssijärjestelmiä. Laajimmalle levinneet toleranssijärjestelmät ovat ISO GPS ja ASME Y14.5. ASME Y14.5-järjestelmällä on vankka jalansija Pohjois-Amerikassa ja monissa Tyynenmeren ympärysvaltioissa. Suomessa ja muualla Euroopassa vallitseva toleranssijärjestelmä on ISO GPS (ISO Geometrical Product Specifications). Käyttäjä voi vapaasti valita molempien toleranssijärjestelmien välillä, mutta on huomattava, että ne ovat joiltain osin toisistaan poikkeavia, vaikka niiden merkinnät ovat varsin samanlaisia. Tässä raportissa sovelletaan ISO GPS-järjestelmän sääntöjä.

ISO GPS:n perussäännöissä (SFS-EN ISO 8015) määritellään useita seikkoja, jotka linkittyvät teknisen piirustuksen sisältöön:

1. Käyttö sääntö: Sovellettava toleranssijärjestelmä suositellaan ilmoittamaan piirustuksessa. Oletusarvoisesti sovelletaan ISO GPS:n mukaisia tulkintoja.
2. Toleranssimerkintöjen tulkinnan sääntö: Teknisessä tuotedokumentissa määritellyn toleranssin ylittäminen johtaa hylkäämiseen.
3. Elementtisääntö: toleranssimäärittely koskee vain sitä elementtiä/elementtejä, johon määrittely viittaa.
4. Piirustus määrää -sääntö: vain teknisessä tuotedokumentaatioissa esitetyt vaatimukset on täytettävä.
5. Yleistoleranssisääntö: yleistoleranssit ovat voimassa vain, kun ne on esitetty teknisessä tuotedokumentaatioissa.
6. Riippumattomuuden sääntö: kaikki piirustuksessa esitetyt vaatimukset ovat toisistaan riippumattomia, ellei toisin ole määritelty.
7. Mittausepävarmuutta koskeva sääntö: mittausepävarmuus toimii aina sitä tahoa vastaan, joka yrittää osoittaa määrittelyn vaatimustenmukaisuutta tai vaatimustenvastaisuutta. Katso SFS-EN ISO 14253-1.

Standardin SFS-EN ISO 128-1 mukaan piirustuksen on oltava:

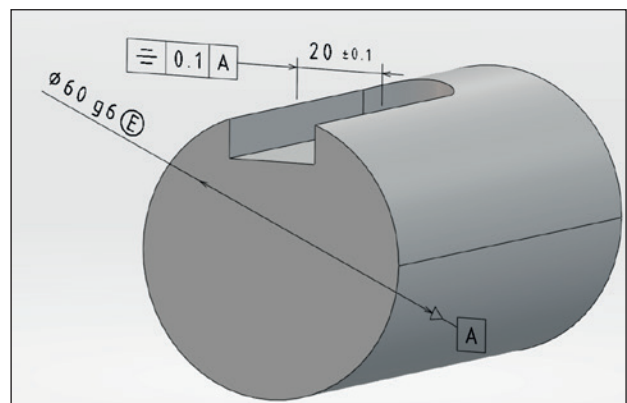
- yksiselitteinen ja selkeä
- mittakaavassa
- sopiva tulostamiseen ja monistamiseen

- kieliriippumaton
- standardien mukainen.

3.2 Pituusmitat

ISO GPS-järjestelmän mukaiset pituusmitat määritellään standardissa SFS-EN ISO 14405-1. Oletusarvoinen pituusmittatyyppi on kaksipistemitta. Muut mittatyypit esitetään niille määritellyllä spesifikaatiomuuttajamerkinnällä. Mittamerkintään voidaan lisätä muita määreitä, kuten verhopintavaatimus (kuva 2) tai yhteinen toleroitu mitta CT.

KUVA 2 Verhopintavaatimus (E) akselilla



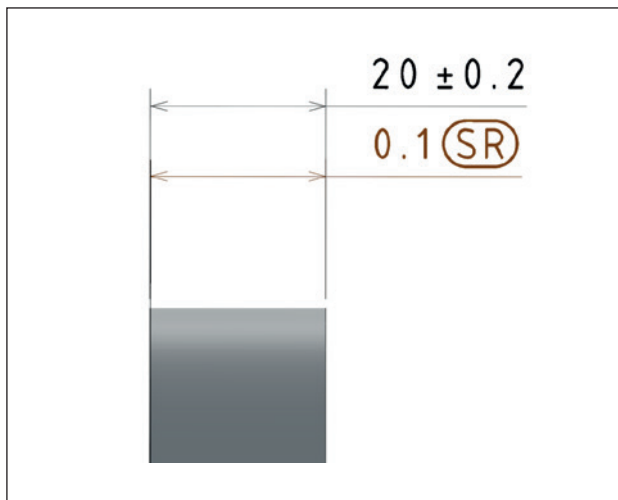
Pituusmitta voidaan määritellä yksiselitteisesti vain mitallisille elementeille (feature of size). Mitallinen elementti on erikoismuoto, jolla on ominaisuutena puhdas pituusmitta. Tällaisia erikoismuotoja yleisenä tapauksena ovat:

- sisäpuolinen tai ulkopuolinen lieriö, ts. reikä tai akseli
- kaksi yhdensuuntaista vastakkaista pintaa, joko toisiaan päin suunnatut tai toisistaan poispäin osoittavat pinnat.

SFS-EN ISO 14405-1 sisältää paljon erilaisia mittatyyppiejä, joiden määrittelystä voi olla hyötyä erikoistapauksissa. Mitta voidaan määritellä esimerkiksi kokonaismitaksi (jollaisia koordinaattimittauskoneet pystyvät tuottamaan) tai mitalle voidaan antaa rinnakkainen vaihteluväli vaatimus (kuva 3).

Pituusmittamäärittely muille kuin mitallisille elementeille sisältää määrittelyepävarmuuden. Tämä johtuu siitä, että mitta ei sisällä tietoa mittausuunnasta. Standardissa SFS-EN ISO 14405-2 annetaan esimerkkejä muista kuin mitallisten elementtien pituusmitoista ja esitetään suositeltavia ratkaisuvaihtoehtoja.

KUVA 3 SR-muuttaja rinnakkaisena vaatimuksena. Vaatimus tarkoittaa, että yksittäisen tuotantokappaleen leveysvaihtelu saa olla 0,1 mm ja leveyden on oltava alueella $20 \pm 0,2$ mm



Suomalaisessa teollisuudessa on tyypillistä, että koko työkalun geometria mitoitetaan pelkästään pituusmitoilla. Tätä toimintatapaa olisi hyvä tarkastella kriittisesti ja täsmentää mitoitusta toiminnallisesti tärkeiden piirteiden osalta.

3.3 Peruselementit

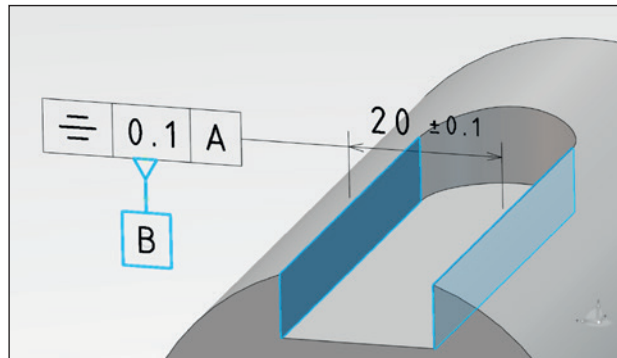
Peruselementtien tarkoituksena on määritellä vertailuelementti suunta- ja sijaintitoleransseille. Peruselementti lukitsee geometrisen toleranssin toleranssialueen vapausasteita. Peruselementtiä kutsutaan toleranssikehyksessä. Jos toleranssikehyksessä on määritelty useampi kuin yksi peruselementti, tätä kutsutaan peruselementtijärjestelmäksi. Peruselementit on määritelty standardissa SFS-EN ISO 5459.

Peruselementin olisi hyvä olla toiminnallisesti merkityksellinen elementti, ts. jokin pinta, jolla on jokin tehtävä kappaleen toiminnossa. Toleranssikehyksessä määritellään peruselementeille tärkeysjärjestys, jossa vasemmalta lukien ensimmäinen peruselementti on tärkein, sen jälkeen toinen ja kolmas. Suunnittelijan on osattava määritellä riittävästi sopivia peruselementtejä geometrisia toleransseja varten.

Peruselementti voi olla kappaleen todellinen pinta (esim. taso) tai se voi olla mitallisen elementin (kohta 2.2) keskielementti (ts. keskiviiva tai keskitaso, kuva 4). Mitallisen elementin tapauksessa peruselementti on kiinnitettävä mitallisen elementin mittaviivaan (tai toleranssikehykseen, jos se viittaa mitalliseen elementtiin).

Työkappale pitäisi pystyä kiinnittämään helposti peruse-

KUVA 4 Kiilauran keskitaso on määritelty peruselementiksi B. Kuvassa on klikattu peruselementin tunnusta (kysely, query), johon saadaan vastauksena kyseessä olevat pinnat



lementin avulla tai peruselementin olisi oltava helposti mitattava. Liian pieni tai hankalassa paikassa oleva peruselementti aiheuttaa mittausepätarkuutta.

Oletusarvoisesti peruselementti on yksi kokonainen elementti tai mitallisen elementin keskielementti. Lisämerkinnöillä peruselementti voidaan rajata, jolloin kyseessä on rajoitettu peruselementti.

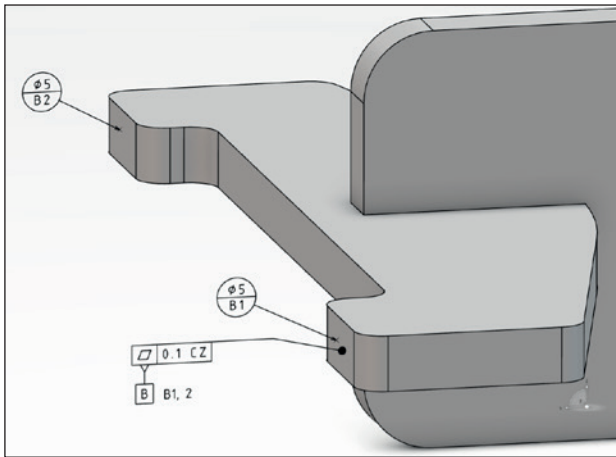
3.4 Rajoitetut peruselementit

Aina ei ole järkevää käyttää kokonaista elementtiä peruselementtinä. Tällöin voidaan määritellä rajattuja alueita tai pisteitä peruselementeiksi. Näitä kutsutaan rajoite-
tuiksi peruselementeiksi.

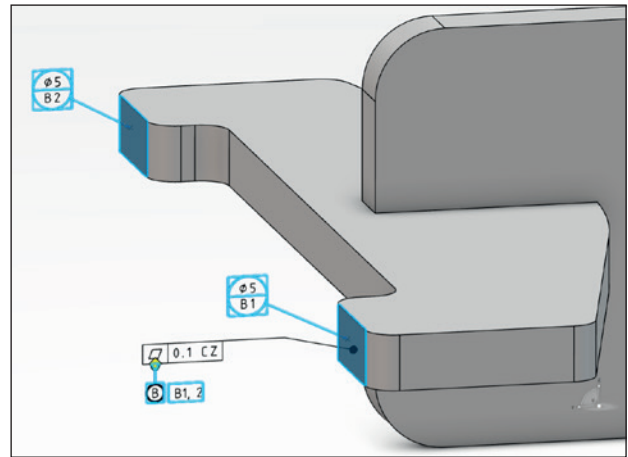
Tyypillinen sovelluskohde rajoitetuille peruselementeille ovat valukappaleet, ohutlevyosat, hitsatut rakenteet ja ruiskuvaletut osat. Valuosissa olevat päästöpinnot eivät sovellu peruselementeiksi kokonaisina pintoina, vaan niistä voidaan määritellä rajattuja alueita tai pisteitä peruselementeiksi. Ohutlevyosat ja hitsatut rakenteet saattavat olla geometrian tarkkuuden osalta karkeahkoja tai niiden koko on suuri, jolloin niiden pinnat eivät kokonaisina ole järkeviä peruselementtejä. Kuvissa 5 ja 6 on esimerkki rajoitetusta peruselementistä hitsatussa levyrakenteessa.

Rajoitettujen peruselementtien merkintään on oma tunnuskensa. Rajoitetun elementin koko ja sijainti esitetään piirustuksessa (ja tarvittaessa MBD-mallissa) teoreettisten mittojen avulla (TED-mitat, kohta 3.6). Jos rajoitettu peruselementtipiste on määritelty 3D-CAD-mallissa

KUVA 5 Rajoitettu peruselementti B hitsatussa rakenteessa



KUVA 6 Peruselementin kysely palauttaa valitut pinnat



apugeometriapisteellä, ei näkyvää TED-mittaa välttämättä tarvita (Kuvissa 5 ja 6 ei ole TED-mittaa). Katso kohta 3.6.2 TED-mittojen merkitsemisen tarpeesta.

Pistemäinen rajoitettu elementti merkitään rastilla.

Vaikka pinnalle on määritelty rajoitettu peruselementti, sen lisäksi on käytettävä peruselementtitunnusta. Katso tarkemmat säännöt standardista SFS-EN ISO 5459.

3.4.1 Referenssipistejärjestelmä (3-2-1-järjestelmä)

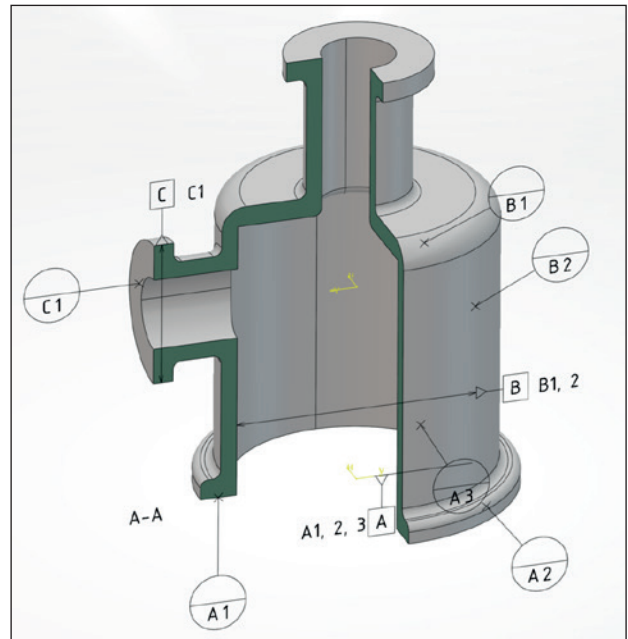
Autoteollisuudessa on pitkään hyödynnetty ns. referenssipistejärjestelmää (tunnetaan myös nimellä 3-2-1-järjestelmä). Siinä työkappaleelle määritellään kaikki vapausasteet kiinnittävä peruselementtijärjestelmä. Tämä mahdollistaa kiinnittimien ja jigien järjestelmällisen suunnittelun ja käytön tuotannossa ja ohjaa kaikki toimitukset käyttämään samaa kiinnitys/mittauskoordinaatistoa.

Referenssipistejärjestelmää voidaan hyödyntää osakomponenteissa sekä kokoonpanoissa (esim. hitsattu rakenne). Erityisesti hitsatut levyrakenteet, ohutlevyosat, valukappaleet ja ruiskuvaluosat ovat sopivia kohteita referenssipistejärjestelmälle. Kuvassa 7 on esimerkki.

Referenssipistejärjestelmässä käytetään rajoitettuja peruselementtejä. Rajoitetut peruselementit asetetaan seuraavassa järjestyksessä:

- 1. peruselementti X: 3 rajoitettua pistettä (muodostavat tason)
- 2. peruselementti Y: 2 rajoitettua pistettä (muodostavat viivan)
- 3. peruselementti Z: 1 rajoitettu piste.

KUVA 7 3-2-1-järjestelmä valukappaleessa



Peruselementtien nimet X-Y-Z on annettu vain esimerkinomaisesti, muitakin kirjaimia voidaan käyttää (kuvassa 7 käytetään A|B|C -peruselementtejä). Toisaalta X-Y-Z kuvaa hyvin suorakulmaisen koordinaatiston totuttuja akselisuuntia. Tehdasohjeessa voidaan myös määritellä tuotteelle pääsuunnat, esim. X eteenpäin, Z ylöspäin.

Referenssipisteiden muodostamaan peruselementtijärjestelmään X-Y-Z voidaan viitata geometrisissa toleransseissa sekä standardin SFS-EN ISO 22081 mukaisessa yleistoleranssissa.

3.5 Geometriset toleranssit

3.5.1 Yleistä

Mittamäärittely ei ole yksiselitteinen muille kuin mitallille elementeille (kohta 3.2). On suositeltavaa mitoittaa toiminnallisesti tärkeät piirteet yksiselitteisellä tavalla. Usein tämä edellyttää geometrinen toleranssien käytämistä.

Geometriset toleranssit määritellään standardissa SFS-EN ISO 1101:2017 ja ne jaetaan neljään pääryhmään: muodon, suunnan, sijainnin ja heiton geometrisiin toleransseihin. Taulukossa 1 on lueteltu kaikki käytössä olevat geometriset toleranssit. Olennaista on ymmärtää, milloin tarvitaan peruselementtiä. Joissakin tapauksissa CAD-sovellus osaa ohjata suunnittelijaa tekemään merkinnän oikein. Jotkin CAD-sovellukset toisaalta antavat käyttäjän tehdä mitä tahansa virheellisiäkin määrittelyjä.

Suunnittelijan olisi ymmärrettävä, millainen toleranssialue kussakin tapauksessa muodostuu ja mitä peruselementtejä sen määrittelyyn tarvitaan. Melkein aina kaikki suunta- ja sijaintitoleranssit vaativat vähintään yhden peruselementin. Geometriseen toleranssiin liittyvät pituus- ja kulmamitat on aina merkittävä TED-mitoiksi (kohta 3.6). TED-mitat lähtevät aina toleranssikehyksessä määrittelyistä peruselementeistä tai ne ovat toleroitujen elementtien välisiä mittoja.

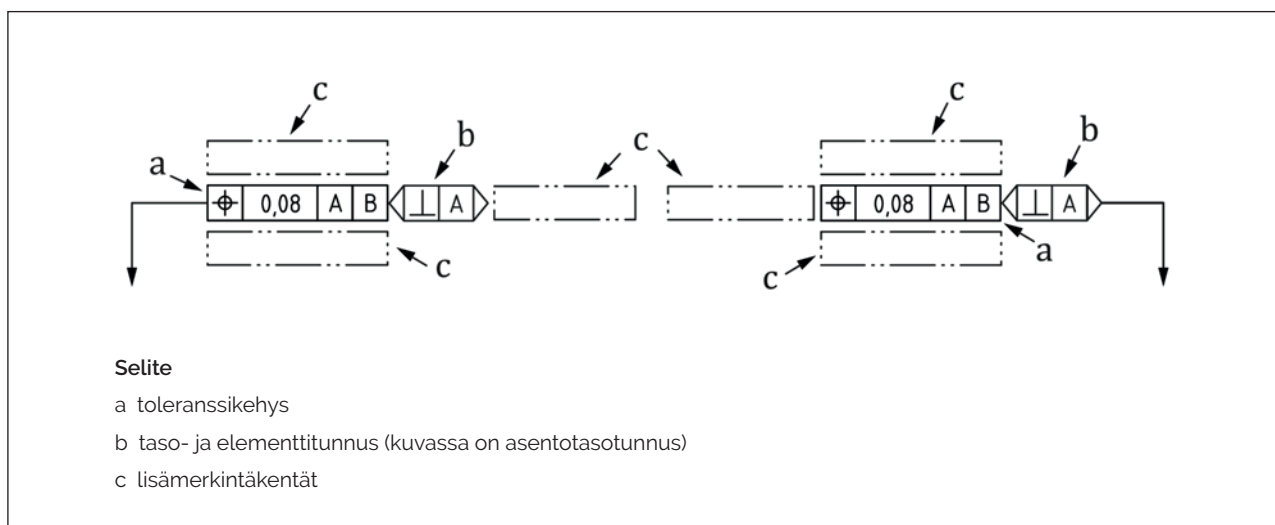
Geometrinen toleranssi annetaan ns. toleranssikehyksessä. Määrittely toleranssikehyksessä on tehtävä standardin SFS-EN ISO 1101 mukaisessa järjestyksessä (kuva 8).

TAULUKKO 1 Geometrinen toleranssien tyypit (SFS-EN ISO 1101:2017)

Määrittely	Ominaisuus	Tunnus	Peruselementin tarve
Muoto	Suoruus	—	ei
	Tasomaisuus	□	ei
	Ympyräisyys	○	ei
	Lieriöisyys	⌢	ei
	Viivan muoto	⌒ ^a	ei
	Pinnan muoto	⌒ ^a	ei
Suunta	Yhdensuuntaisuus	//	kyllä
	Kohtisuoruus	⊥	kyllä
	Kulma-asento	∠	kyllä
	Viivan muoto	⌒ ^a	kyllä
	Pinnan muoto	⌒ ^a	kyllä
Sijainti	Paikka	⊕	ei kyllä
	Samankeskisyys (keskipisteille)	⊙	kyllä
	Sama-akselisuus (keskiviivoille)	⊙	kyllä
	Symmetrisyys	≡	kyllä
	Viivan muoto	⌒ ^a	kyllä
	Pinnan muoto	⌒ ^a	kyllä
Heitto	Heitto	↗	kyllä
	Kokonaisheitto	↗↗	kyllä

^a Pinnan muotoa käsitellään tarkemmin standardissa SFS-EN ISO 1660.

KUVA 8 Toleranssikehyks (SFS-EN ISO 1101:2017)



Geometriset toleranssit edellyttävät joskus ns. määrittelymuuttajien käyttämistä. Määrittelymuuttaja muuttaa tai tarkentaa geometrisen toleranssin tulkintaa. Taulukossa 2 on lueteltu joitakin tärkeimpiä määrittelymuuttajia. Katso täydellinen luettelo muuttajista ja niiden tarkat määritelmät standardista SFS-EN ISO 1101:2017.

MBD-malleissa olennaisiksi lisämerkinnöiksi nousevat leikkaustaso-, asentotaso-, suuntaelementti- ja koontitasotunnukset (kohta 3.7). Ilman niitä määrittely ei välttämättä ole yksiselitteinen.

TAULUKKO 2 Geometrisissa toleransseissa usein käytettyjä merkintöjä

Kuvaus	Tunnus
Yhdistetty toleranssialue	CZ
Määritetty toleranssialueen siirtymä	UZ
Siirretty toleranssialue	Ⓟ
Välissä	↔
Yhdistetty elementti	UF
Ympäri (muoto)	
Kaikkialla (muoto)	
Mikä tahansa poikkileikkaus	ACS
Teoreettisesti tarkka mitta (TED)	50 _b
MBD-malleissa olennaisia merkintöjä	
Leikkaustasotunnus	
Asentotasotunnus	
Suuntaelementtitunnus	
Koontitasotunnus	
Laskennallinen elementti	Ⓐ

3.5.2 Muoto

Muototoleransseja ovat:

- suoruus
- tasomaisuus
- ympyrämuotoisuus
- lieriömuotoisuus
- viivan muoto
- pinnan muoto.

Muototoleranssille ei koskaan määritellä peruselementtiä. Suoruuden ja viivan muototoleranssille on MBD-mitoituksessa määriteltävä leikkaustasotunnus (kohta 3.7.2). Sen avulla ilmoitetaan, missä suunnassa suoruus tai viivan muoto on todettava. Suuntaelementtiä voidaan käyttää joissain erikoistapauksissa ympyrämuotoisuuden määrittelyssä esim. kartiopinnalle.

Viivan muoto ja pinnan muoto ovat pelkkiä muototoleransseja silloin, kun niille ei ole määritetty yhtään peruselementtiä.

MBD-mitoituksessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että toleroitu elementti valitaan oikein. Erityisesti tämä koskee mitallisen elementin tapausta. Esim. akselissa voidaan määritellä suoruus joko lieriöpinnan sivuviivalle tai keskiviivalle. Näille vaihtoehdoille on omat merkin-tätapansa. Taulukon 2 mukaista Ⓐ-muuttajaa voidaan käyttää osoittamaan mitallista elementtiä.

3.5.3 Suunta

Suuntatoleransseja ovat:

- yhdensuuntaisuus
- kohtisuoruus
- kulma-asento
- viivan muoto
- pinnan muoto.

Suuntatoleranssissa on aina oltava vähintään yksi peruselementti. Peruselementit on valittava siten, että ne sopivat loogisesti valittuun toleranssiin. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota siihen, että suuntatoleranssin kaikki tarvittavat vapausasteet on lukittu.

Viivan muoto ja pinnan muoto rajaavat muodon lisäksi suuntaa, jos niihin on määritetty peruselementtejä.

Kulma-asentotoleranssiin liittyy aina kulman TED-mitta.

MBD-mitoituksessa suuntatoleranssin käyttäminen saattaa edellyttää asentotasotunnusta, jolla ilmoitetaan toleranssialueen suunta.

3.5.4 Sijainti

Sijaintitoleransseja ovat:

- paikkatoleranssi
- symmetria
- sama-akselisuus/samankeskisyys
- viivan muoto
- pinnan muoto.

Viivan muoto- ja pinnan muoto- toleranssit voivat rajata muodon ja suunnan lisäksi sijaintia, jos niihin on määritetty peruselementtejä.

Paikkatoleranssi soveltuu mitallisille elementeille ja tasomaisille elementeille. Pinnan muoto -toleranssi soveltuu kaikille elementtityypeille, myös kaksoiskaareville pinnoille. Joissakin tapauksissa paikkatoleranssin voi määritellä ilman peruselementtejä. Tällöin kyseessä on elementtiryhmän sisäinen paikkamäärittely. Elementtiryhmille (esim. reikäryhmä) tehtävää paikkatolerointia käsitellään laajemmin standardissa SFS-EN ISO 5458:2018.

Sijaintitoleranssien TED-mitat voivat olla eksplisiittisiä tai implisiittisiä. Suunnittelijan on ymmärrettävä, milloin tarvitaan eksplisiittistä TED-mittaa (kohta 3.6).

3.5.5 Heitto ja kokonaisheitto

Heitto ja kokonaisheitto koskee aina rakenteellista elementtiä. Heittotoleransseja voidaan käyttää joko aksiaali- tai säteisheittona. Heitto ja kokonaisheitto vaativat aina vähintään yhden peruselementin.

Heiton mittauskulma voidaan määritellä suuntaelementin avulla. Oletusarvoisesti heitto mitataan mitattavan pinnan normaalin suunnassa.

3.5.6 Pinnan muoto

Pinnan muoto -toleranssi nostetaan tässä esille erikseen. Sitä hyödynnetään teollisuudessa nykyään varsin vähän, mutta se soveltuu hyvin monenlaisiin tapauksiin ja on riippumaton elementin tyypistä. Muototoleranssin erilaisia soveltamistapoja käsitellään laajemmin standardissa SFS-EN ISO 1660:2017. Uusi yleistoleranssi SFS-EN ISO 22081:2021 perustuu pinnan muoto -toleranssiin (kohta 3.8).

Oletusarvoisesti muototoleranssin toleranssialue jakautuu symmetrisesti nimellismuodon molemmille puolelle (aineen sisään ja aineesta pois päin).

3.6 Teoreettisesti tarkat mitat, TED-mitat

3.6.1 Yleistä

Teoreettisesti tarkkoja mittoja (TED-mitta, Theoretically Exact Dimension) on käytettävä aina, kun mitta liittyy geometriseen toleranssiin. TED-mitoilla esitetään teoreettisesti tarkan geometrian (nimellismallin) mitat. TED-mittoja käytetään myös paikoittamaan rajoitettuja peruselementtejä (kohta 3.4) tai sekä joissakin muissa tapauksissa, mm. rajatun alueen mitoituksessa.

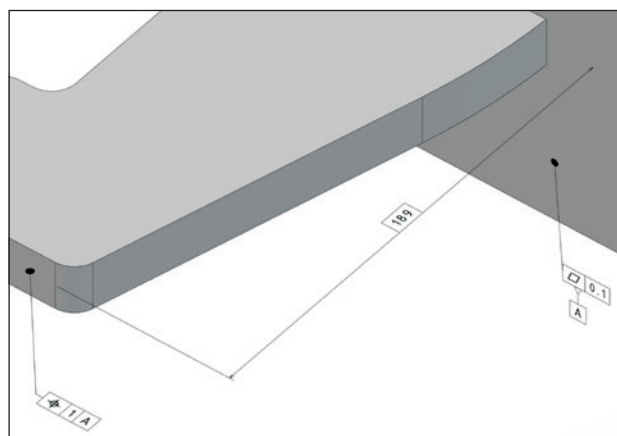
3.6.2 Eksplisiittiset TED-mitat

Eksplisiittisiä TED-mittoja ovat piirustukseen merkityt näkyvät mitat. TED-mitat esitetään laatikoituna. TED-mitta voi olla pituusmitta tai kulmamitta. Mikään yleistoleranssi ei koske TED-mittoja. Standardissa SFS-EN ISO 1101:2017 on lisätietoa TED-mitoista.

MBD:ssä kaikkia TED-mittoja ei ole tarpeen/järkevää esittää 3D-mallissa. Tuloksena olisi mittojen "risukasa", jonka lukeminen on hankalaa. Erityisesti kaksoiskaarevat pinnat on mahdotonta mitoittaa TED-mitoilla. Tällaisissa tapauksissa 3D CAD-malli määrittää teoreettisesti tarkan geometrian ja TED-mitat saadaan 3D CAD-mallista kyselytoiminnoilla (esim. mittaamalla). Jos tuotemäärittelyyn kuuluu piirustus, otsikkotaulun lähellä on annettava tieto siitä, että 3D CAD-mallin geometriaa käytetään suoraan TED-mittojen sijasta (tyypillisiä fraaseja ovat esim. *"TEDs according to the 3D model"*, *"This drawing shall be used with model XXXX for complete product definition"*).

3D CAD-mallista kyseltävien mittojen on perustuttava toleranssikehyksessä olevaan peruselementtijärjestelmään. Toisin sanoen mitat on otettava käyttämällä annettuja peruselementtejä. Katso kuvan 9 esimerkki.

KUVA 9 Geometriseen toleranssiin liittyvä TED-mitta



Missään standardissa ei ole määritelty, pitääkö eksplisiittiset TED-mitat aina esittää MBD-mallissa vai voidaanko olettaa, että ne koneluetaan 3D-mallista tai että käyttäjä mittaa kyselytoiminnoilla ne manuaalisesti. Tässä on käytettävä harkintaa sen mukaan, millaisesta kappaleesta on kyse ja millä tavalla se valmistetaan. Jos valmistusprosessi sisältää pääasiassa ihmisen tekemiä toimenpiteitä (esim. ohjelmointi täysin manuaalisesti tai asetusmittojen syöttäminen työstökoneelle), näkyvät mitat helpottavat työtä oleellisesti. Samoin, jos tarkoitus on tuottaa 2D-piirustuksia MBD-mallista, sinne määritellyt TED-mitat saadaan siirtymään automaattisesti 2D-piirustukseen.

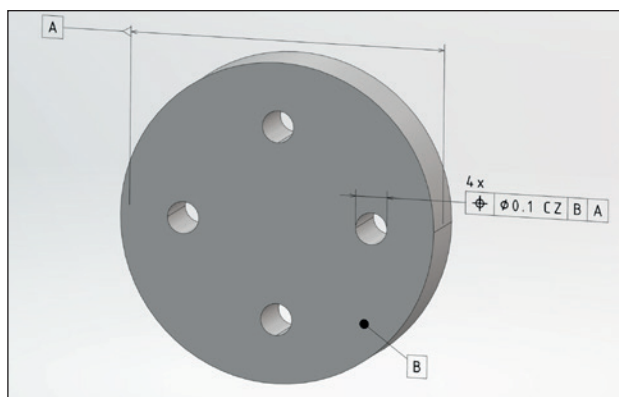
3.6.3 Implisiittiset TED-mitat

Tietyissä tapauksissa ei ole tarpeen tai mahdollista lisätä näkyvää eksplisiittistä TED-mittaa. Näissä tapauksissa 3D-mallin tai 2D-piirustuksen geometriasta voidaan tehdä päätelmiä, jotka vastaavat näkyvää TED-mittaa. Tällaisia geometriasta pääteltäviä mittoja kutsutaan implisiittisiksi TED-mitoiksi ja ne ovat yhtä olennaisia geometrinen toleranssien tulkinnassa kuin eksplisiittiset TED-mitat. Standardissa SFS-EN ISO 1101:2017 on lisätietoa TED-mitoista.

Implisiittisiä TED-mittoja ovat seuraavat tapaukset:

- 0 mm, jos piirustuksessa (tai MBD-mallissa) olevat viivat vaikuttavat olevan suoria ja/tai yhdensuuntaisia
- 0°, 90°, 180°, 270°, jos piirustuksessa (tai MBD-mallissa) olevat viivat vaikuttavat olevan samansuuntaisia (0° tai 180°) tai kohtisuorassa (90° tai 270°)
- ympyränkehälle tasajakautuneet kulmat (360°/n), jossa n on kehälle tasan jakautuneiden elementtien lukumäärä.

KUVA 10 Esimerkkejä implisiittisistä TED-mitoista



Kuvassa 10 on useita implisiittisiä ehtoja:

1. Neljä ympyrän kehälle tasajakautunutta reikää (ei tarvita kulmamittaa 90°)
2. Reikäryhmän paikkatoleranssin toleranssialueet (Ø0,1 mm) ovat kohtisuorassa peruselementtiä B vastaan (ei tarvita kulmamittaa 90°)
3. Reikäryhmän paikkatoleranssin toleranssialueiden yhteinen keskipiste sijaitsee yhtenevästi peruselementin A kanssa (ei tarvita mittaa 0 mm).

HUOM. Reikäryhmän ympyrän kehän halkaisijaa ei esitetä kuvassa 10 eksplisiittisenä TED-mittana. Se saadaan selville kyselyn avulla 3D-mallista. Toinen vaihtoehto on lisätä näkyvä TED-halkaisijamitta MBD-malliin.

3.7 MBD-mallien lisämerkinnät

3.7.1 Yleistä

MBD-mitoituksessa on huomattava, että piirustuksen projektiosuuntien tarjoamaa lisätietoa ei ole olemassa 3D-maailmassa. Joidenkin toleranssimerkintöjen tulkinnassa käytettiin aikaisemmin apuna 2D-piirustuksen projektiosuuntia. Niihin sisältyi "näkömätöntä" tietoa toleranssimerkinnän tulkintaan liittyen. Standardin SFS-EN ISO 1101:2017 uusien merkintäsääntöjen tarkoituksena on poistaa nämä näkymättömät tulkintasäännöt ja korvata ne yksiselitteisillä merkintätavoilla.

Standardissa esitellään leikkaustaso-, asentotaso-, suuntaelementti- ja koontitasotunnukset sekä laskennallisen elementin tunnus $\textcircled{A}$ (taulukko 3). Niiden käyttäminen on MBD-malleissa välttämätöntä, mutta suositeltavaa olisi käyttää niitä myös perinteisissä 2D-piirustuksissa. Tällä tavoin piirustukset olisivat jo valmiiksi MBD-yhteensopivia.

TAULUKKO 3 MBD-malleissa tarvittavia lisämääreitä

MBD-malleissa olennaisia merkintöjä	
Leikkaustasotunnus	$\left[\begin{array}{ c } \hline \text{///} \\ \hline \end{array} \right] B \ b$
Asentotasotunnus	$\left[\begin{array}{ c } \hline \text{///} \\ \hline \end{array} \right] B \ b$
Suuntaelementtitunnus	$\left[\begin{array}{ c } \hline \leftarrow \text{///} \\ \hline \end{array} \right] B \ b$
Koontitasotunnus	$\left[\begin{array}{ c } \hline \bigcirc \text{///} \\ \hline \end{array} \right] B \ b$
Laskennallinen elementti	$\textcircled{A}$

3.7.2 Leikkaustaso

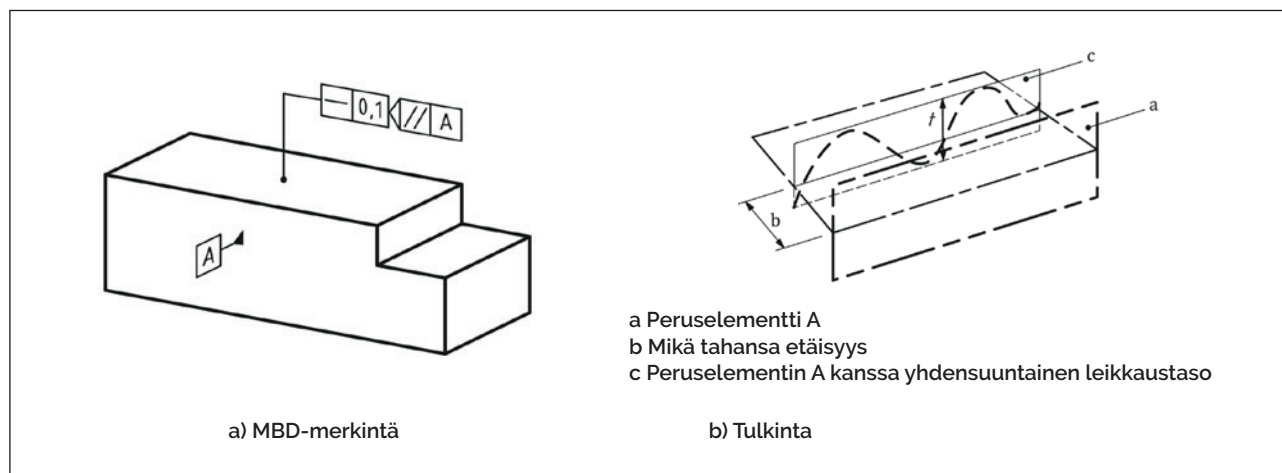
Leikkaustasotunnuksella ilmoitetaan viivatyyppisen vaatimuksen suunta. Viivatyyppisiä vaatimuksia ovat esim. suoruus tai viivan muoto. Leikkaustaso annetaan suhteessa johonkin peruselementtiin. Vaihtoehtoina ovat yhdensuuntaisuus, kohtisuoruus, kulma-asento tai symmetria (kuva 11). Tarkat soveltamissäännöt ovat standardissa SFS-EN ISO 1101:2017, kohta 13.

KUVA 11 Leikkaustasotunnuksen vaihtoehdot

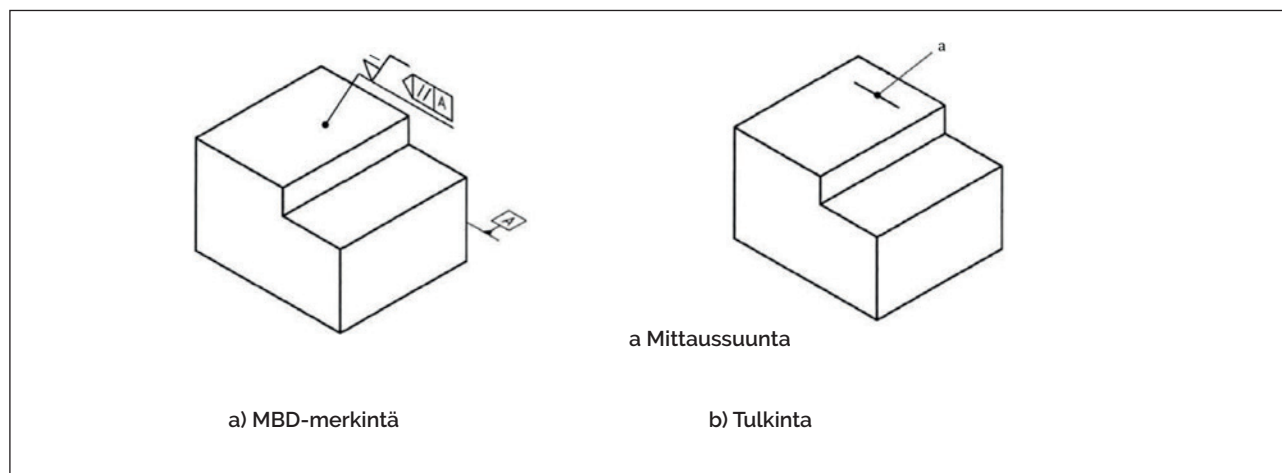


Kuvissa 12, 13 ja 14 on esimerkkejä leikkaustasotunnuksen käyttämisestä MBD-mallissa. Ilman leikkaustasotunnusta määrittely olisi epäselvä.

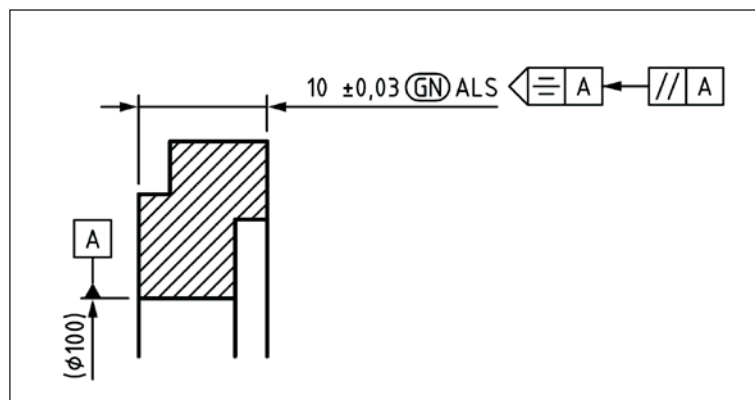
KUVA 12 Suoruumäärittelyn suunta esitetään leikkaustason avulla (SFS-EN ISO 1101:2017)



KUVA 13 Leikkaustasotunnus liitetty pinnankarheusmerkintään ja osoittaa mitaussuunnan (SFS-EN ISO 21920-1:2021)



KUVA 14 Leikkaustasotunnus mittamäärittelyn osana (SFS-EN ISO 14405-1:2016). Suuntaelementtitunnus



Kuvassa 14 esitetään hieman erikoisempi tapaus, jossa on mittamäärittely mitalliselle elementille (kaksi yhdensuuntaista poispäin suunnattua tasoa). Mitan tyyppi on pienin ympärille sovitettu muoto (GN) ja se koskee mitä tahansa pituussuuntaista leikkausta (ALS, Any Longitudinal Section). Leikkaustasotunnuksella määritellään, että leikkaus kulkee aina peruselementin A kautta (Symmetriatunnus). Suuntaelementtitunnus määrittelee mitaussuunnan yhdensuuntaiseksi peruselementin A kanssa.

3.8 Yleistoleranssi

3.8.1 Taustaa

Piirustuksia voidaan yksinkertaistaa jonkin verran käyttämällä yleistoleranssimerkintöjä. Konepajateknisissä työpiirustuksissa on käytetty paljon standardien SFS-EN 22768-1 (ISO 2768-1) ja SFS-EN 22768-2 (ISO 2768-2) mukaisia yleistoleransseja. Niillä on ohjattu pituusmittojen yleistoleranssia sekä geometrisia yleistoleransseja.

Aika on kuitenkin ajanut standardin ISO 2768 mukaisen yleistoleranssin ohi. Standardissa olevat taulukkoarvot ovat peräisin luultavasti 1970-luvulta tai jopa kauempaa menneisyydestä. Konepajojen kyvykkyys on varmasti parantunut tässä ajassa. Lisäksi GPS-säännöt ovat muuttuneet standardin ISO 2768 julkaisun jälkeen: GPS-sääntöjen mukaan pituusmittoja saisi määrittää vain mitallisille elementeille (kohta 3.2).

Standardin ISO 2768-2 geometrisia toleransseja koskevat säännöt ovat epäselviä ja hankalia tulkita, eikä niitä myöskään tunneta kovin hyvin. Näistä syistä ISO 2768-2 kumottiin vuonna 2021. Kumottua standardia voi periaatteessa soveltaa, mutta se ei ole suositeltavaa.

3.8.2 SFS-EN ISO 22081

Kumotun standardin SFS-EN 22768-2 tilalle julkaistiin uudenlainen yleistoleranssistandardi SFS-EN ISO 22081:2021. Standardissa esitellään menetelmä, jossa otsikkotaulun lähelle merkitään toleranssikehys, jossa

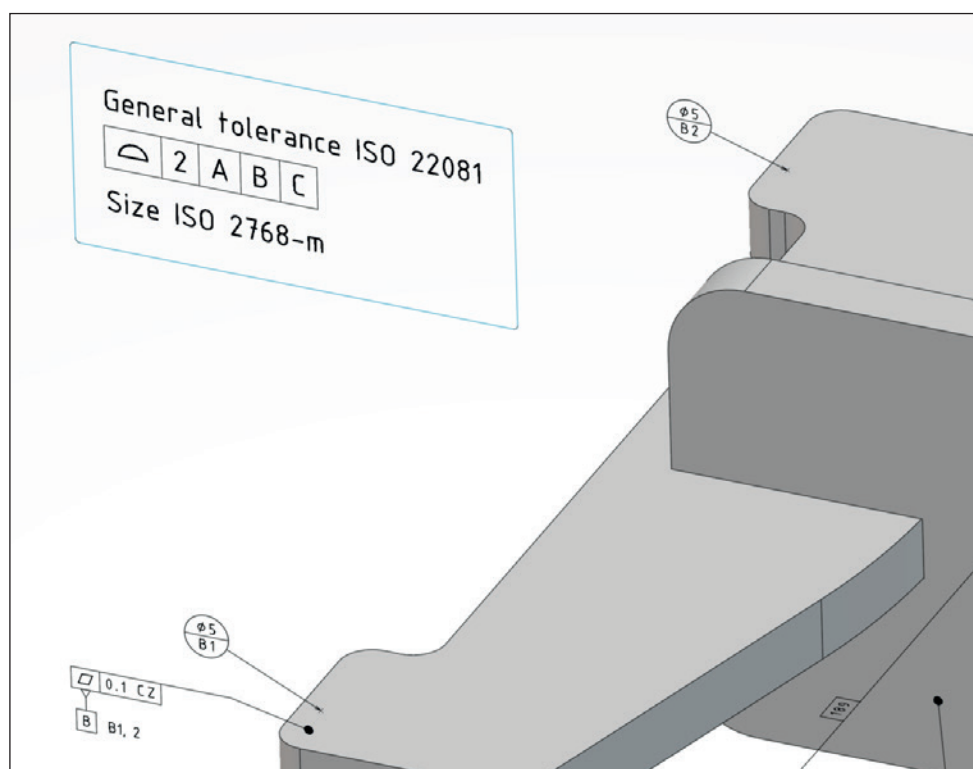
on annettu pinnan muototoleranssi, toleranssiarvo ja peruselementtijärjestelmä. Muototoleranssi koskee kaikkia työkappaleen toleroimattomia elementtejä. Peruselementtijärjestelmä on kuitenkin määriteltävä ja toleroitava erikseen.

Muototoleranssin lisäksi voidaan määritellä erillinen toleranssi mitallisille elementeille käyttämällä esimerkiksi standardin ISO 2768-1 mukaista tarkkuusluokkamerkin-
tää (f, m, c). Katso kuvan 15 esimerkki.

SFS-EN ISO 22081 ei sisällä mitään taulukoituja toleranssiarvoja, vaan suunnittelijan on määriteltävä sopiva lukuarvo tapauskohtaisesti. Tämä voi ainakin aluksi tuottaa haasteita. Yksi lähtökohta on käyttää standardin ISO 2768-1 taulukkotietoja, joista voi vetää joitakin johtopäätöksiä. Muototoleranssin ei tarvitse olla yksi lukuarvo, vaan se voi olla esimerkiksi taulukoitu muuttuja. Muuttuva arvo voi perustua esimerkiksi elementin kokoon (standardin ISO 2768-1 tyyllisesti) tai elementin etäisyyteen peruselementtijärjestelmästä.

Yleistoleranssiksi pitäisi valita mahdollisimman väljä toleranssi siten, että työkappaleen toiminnallisuus ei kuitenkaan vaarannu. Kaikki toiminnallisesti tärkeät ominaisuudet olisi määriteltävä erillisinä vaatimuksina. Erillinen toiminnallinen määrittely mahdollistaa seurannan (mittaamisen ja laadunvalvonnan) sekä toimii selkänäjana ristiriitatilanteissa toimittajan kanssa.

KUVA 15 MBD-mallille asetettu yleistoleranssi



Standardin SFS-EN ISO 22081 mukaisessa yleistoleroinnissa suunnittelijan on määriteltävä myös peruselementtijärjestelmä ja toleroitava peruselementit. Tämäkin on uutta ja vaatii ylimää räisiä ponnistuksia, mutta järkevien peruselementtien valinta auttaa muun geometrisen määrittelyn tekemistä ja on apuna tuotannossa ja mitauksessa.

3.9 Pinnankarheus

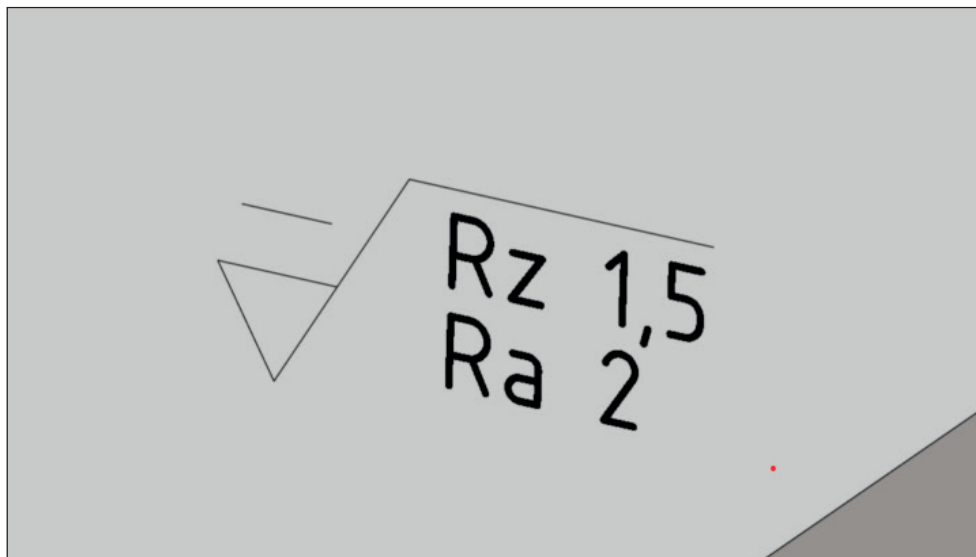
Pinnankarheuden standardeissa tapahtui iso muutos vuonna 2021, kun uusi kolmiosainen standardi SFS-EN ISO 21920 julkaistiin. Se korvasi aiemmin asiaa käsitelleet standardit ISO 1302:2002, ISO 4287:1997 ja ISO 4288:1996. Standardissa SFS-EN ISO 21920-1 esitellään uudistunut pintamerkki (kuva 16) ja sen soveltamisesimerkkejä. Pintamerkki on uudistettu, koska sen oletustulkintaa

on muutettu. Aiemmin voimassa oli ns. 16 %:n sääntö. Uudessa standardissa oletussääntönä on Tmax-sääntö. Tmax tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että yksikään mitattu pinnankarheuden arvo ei saa ylittää merkinnässä määritetty raja-arvoa (esim. Ra 3,2 tai Rz 10).

Merkintätapasäännöt ovat säilyneet kutakuinkin ennallaan joitain lisäyksiä lukuun ottamatta. Joidenkin lisämääreiden paikkaa tunnuksen sisällä on muutettu ja joitain uusia määrittelyjä on lisätty. Nyt on mahdollista määritellä esimerkiksi mittaussuunta.

MBD:n liittyen standardissa SFS-EN ISO 21920-1 esitellään 3D-merkintöjä. Pinnankarheustunnukseen voidaan liittää kohdan 3.7 mukaisia lisämääreitä, joita MBD-määrittelyn tulkinnassa tarvitaan.

KUVA 16 ISO 21920 mukainen pintamerkintä



Tuotemalliin liittyy paljon sellaisia määrittelyitä ja parametreja, joita ei voi esittää kiinnitettynä johonkin pintaan. Tällaisia määrittelyjä ovat ne tiedot, joita on sijoitettu 2D-piirustuksissa otsikkotauluun tai sen läheisyyteen. Tyypillisimpiä tietoja ovat (luettelo ei ole täydellinen):

- Nimiketiedot
- Hallintatiedot
 - o revisio
 - o tekijä
 - o päiväys
 - o hyväksyntä
 - o dokumenttityyppi
 - o luokittelukoodi (SFS-EN ISO 16792)
 - o omistaja
- Liittyvät dokumentit, mm.
 - o osaluettelot
 - o tarkastusraportit
 - o mahdollinen 2D-piirustus
 - o tehdasstandardit ja muut ohjeet
 - o aineistodistukset
- Materiaali
- Massa
- Mittayksiköt
- Toleranssijärjestelmä (esim. ISO 8015 viittaa ISO GPS-järjestelmään)
- Viittaus MBD-standardiin SFS-EN ISO 16792
- Yleistoleranssit
 - o Standardin SFS-EN ISO 22081 mukainen yleistoleranssi (kohta 3.8.2) edellyttää, että toleranssikehys voidaan esittää graafisesti
 - o Muiden yleistoleranssien viitetiedot ja graafiset merkinnät (esim. SFS-EN ISO 21920-1 pinnankarheus)
 - o Särmien käsittely, SFS-EN ISO 13715
- Taulukkotiedot
 - o hammastustiedot
 - o taulukkomitat
 - o lämpökäsittelymerkinnät (SFS-ISO 15787)
- Tuotesuojausmerkinnät (copyright).

Yksi mahdollisuus on sijoittaa yleiset tiedot omalle annotaatiotasolle. Parempi ja selkeämpi tapa on ilmoittaa metatiedot syötteenä erityiseen tietoikkunaan, jos CAD-ohjelmassa on sellainen.

5.1 Särätyt ohutlevyosat

MBD-määrittelyt kannattaa tehdä särätyssä tilassa olevaan malliin ja määritellä haluttu lopputila. Ei-toiminnallisille elementeille voidaan määritellä yleistoleranssi. Toiminnallisuudet kannattaa harkita tarkemmin. Ohutlevyosassa on luultavasti vain muutamia toiminnallisia kiinnityspintoja, ruuvien reikiä tai muita vastaavia elementtejä. Vain niille kannattaa antaa muoto- tai sijaintitoleranssi. Joihinkin pintoihin voi sopia suuntatoleranssi (esim. kohtisuoruus tai kulma-asento). Kiinnityspintoihin kannattaa asettaa tasomaisuusvaatimus.

Ohutlevyosissa on syytä pohtia, mikä on järkevä peruselementtijärjestelmä. Levyjen reunat eivät monesti ole toiminnallisesti tärkeitä, jolloin niitä ei myöskään kannataisi käyttää peruselementteinä. Sen sijaan esim. reikäryhmät, keskitasot ja kiinnityspinnat ovat toiminnallisia ominaisuuksia.

Säräyksen taivutussäde voidaan määritellä, mutta antamalla mahdollisimman väljä taivutussäteen minimi- ja maksimiarvo (esim. R4...R8) valmistajalle voidaan antaa lisävapauksia valita kyseiseen tapaukseen ja konekantaan parhaiten sopivat arvot.

Särätyt ohutlevyosan taivutussäteellä ja k-kertoimella on suora vaikutus levityskuvaan. Levityskuvan laadinta ei välttämättä ole tarpeellista, koska suunnittelija ei välttämättä tunne valmistajan konekantaa ja siihen sopivia parametrejä (mm. valmistajan työkalujen taivutussäteet ja materiaalin ominaisuudet). Säräyksen toimittaja voi helposti tuottaa levityskuvan 3D-mallista, joka on mallinnettu ohutlevytoiminnoilla. Toimittaja voi siinä yhteydessä soveltaa omaa kokemustaan omasta konekannasta ja materiaalista.

ISO ei ole julkaissut ohutlevyosien tai meistettyjen osien toleranssistandardia, mutta Suomessa on vahvistettu DIN-standardeihin perustuvat standardit SFS 5803, SFS 5804 ja SFS 5998. Niiden määrittelytapa ei ole täysin ISO GPS:n tai MBD:n mukainen, mutta niistä saa paljon hyödyllisiä ohjeita ja lukuarvoja.

Termisesti leikattavia leikkeitä koskee GPS-standardi SFS-EN ISO 9013. Sen merkinnöillä levyleikkeille voidaan asettaa yleistoleranssi ja muita laatuvaatimuksia. Standardi koskee termistä leikkausta, mutta toiminee suunta-antavasti myös vesileikkauksessa.

5.2 Valukappaleet

5.2.1 Yleistä

Metallivalujen tolerointia käsitellään neliosaisessa standardisarjassa SFS-EN ISO 8062. Osat 1 ja 2 ovat varsin vanhahtavia eivätkä sovellu juurikaan MBD-maailmaan. Osat 3 ja 4 esittelevät kaksi erilaista yleistolerointitapaa, joista erityisesti uudehko SFS-EN ISO 8062-4:2023 on MBD-periaatteiden mukainen.

5.2.2 Nimellismittoihin perustuva yleistoleranssi (ISO 8062-3)

Standardi SFS-EN ISO 8062-3 ei ole kaikilta osilta GPS-järjestelmän periaatteiden ja sääntöjen mukainen (tästä mainitaan standardin johdannossa). MBD-mallissa ei yleensä esitetä nimellismittoja, joten SFS-EN ISO 8062-3 mukainen tolerointi ei sovellu MBD-malleihin.

SFS-EN ISO 8062-3:2023 määrittelee yleistoleransseja:

- toleranssiasteikko DCTG (luokat 1...15) pituusmitoille
- päästökulmat (luokat A tai B)
- toleranssiasteikko GCTG (luokat 2...8) geometrisille toleransseille
- koneistusvara (RMAG) (luokat A...K).

Geometriset yleistoleranssit on määritelty seuraavilla ominaisuuksille:

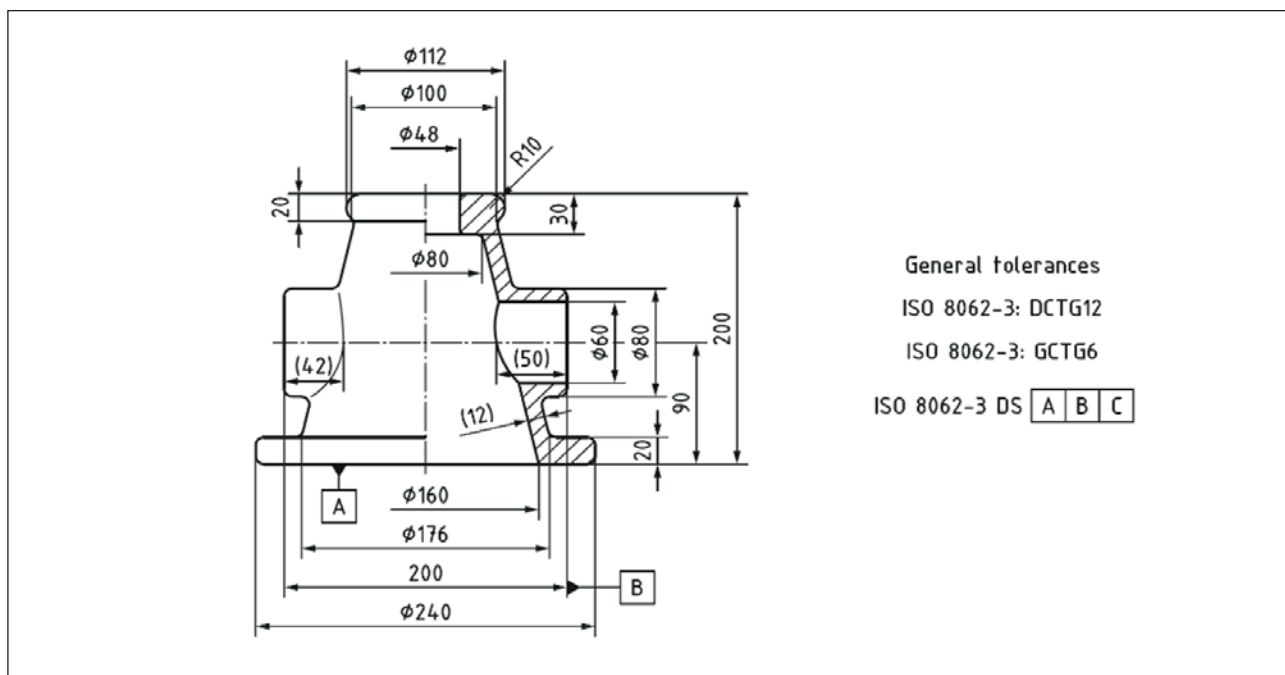
- suoruus (akseli tai reikä ilman päästöä)
- tasomaisuus
- ympyrämuotoisuus
- yhdensuuntaisuus
- kohtisuoruus
- symmetria
- sama-akselisuus.

SFS-EN ISO 8062-3 mukaisessa menettelyssä yleistoleranssiluokka merkitään otsikkotaulun lähelle ja valitun luokan vastaavat lukuarvot luetaan standardin taulukoista. Peruselementtijärjestelmä (jos se halutaan määritellä) esitetään yleismerkinnällä. Katso kuvan 17 esimerkki.

5.2.3 Geometriseen muototoleranssiin perustuva yleistoleranssi (ISO 8062-4:2023)

Standardin SFS-EN ISO 8062-4 perustuu sille ajatukselle, että $\pm$ -tolerointia ja pituusmittoja käytetään vain puhtaisiin mitallisiin elementteihin. Kaikki muu, mm. porasmitat, määritellään geometrisilla toleransseilla (yleistoleranssina tai yksilöllisesti). Tämä on GPS-järjestelmän

KUVA 17 Esimerkki standardin SFS-EN ISO 8062-3:2023 mukaisesta yleistoleranssimerkinnästä
(ote standardista SFS-EN ISO 8062-3:2023)

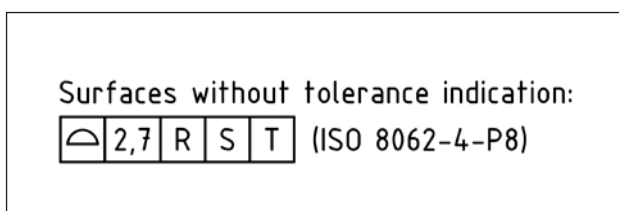


periaatteiden mukaista. SFS-EN ISO 8062-4 ei kuitenkaan ole yleistoleranssistandardin SFS-EN ISO 22081 (kohta 3.8.2) kanssa yhteensopiva. Käyttäjän on siten valittava näiden kahden hieman poikkeavan menettelyn välillä.

SFS-EN ISO 8062-4 määrittelee kolme erilaista valmistustilaa: valettu, esikoneistettu ja viimeistelykoneistettu sekä piirustussymbolit näille. Piirustussymboli voidaan merkitä pituusmitan, pinnankarheuden ja geometrisen toleranssin yhteyteen. Tällöin mitta koskee vain määritettyä valmistustilaa.

Geometriseen muototoleranssiin perustuva yleistoleranssi esitetään piirustuksen otsikkotaulun lähellä kuvan 18 esimerkin mukaisesti. Yleistoleranssi voidaan määrittellä eri valmistustiloille (valu, esikoneistus, viimeistelykoneistus).

KUVA 18 Esimerkki standardin SFS-EN ISO 8062-4 mukaisesta yleistoleranssimerkinnästä
(ote standardista SFS-EN ISO 8062-4:2023)



SFS-EN ISO 8062-4 suosittelee määrittelemään peruselementtijärjestelmän käyttämällä rajoitettuja peruselementtejä ja nimeämään sen "R-S-T". Toisin kuin standardissa SFS-EN ISO 22081, yleistoleranssi koskee myös peruselementtipintoja, jos niillä ei ole yksilöllistä toleranssia.

Standardissa annetaan taulukoituja toleranssiasteita (P-asteikko), joiden avulla suunnittelija voi valita yleistoleranssin lukuarvon. P-asteen valinta riippuu materiaalista ja valmistusmenetelmästä. Toleranssin arvo riippuu valukappaleen ympärille piirretyn pienimmän verhopallon mitasta. Lisäksi voidaan määrittää oma toleranssiarvo lieriöiden halkaisijalle ja seinämänpaksuudelle. Muita taulukkoarvoja on annettu koneistusvaralle sekä päästökulmille.

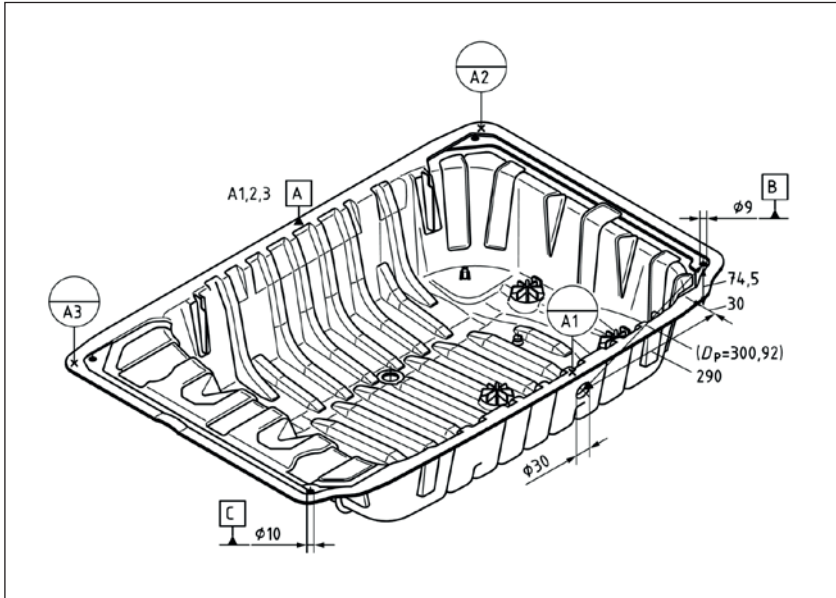
5.2.4 Muoviset ruiskuvalut

Muovisten ruiskuvalujen osalla on olennaista hallita prosessissa syntyviä muodonmuutoksia. Yksityiskohmainen geometrinen määrittely on tärkeää myös tyypillisesti suurien sarjakokojen vuoksi. Standardissa ISO 20457:2018 annetaan ruiskuvalettujen kappaleiden mita- ja geometriatoleranssiarvoja. Standardissa määritellään toleranssiasteita (TG), joihin voidaan viitata yleistoleranssina MBD-mallissa tai piirustuksessa. Standardi sivuaa hieman MBD-toimintapaa (kuva 19).

5.3 Hitsatut rakenteet

Hitsattuja rakenteita koskeva toleranssistandardi SFS-EN ISO 13920:1996 on vanhahtava ja ei sovellu MBD-mi-

KUVA 19 Ruiskuvaluosan MBD-malli (ote standardista ISO 20457:2018)



toitukseen. Standardiin viittaaminen ei ole epäselvyyksien vuoksi suositeltavaa, joskin sallittua. Suunnittelijan kannattaa hyödyntää standardissa olevia toleranssitaukoita sopivan lukuarvon valintaan mutta ei viitata itse standardiin. Lukuarvoja voi hyödyntää standardin SFS-EN ISO 22081 mukaisessa yleistoleranssimerkinnässä (kohta 3.8.2) tai yksilöllisissä merkinnöissä.

Hitsatuille rakenteille on hyvä määritellä selkeä peruselementtijärjestelmä. Rajoitetut peruselementtipisteet ja 3-2-1-menetelmä (kohta 3.4.1) sopii erinomaisesti hitsattuun rakenteeseen niiden tyypillisten geometriavirheidensä suhteellisen karkean tarkkuuden vuoksi.

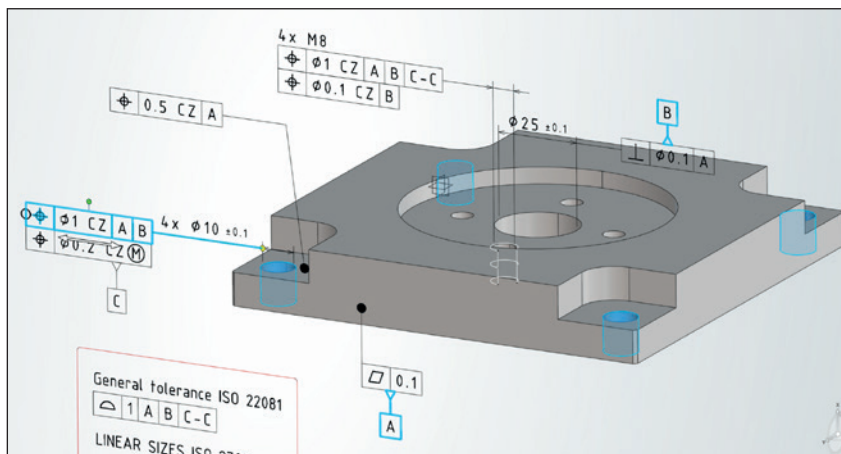
5.4 Koneistetut piirteet

Koneistuksille ei ole omaa standardia, mutta SFS-EN ISO 1101:2017 toimii sellaisenaan hyvänä ohjeistuksena. Hyvää lisätietoa on ryhmien tolerointia koskeva SFS-EN ISO 5458:2018. Siellä neuvotaan, miten koneistuksessa yleisiä reikäryhmien ja muiden elementtiryhmien määrittely tulisi tehdä. Standardissa esitellään myös SIM-muuttaja, jolla voidaan ohjata kahden eri elementtiryhmän välistä suhdetta. SFS-EN ISO 1660:2017 koskee profilitoleranssia ja standardissa on hyviä MBD-merkintäesimerkkejä.

Koneistuspiirteiden peruselementtijärjestelmä olisi suositeltavaa valita toiminnallisuuden perusteella ja kytkeä vain toiminnallisia piirteitä toisiinsa. Koneistetuissa piirteissä voidaan hyödyntää myös rinnakkaisia toleranssimäärittelyitä (kuva 20), jos niillä saa etua valmistuksessa.

KUVA 20 Rinnakkaiset toleranssimäärittelyt reikäryhmille antavat pelivaraa valmistukselle.

Paikkatoleranssin kysely palauttaa siihen liittyvät reiät ja peruselementit.



6 MBD käyttötapaus

6.1 Taustaa

Keskisuuri suomalainen teknologiayritys "Y" käyttää MBD:tä oman tuotteen tuotemäärittelyssä. Yritys Y suunnittelee itse tuotteensa ja tilaa siihen liittyvät osat toimittajilta, jotka ovat pääasiassa suomalaisia konepajoja. Yritys Y käyttää suunnittelussa Solidworks-ohjelmiston versiota, johon kuuluu MBD-moduuli. Tuotemäärittely tehdään 3D-mastermalliin. 2D-piirustukset tehdään tällä hetkellä kaikista muista paitsi 3D-tulostuksella valmistettavista osista alihankkijoiden vaihtelevan 3D-mallien käsittelykyvyn takia. Yritys Y on päättänyt kuitenkin varautua jo tulevaisuuteen tekemällä määrittelyt jo nyt 3D-malliin.

Osatoimittaja saa käyttöönsä:

- annotoidun 3D-mallin
- 2D-piirustuksen
- levityskuvan DXF-tiedoston.

Toimittajalla on kyvykkyytensä mukaan mahdollisuus käyttää annotoitua MBD-mallia. Toimittaja vastaanottaa 3D MBD-mallin pääasiassa STEP-muodossa. Jotkut alihankkijat tekevät tarvitsemansa 2D-DXF-tiedoston itse 3D-mallista. Koneistajat haluavat käyttää 3D-malleja piirustuksen ohella. 3D-malleista voi tarkastaa mittoja, joita ei ole 2D-piirustuksessa.

Kohdissa 6.2...6.5 esitellään kolme yrityksen Y tyyppilistä osaa ja niiden tuotemäärittely. Kaikkien osien tuotemäärittely tehdään mallipohjaisesti, vaikka tässä esitetään vain 2D-piirustuksia lähinnä esitettävyyden vuoksi. Esimerkkinä olevat 2D-piirustukset on generoitu 3D MBD-mallista.

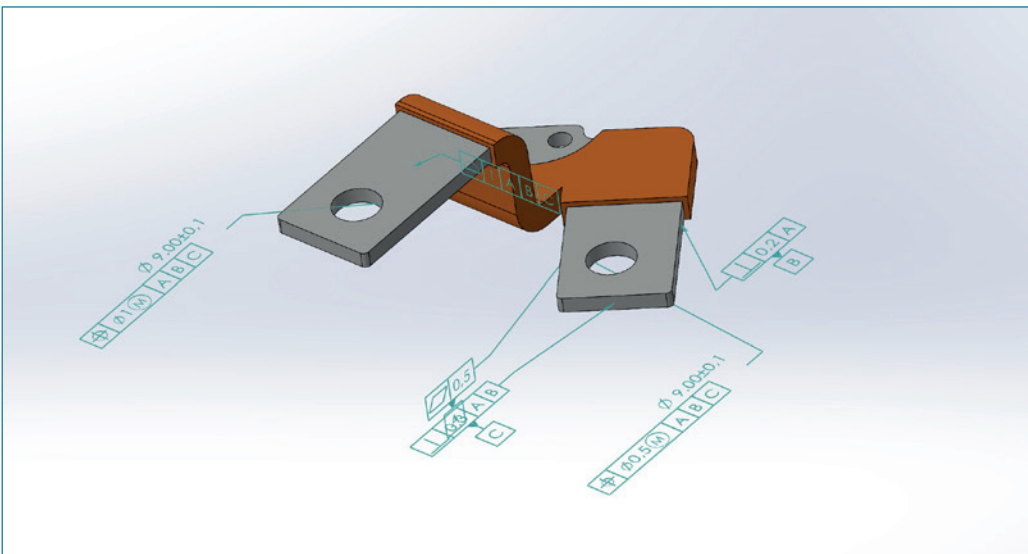
6.2 Virtakisko

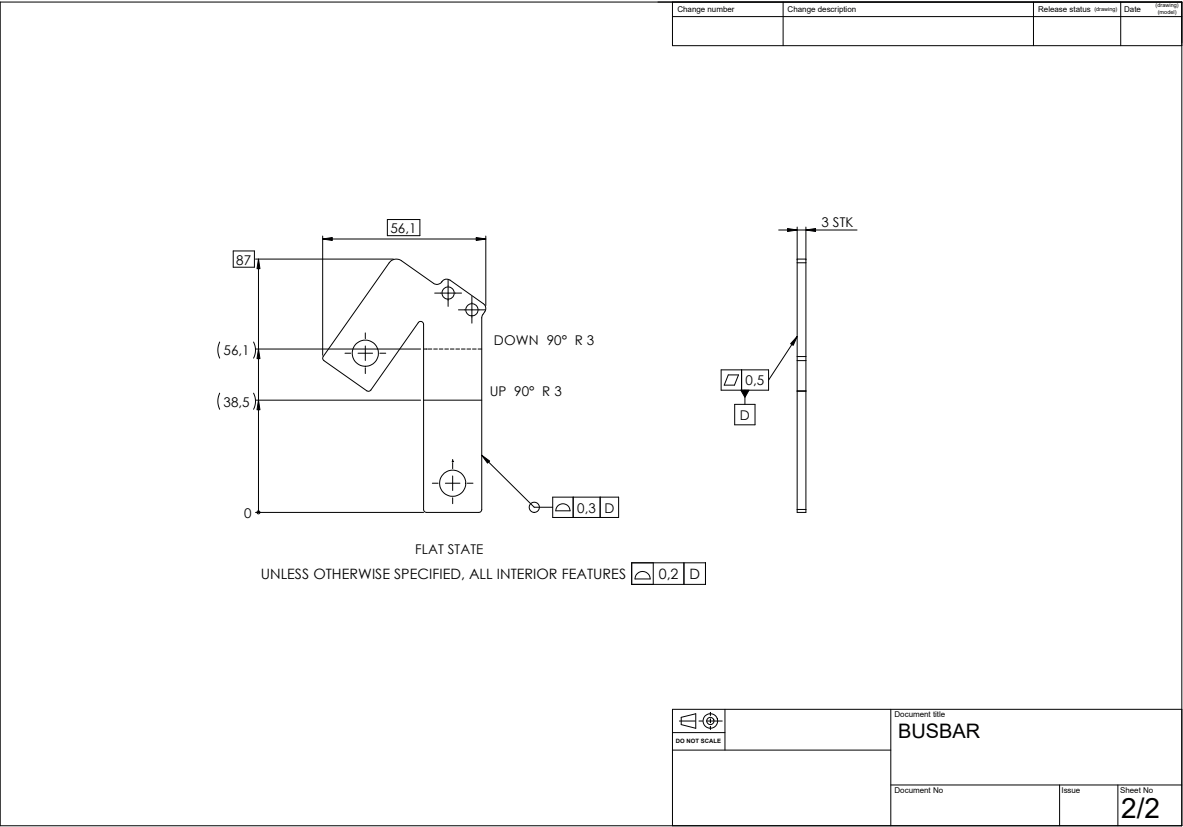
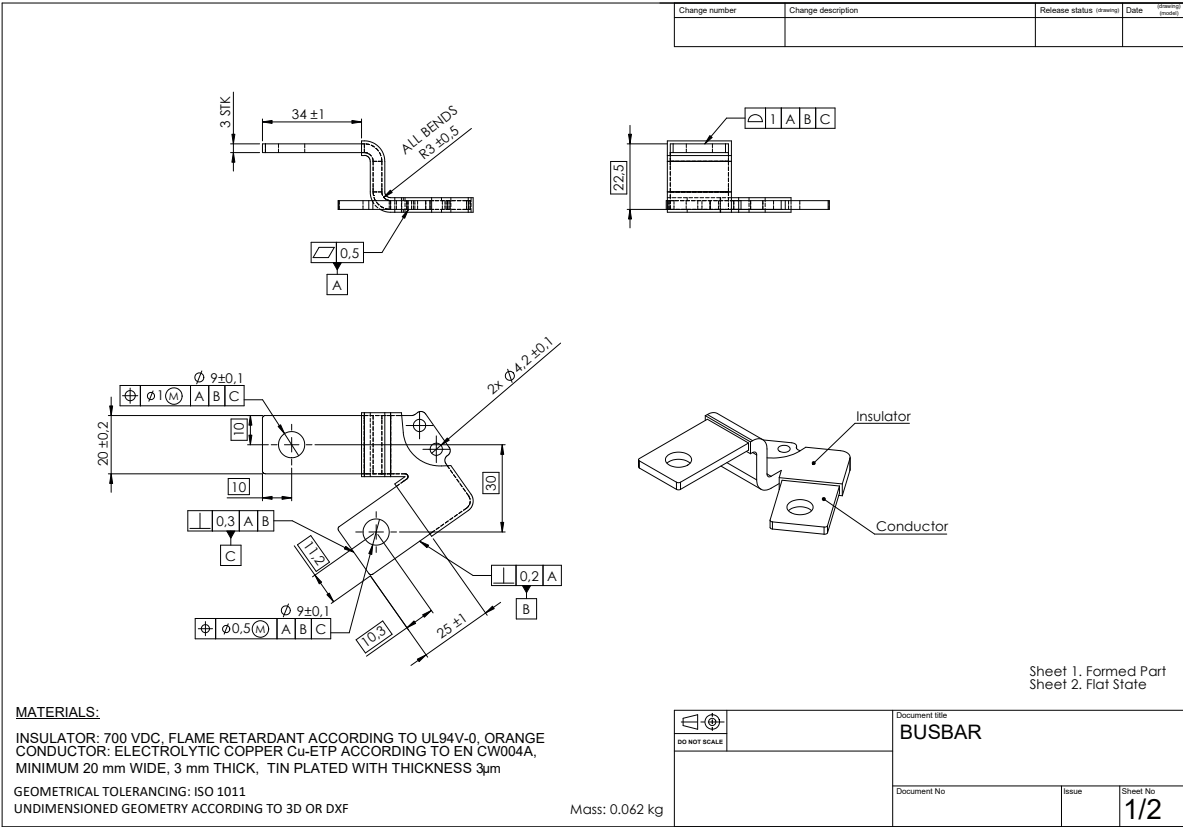
Kuvassa 21 on virtakiskon MBD-3D-malli.

Kuvassa 22 on virtakiskon 2D-piirustus, joka on tuotettu MBD-mallista. Lehdellä 1 on valmiin kappaleen tuotemäärittely. Siinä osalle on määritetty selkeä peruselementtijärjestelmä A|B|C, jonka suhteen toiminnalliset ominaisuudet on määritetty. Mahdollisimman suuren yhteensopivuuden takaamiseksi reikien paikoituksessa on käytetty maksimimateriaalin vaatimusta. Otsikkotaulun lähellä on määritetty sovellettavat standardit sekä kerrottu, että mitoittamaton geometria saadaan 3D-mallista tai levityskuvan sisältävästä DXF-tiedostosta. MBD-mallissa nämä tiedot on esitetty erillisessä "otsikkotaulutassa" (notes area).

Lehdellä 2 on esitetty kappaleen levityskuva. Yleistoleranssina annettu muototoleranssi 0,2 mm koskee mitoittamattomia reikiä. Reikien paikka voidaan ottaa ohjeen mukaan DXF-tiedostosta ja siten saatujen mittojen voidaan katsoa olevan TED-mittoja.

KUVA 21 Virtakiskon MBD-malli





6.3 Ohutlevyosa

Kuvissa 23 ja 24 esitetään ohutlevyosan tuotemäärittely ja piirustus.

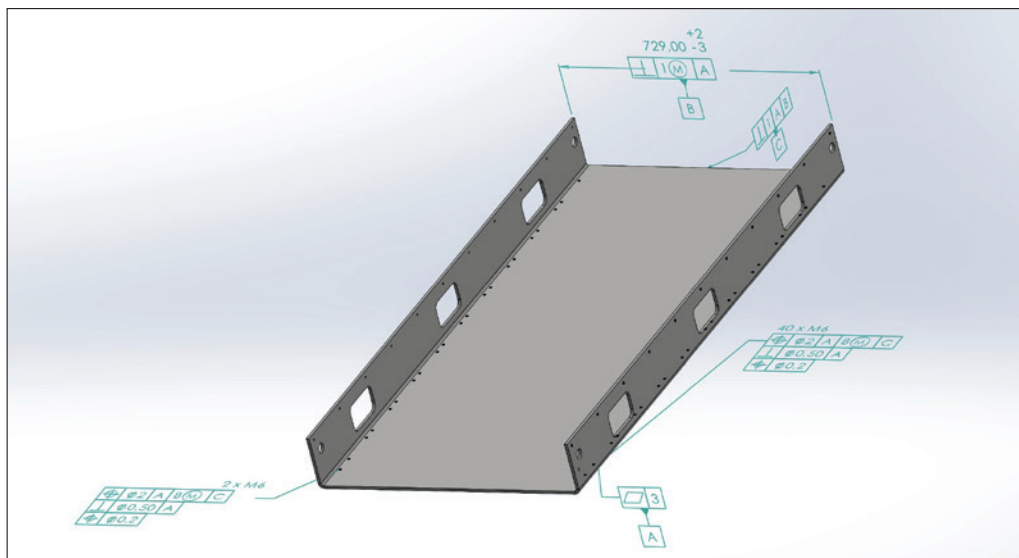
Lehdellä 1 esitetään särmätyn valmiin osan tuotemäärittely. Huomionarvoista on peruselementin B määrittely. Peruselementti B on särmätyn kourun keskitaso. Peruselementti B vaikuttaa reikien M6 sijaintiin siten, että niiden edellytetään olevan symmetrisesti keskitason molemmilla puolella paikkatoleranssin sallimissa rajoissa ($\pm 0,2$ mm). Lisäksi maksimimateriaalin vaatimus peruselementti B:lle takaa mahdollisimman laajan toleranssi-alueen särmäyksen tarkkuuden mukaan.

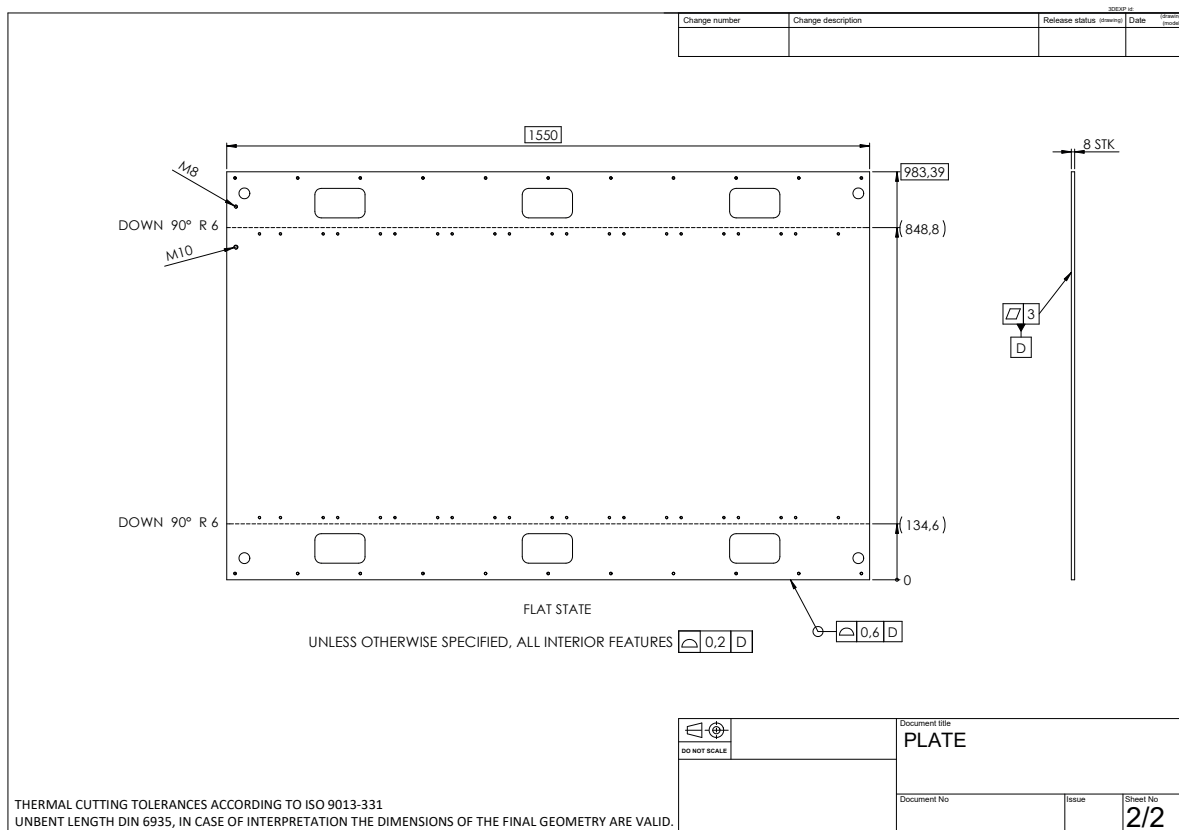
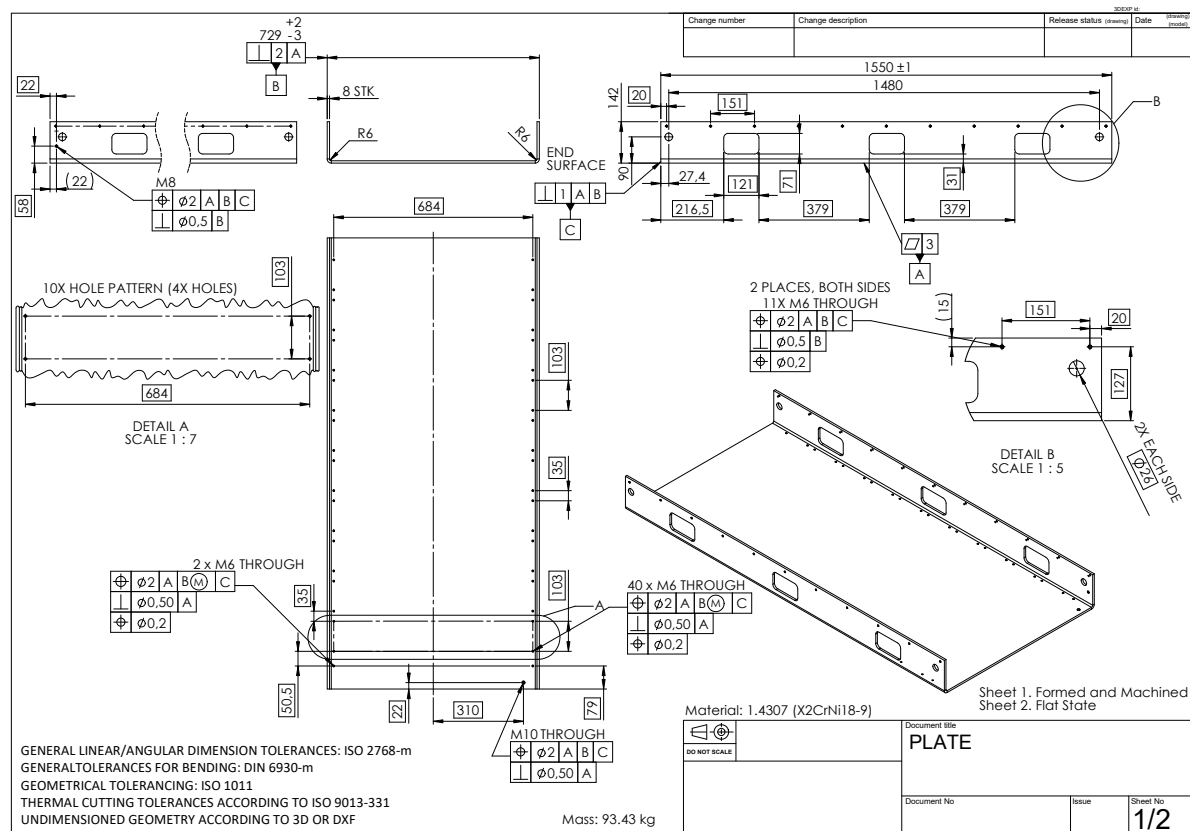
M6-reikien määrittelyssä on käytetty hierarkiaa, jossa tarkimmin ($\pm 0,2$ mm) on määritelty reikien sijainti toisiinsa nähden. Reikäryhmän sijainti muuhun kappaleeseen on väljempi.

Särmätyille pystypinnoille on määritelty riittävä kohtisuoruusvaatimus pohjapintaa A vasten.

HUOM. Levityskuvaa koskeva DIN-standardi DIN 6935 on julkaistu samansisältöisenä SFS-standardina SFS 5998:2015.

KUVA 23 Ohutlevyosan MBD-malli





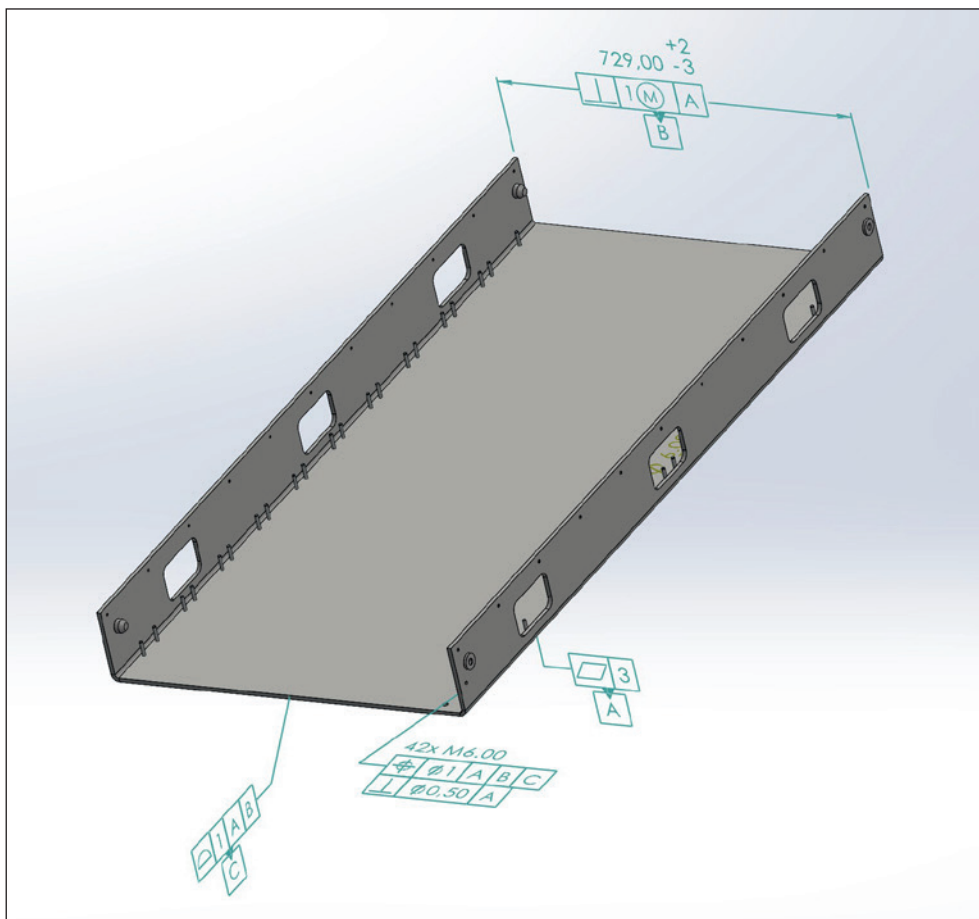
6.4 Hitsattu kokoonpano

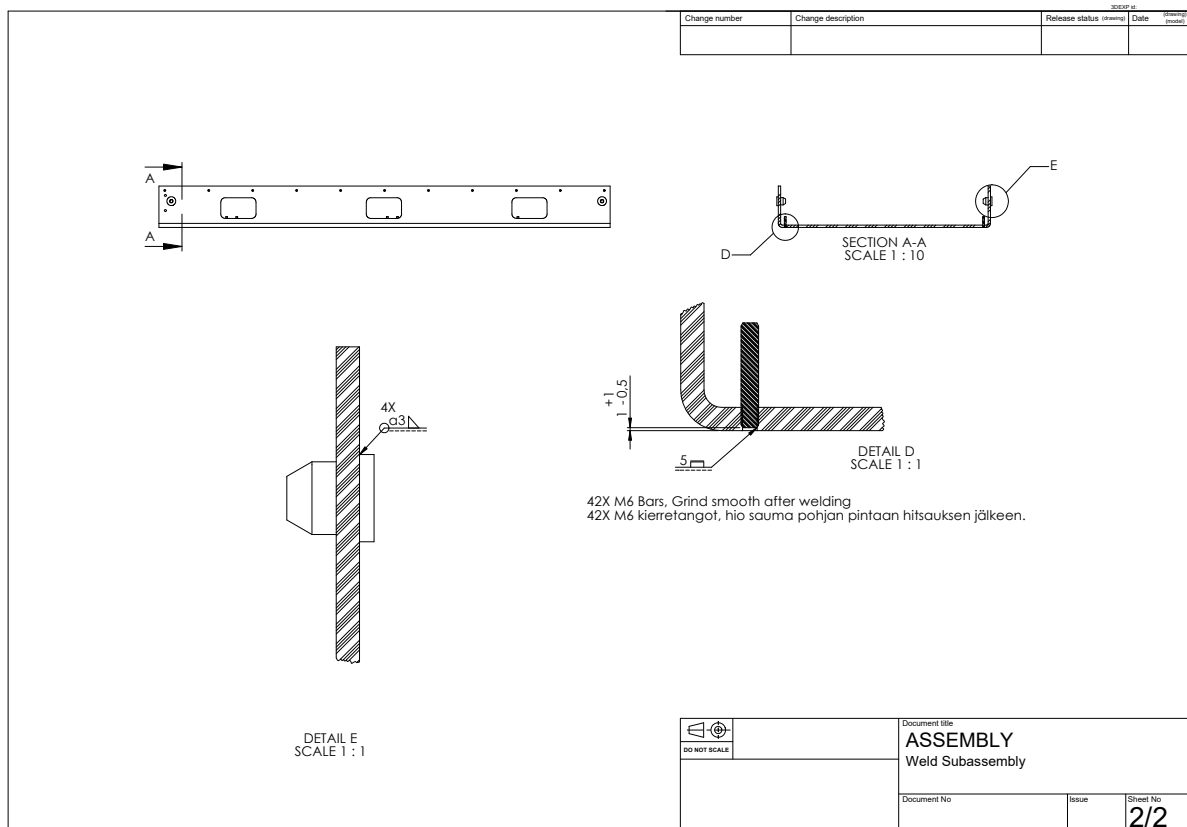
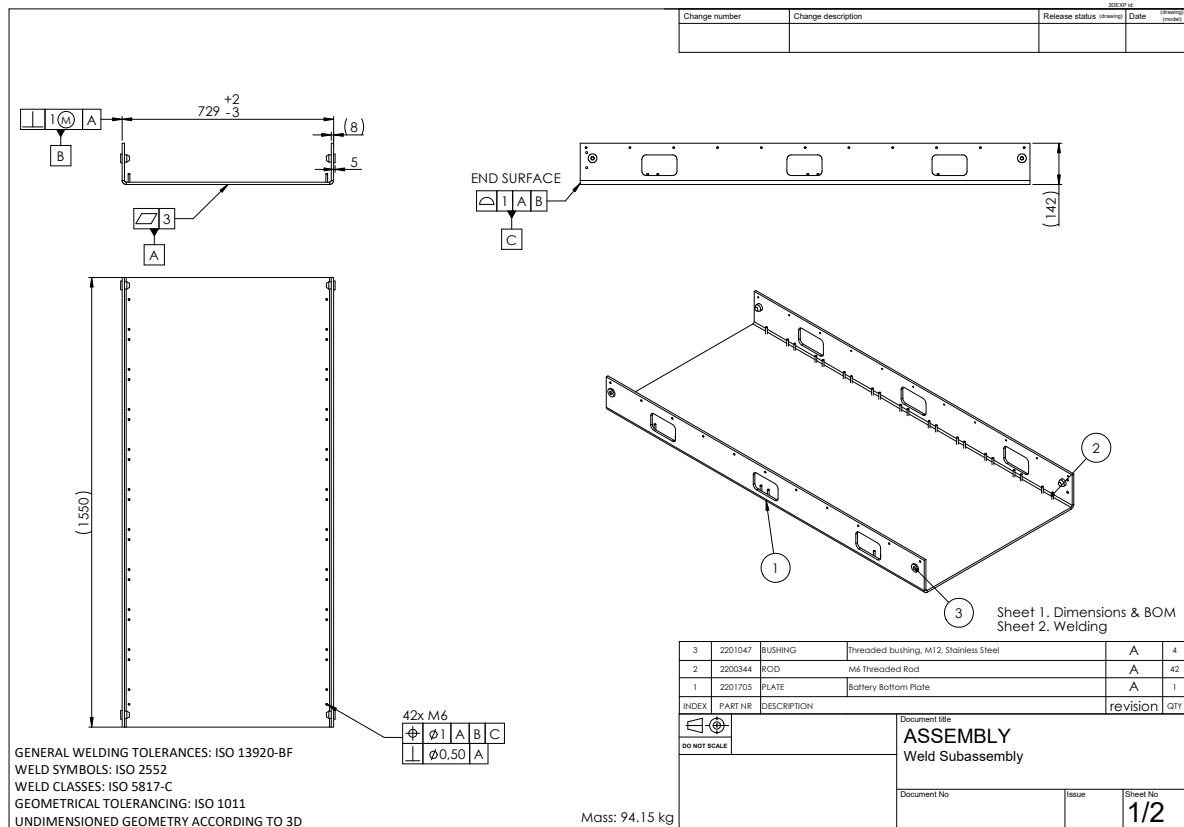
Kuvissa 25 ja 26 on hitsattu kokoonpano, jonka yhtenä komponenttina on kuvan 24 ohutlevyosa. Hitsatuille kierretapeille on esitetty täsmällinen sijaintivaatimus sekä kohtisuoruusvaatimus pohjapintaa vasten. Kohtisuoruusvaatimus on tiukempi kuin kierretapin sijainti.

Otsikkotaulun lähellä on lueteltuyleistoleranssit ja määritelty vaadittu hitsausluokka.

Koska kierretangon pätkät hitsataan kiinni, hitsauksen lämmöntuonti saattaa aiheuttaa muodonmuutoksia rakenteeseen. Tästä syystä muoto- ja suuntatoleranssit on määritelty myös hitsatulle rakenteelle.

KUVA 25 Hitsatun kokoonpanon MBD-malli

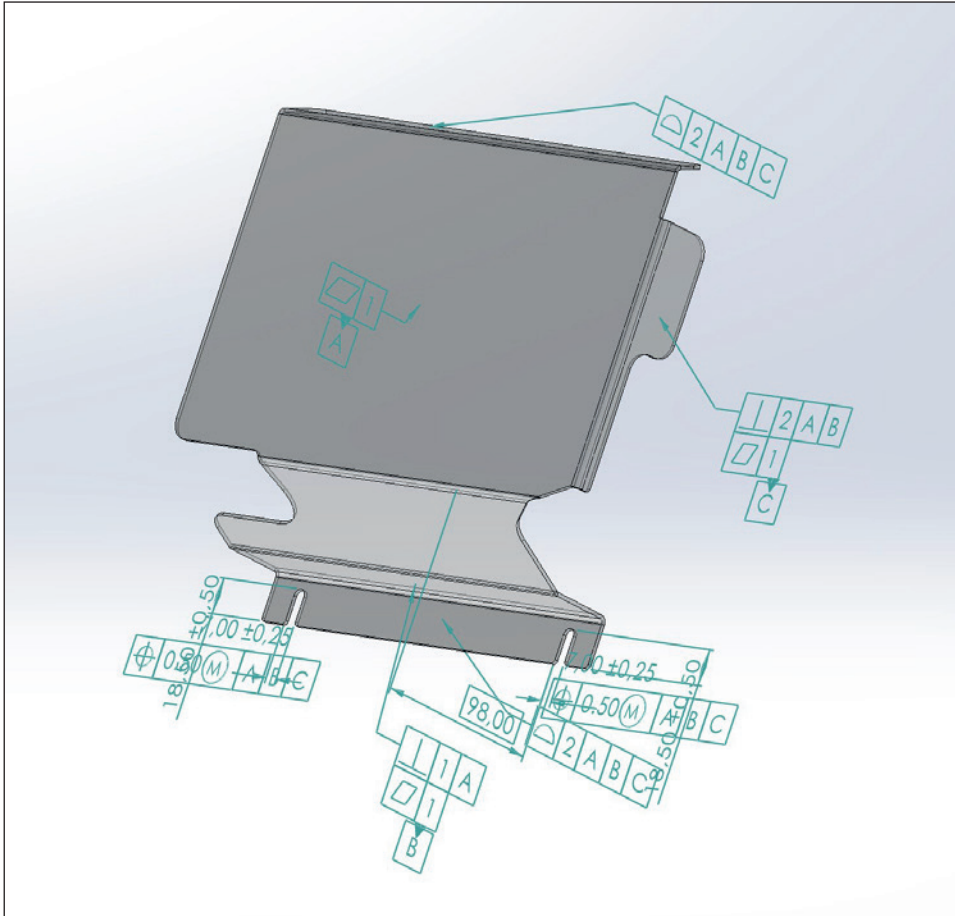




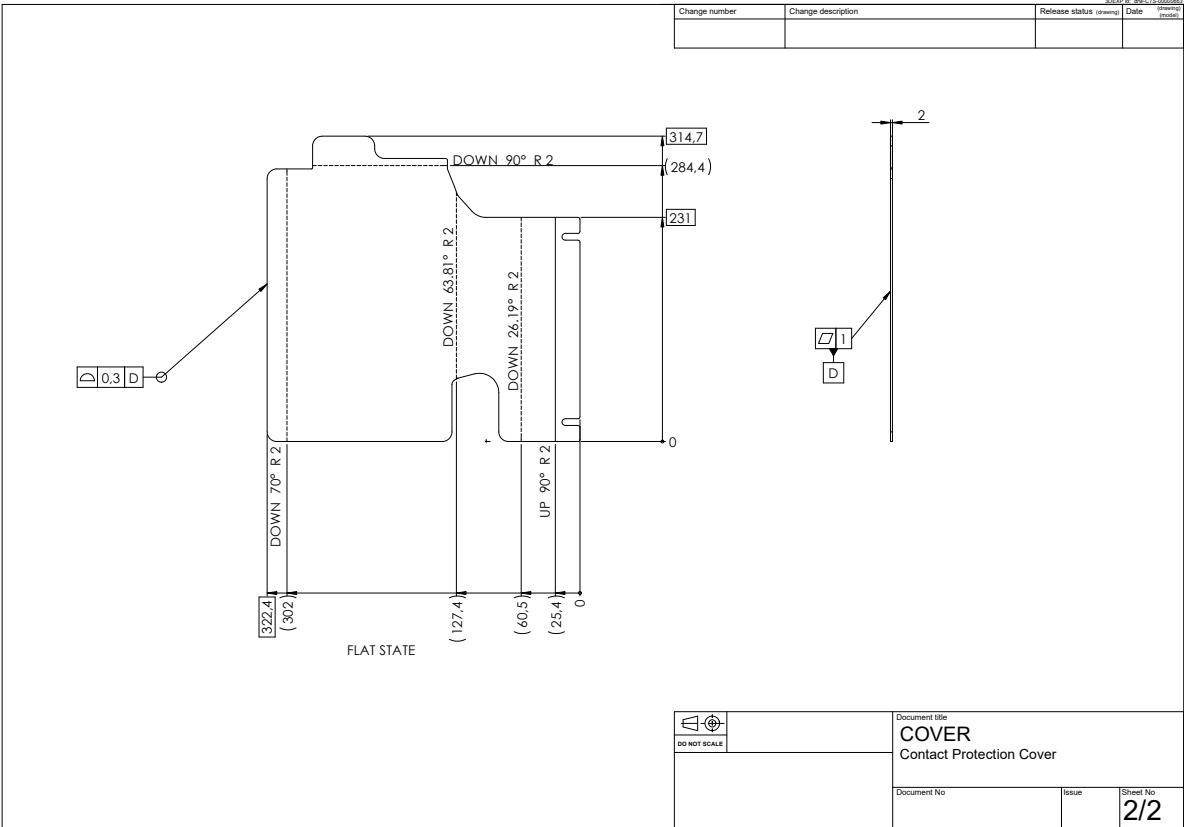
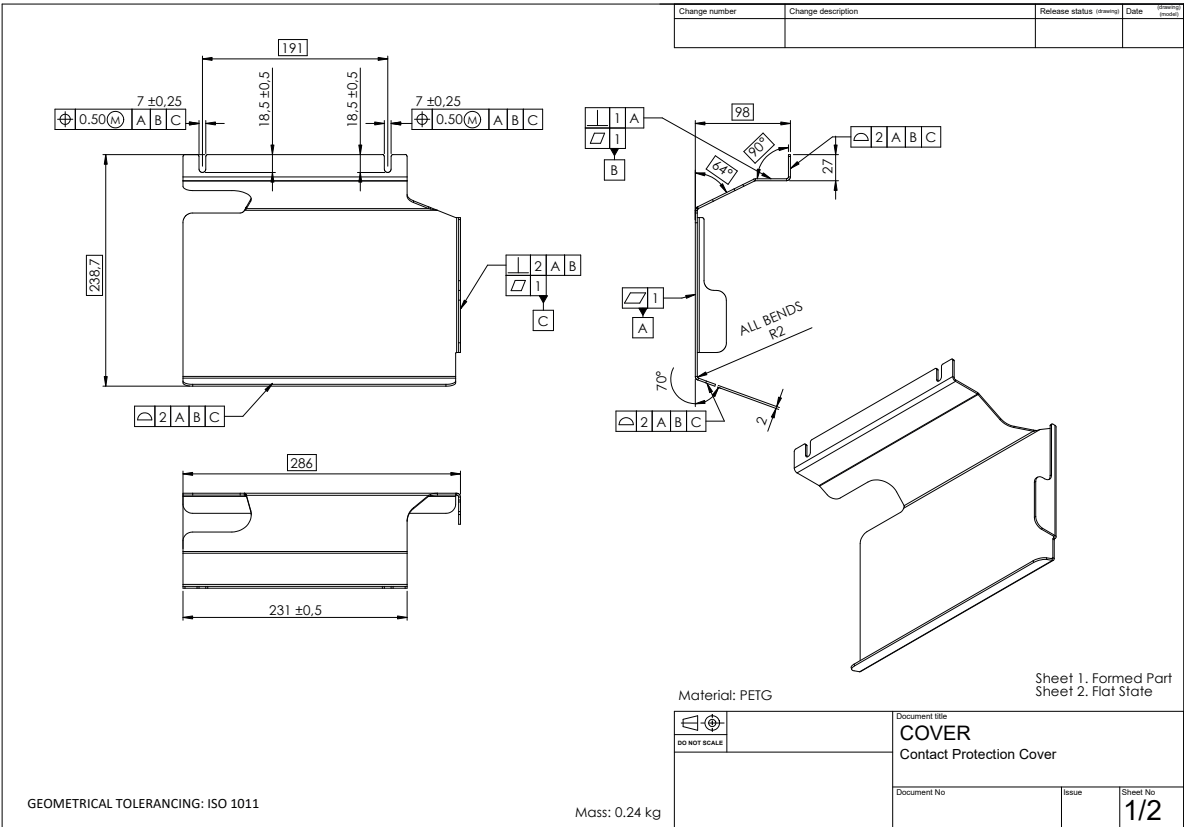
6.5 Muovipleksi

Kuvissa 27 ja 28 on muovipleksistä valmistettu särmätty osa. Aihio vesileikataan ja särmätään. Leveydeltään 7 mm:n urien sijainti on määritelty paikkatoleranssilla ja mahdollisimman paljon väljyyttä saadaan käyttämällä maksimimateriaalin vaatimusta.

KUVA 27 Muovipleksin MBD-malli



KUVA 28 Kuvan 27 muovipleksin 2D-piirustus



6.6 Yrityksen Y kokemuksia

Yrityksen Y mukaan piirustusten tekeminen on nopeutunut jonkin verran MBD:n käyttöönoton jälkeen. Saavutettu ajansäästöetu ei kuitenkaan ole kovin merkittävä eikä yksistään riitä syyksi käyttää MBD:tä.

MBD:n suurin etu suunnittelussa on se, että tärkeät osaa koskevat vaatimukset ja ominaisuudet saadaan kerrottua selkeästi ja yksiselitteisesti. CAD-ohjelman MBD-sovellus myös varoittaa ristiriitaisista tai puutteellisista määrittelyistä. Aloittelevalle suunnittelijalle tästä on paljon apua.

Yrityksen Y kokemuksia MBD:n soveltamisesta tuotannossa:

- Hitsaajat ja muut tuotantotyön tekijät haluavat yhä käyttää 2D-piirustuksia.
- On huomattu sukupolviero: varttuneempi väki on tottunut paperipiirustuksiin, kun taas nuoremmat ovat tottuneet katselemaan ruudulta 3D-malleja. On havaittavissa myös jonkinlaista muutosvastarintaa.
- Laatuosasto ei välillä ymmärrä merkintöjä ja eivätkä osaa soveltaa. Auttaa, jos mittaajalla on suunnittelu-, mittaus- tai koneistajatausta.
- Kokeneet koneistajat tajuavat nopeasti MBD-ajattelun. Koneistuskiinnittimien paikkoja voidaan usein hyödyntää suoraan datumeina MBD-mallissa. Koneistajat voivat tehdä myös ehdotuksia suunnitteluun kiinnitysten valinnasta.

Yritys Y summaa: "konepajat rakastavat GPS/MBD-systeemiä, kunhan peruselementit on määritelty järkevästi ja oikein. Porukan pitää vain tajuta asia kerran. Koneistajille asia on luonnostaan selvä".

3D-mallia voidaan hyödyntää monenlaisen valmistuksen suunnittelussa. Lisäksi 3D-malleja on hyödynnetty jo pitkään CAM-ohjelmistoissa koneistusohjelmien laadinnassa. Nimellismalli siirtyykin ongelmitta myös ohjelmistorajapintojen läpi joko natiivimuodossa tai jollain neutraalilla tiedostomuodolla, esim. STEP-muodossa. STEP AP242-tiedonsiirtomuoto sisältää tuotemäärittelyn koneluettavassa muodossa.

MBD-tyyppiset tuotemäärittelyt eivät sen sijaan siirry CAM-ohjelmiin ainakaan koneluettavassa muodossa. Vaikuttaa siltä, että tällä hetkellä niitä voidaan tarkastella CAM-ohjelmassa ainoastaan visuaalisina merkintöinä eivätkä ne sisällä mitään toiminnallisuksia. Joissakin tapauksissa tuotemäärittelymerkinnät siirtyvät pelkkinä viivanpalasina jopa lukuarvoja myöten. Joissakin tapauksissa tuotemäärittelymerkinnät eivät siirry lainkaan.

CAM-ohjelmissa 3D-mallin pinta haluttaisiin yleensä keskipintana (eli toleranssin keskellä). Jos toleranssi on epäsymmetrinen, tästä seuraa käsin tehtäviä korjauksia. Tämä voi koskea jopa epäsymmetristä reikäsovitetta (esim. $\varnothing 10\ H7\ \left(\begin{smallmatrix} +0,015 \\ 0,0 \end{smallmatrix}\right)$). 3D-malli on yleensä mallinnettu nimellismittaan ($\varnothing 10,00$). Koneistus puolestaan halutaan suunnitella keskipintaa ($\varnothing 10,0075$) käyttämällä.

CAM-ohjelmistojen edustajien mukaan ohjelmistoja pyritään kehittämään. Piirrepohjaisuus on vasta kehitysmässä ja sitä on odotettavissa ensin rei'ille ja reikäryhmille.

CAM-ohjelmissa on kehittyessään suuria mahdollisuuksia tehostukseen ja laadun parantamiseen:

- piirrepohjainen tunnistus on askel koneluettavuuden soveltamiseen (esim. reikäryhmien valinta ryhmänä, ei yksittäisinä reikinä)
- toleranssimerkintöjen koneluettavuus on ensimmäinen edellytys työprosessien automaattisempaan valintaan
- MBD-merkinnät toimivat koneistajan apuna työstökoneella

- materiaaliriippuvaiset työstöarvot voidaan saada kirjastosta; voidaan laatia esitetyt työstöarvoja toleranssit otetaan huomioon asianmukaisella tavalla:
 - o ohjelmoija huomioi ohjelmoinnissa: operaatiojärjestys, pilottireikä, pieni-isompi-kalvaus
 - o työkaluissa on tarkkuuseroja
 - o työstökoneen operaattori näkee ruudulta vaatimukset,
 - o laadunvalvonta koneella, koskettava mittaus antureilla

Saman ohjelmistoperheen sisällä tiedonsiirto ja MBD-tiedon hyväksikäyttö on jo toteutunut. Tällaisia ohjelmistoperheitä ovat isot CAD-järjestelmät, kuten Dassault Catia, Siemens NX, Creo ja Solidworks (muutakin voi olla). Suomen PK-sektorilla monien, usein hinnakkaiden, järjestelmien hankinta voi olla taloudellisesti haastavaa. Ohjelmistot vaativat lisäksi syvällistä asiantuntemusta käyttäjältä.

Taloudellisesti ja teknisesti toimiva ratkaisu voisi olla, että konepaja investoi yhteen MBD:tä ymmärtävän CAD-järjestelmän CAM-ohjelmamoduuliin. Yhteen CAM-ohjelmaan liittyvä tekninen osaamiseen, ylläpitoon sekä lisenssikustannuksiin liittyvät kulut pysyvät siedettävänä. Sopivin CAD-ohjelma voidaan valita asiakaskunnan perusteella. Saman ohjelmiston sisäiset MBD-mallit siirtyvät silloin ongelmitta. Muista CAD-ohjelmista MBD-dataa voidaan siirtää import-toiminnoilla. Import-sisäänluku voi hyödyntää natiiviformaatteja tai standardoitua STEP 242-siirtoformaattia. Import-toiminnoissa on havaittu puutteita ja heikkouksia, suoranaisia virheitäkin. Niitä on syytä testata jo ohjelmiston hankintavaiheessa.

Yhteenvetona voisi todeta, että niin kauan kuin CAM-ohjelmat eivät pysty tukemaan MBD-toimintatapaa, tämä on este MBD:n laajamittaiselle soveltamiselle.

8 MBD laadunhallinnassa

Koordinaattimittauskoneiden mittausohjelmistot tukevat MBD-dataa yleisesti ottaen hyvin. Tietokoneohjattu mittaus pystyy hyödyntämään GPS-toleranssimerkintöjä koneluettavasti ja pystyy tuottamaan mittausohjelman sisäänrakennettujen strategioiden perusteella. MBD-datan käyttämistä laadunvalvonnessa on käsitelty yksityiskohtaisemmin METSTAn julkaisussa "Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon" [9.1].

Kaupallisia ohjelmia tuottavat niin mittauskonevalmistajat kuin muut ohjelmistoyritykset. CAM-ohjelmiin voidaan liittää MBD-dataa ymmärtäviä mittausohjelmistoja, vaikka itse CAM-ohjelmisto ei MBD:tä pysty hyödyntämään.

Muutama vuosi sitten STEP-tiedonsiirtostandardin rinnalle ilmestyi QIF-standardi (QIF, Quality Information Framework), joka hyödyntää XML-pohjaista tiedonsiirtomallia. QIF on tarkoitettu laadunhallinnan toimintoihin. QIF 3.0 -standardi on alkujaan yhdysvaltalainen ANSI-standardi, mutta se julkaistu myös ISO-standardina ISO 23952:2020.

9 Lopuksi

MBD:n avulla voidaan tehostaa useita eri toimintoja tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa. MBD:n avulla voidaan poistaa päällekkäisyyksiä ja vähentää virheiden mahdollisuuksia erityisesti valmistuksessa.

MBD liittyy osaltaan muuhun teollisuudessa tapahtuvaan digitaalisuuskehitykseen ja esimerkiksi digitaalisiin kaksosiin. Laajemmassa kokonaisuudessa MBD linkittyy ylemmän tason MBE-ratkaisuihin (Model-Based Enterprise).

Suomessa on ollut heräävää mielenkiintoa MBD:tä kohtaan jo pitkän aikaa. Tämän oppaan kirjoittamishetkellä usea koneita ja järjestelmiä valmistava yritys tutkii MBD:n

hyödyntämistä erilaisten pilottiprojektien kautta. Rutiininomaisesti MBD:tä hyödyntää jokunen yritys, kuten kohdassa 6 esitelty yritys. Tutkimus- ja oppilaitokset ovat tietoisia aiheesta ja jotkin niistä ovat sisällyttäneet MBD:hen liittyvää sisältöä opinto-ohjelmiinsa.

Ohjelmistojen kyvykkyyttä ja tiedonsiirron puutteita olisi edelleen parannettava, jotta MBD:n hyödyt saataisiin täysimääräisesti käyttöön. Erityisesti CAM-ohjelmistojen olisi kehitettävä kyvykkyyttä koneluettavuuteen. Yhden ohjelmiston sisällä tapahtuva CAD/CAM-suunnittelu mahdollistaa jo nykyisellään MBD-datan laajamittaisen hyödyntämisen.

Viitteet

9.1 METSTAn julkaisemat MBD-oppaat

- [1] Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. METSTA. 2016.
- [2] Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon. METSTA. 2021.

9.2 Viitattut standardit

SFS 5803 Meistotekniikka. Yleistoleranssit. 2015

SFS 5804 Meistotekniikka. Meistettyjen teräsosien suunnitteluohjeita. 2015

SFS 5998 Valssatun teräsohuttelevyn kylmätaivutus. 2015

SFS-EN 22768-1 Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit. 1993

SFS-EN 22768-2 Yleistoleranssit. Osa 2: Ilman toleranssimerkintää olevien elementtien geometriset toleranssit. 1993. Kumottu

SFS-EN ISO 128-1:2020 Tekninen tuotedokumentointi. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 1: Johdanto ja perusvaatimukset

SFS-EN ISO 1101:2017 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit

SFS-EN ISO 1660:2017 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Muototolerointi

SFS-EN ISO 5458:2018 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Ryhmien ja yhdistelmien geometrinen määrittely

SFS-EN ISO 5459 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Peruselementit ja peruselementtijärjestelmät

SFS-EN ISO 8015 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Perusteet. Käsitteet, periaatteet ja säännöt

SFS-EN ISO 8062-3:2023 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Part 3: General dimensional and geometrical tolerances and machining allowances for castings using $\pm$ tolerances for indicated dimensions

SFS-EN ISO 8062-4:2023 Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts — Part 4: Rules and general tolerances for castings using profile tolerancing in a general datum system

SFS-EN ISO 9013 Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemäärittely ja laatutoleranssit

SFS-EN ISO 13715:2019 Tekninen tuotedokumentointi. Määrittämättömän muotoiset särmit. Merkintä ja mitoittaminen

SFS-EN ISO 13920:1996 Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti

SFS-EN ISO 14405-1:2016 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Mittatolerointi. Osa 1: Pituusmitat

SFS-EN ISO 14405-2:2019 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional tolerancing. Part 2: Dimensions other than linear or angular sizes

SFS-EN ISO 14253-1:2017 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Kappaleen tai mittavälineen tarkastus mittaamalla. Osa 1: Päätöksentekosäännöt määrittelymukaisuuden tai määrittelynvastaisuuden todentamiseen

SFS-EN ISO 16792:2021 Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt

SFS-EN ISO 21920-1:2022 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pinnan ominaisuus: Profili. Osa 1: Pinnan ominaisuuksien ilmoittaminen

SFS-EN ISO 22081:2021 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Geometriset yleismäärittelyt ja mittojen yleismäärittelyt

SFS-ISO 15787:2016 Tekninen tuotedokumentointi. Lämpökäsitellyt metalliset kappaleet. Esittäminen ja merkinnät

ISO 20457:2018 Plastics moulded parts — Tolerances and acceptance conditions

ISO 23952:2020 Automation systems and integration — Quality information framework (QIF) — An integrated model for manufacturing quality information

ASME Y14.5:2018 Dimensioning and Tolerancing

Standardeja voi ostaa SFS:n verkkokaupasta <https://sales.sfs.fi/>.

TEKNINEN TUOTEDOKUMENTOINTI JA TOLERANSSIT

METSTA koordinoi kansallista standardointiryhmää SR 290, jonka vastuualueella on tekninen piirustus ja ISO GPS-toleranssi-järjestelmä.



HALUAT ESITTÄÄ KYSYMYKSIÄ

Mikäli sinulla on **teknistä kysyttävää** teknisen tuotedokumentoinnin standardeista



HALUAT VAIKUTTA

Jos olet **kiinnostunut osallistumaan ryhmän SR 290 standardointityöhön**

Ota yhteyttä ➔ jukka-pekka.rapinoja@metsta.fi

MITÄ ON STANDARDOINTI?

Standardointi on vaikuttamista:

- voit vaikuttaa standardien sisältöön
- opit hyödyntämään standardeja
- pystyt ennakoimaan tulevia muutoksia
- pääset verkottumaan uusien sidosryhmien kanssa.

"Professionals have standards" - METSTA



Tehokkaampi ja turvallisempi maailma

SFS palvelee

Kun sinulla on kysyttävää julkaisutilauksista tai tarvitset apua verkkokaupassa, ota yhteyttä sales@sfs.fi tai p. 09 1499 3353. Asiakaspalvelumme palvelee sinua arkin klo 9–15.

SFS Online -palveluun liittyvissä asioissa voit lähettää viestin osoitteeseen online@sfs.fi tai soittaa asiakaspalveluumme 09 1499 3353.

Jos sinulla on mitä tahansa kysyttävää standardeista, ota yhteyttä tietopalveluumme info@sfs.fi tai p. 09 1499 3455. Puhelinpalvelu on avoinna tiistaisin ja torstaisin klo 9–12 ja 13–15. Muina aikoina kysymyksiisi vastataan nopeimmin sähköpostitse.

sfs.fi

Suomessa on hajautettu standardointijärjestelmä, jossa METSTA vastaa laajasti teknologiateollisuuteen kuuluvien materiaalien, suunnittelun, valmistuksen, tuotteiden sekä energianhallinnan standardoinnista.

SFS Suomen Standardit ry on eurooppalaisen CENin (European Committee for Standardization) ja maailmanlaajuisen ISON (International Organization for Standardization) jäsen. SFS ylläpitää Suomen tarpeita vastaavaa standardikokoelmaa sekä vastaa standardien myynnistä.

SFS on työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) nimeämä standardoinnin keskusjärjestö Suomessa.

METSTA

METSTA
Eteläranta 10
00130 Helsinki
Puh. 09 19 231 (vaihte)
etunimi.sukunimi@metsta.fi
www.metsta.fi