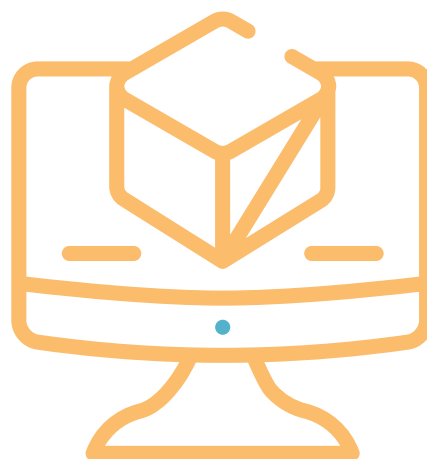




Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon



**Toimittanut**

Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA

Kirjoittajat

Antti Henell, JAMK

Mikko Hinkkanen, PDSVision Oy

Mika Kellokoski, iLOQ Oy

Mikko Kähäri, Zeiss

Timo Laaksonen, Cadworks Oy

Joni Nieminen, TAMK

Antti Pulkkinen, VTT

Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA

Joakim Simons, IDEAL GRP

Pekka Uski, Etteplan

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Mallipohjainen tuotemäärittely (MBD)	6
3	Termit ja määritelmät	7
4	Yleisiä vaatimuksia	9
4.1	MBD:n käyttöönotto	9
4.1.1	Yrityksen nykyinen toimintatapa	9
4.1.2	Askeleet kohti mallipohjaista toimintatapaa	9
4.1.2.1	Suunnittelu	9
4.1.2.2	Hankintatoimi	9
4.1.2.3	Tuotannosuunnittelu	9
4.1.2.4	Tuotanto	9
4.2	CAD-järjestelmän MBD-ohjelmistomoduuli	10
4.3	Viittaaminen standardiin ISO 16792	10
4.4	Mallitiedoston rakenne	10
5	MBD-mallitiedosto	11
5.1	Hallinnolliset tiedot	11
5.1.1	Mallitiedoston luokittelu	11
5.1.1.1	Yleistä	11
5.1.1.2	Luokituskoodi 1	11
5.1.1.3	Luokituskoodi 2	11
5.1.1.4	Luokituskoodi 3	11
5.1.1.5	Luokituskoodi 4	11
5.1.1.6	Luokituskoodi 5	11
5.1.2	Mallin tarkkuus	12
5.2	Mallin täydellisyys	12
5.3	Mallin assosiatiivisuus	12
5.4	Mallin koordinaatistot	12
5.5	Tuoterakenne	12
5.6	Menetelmäkohtaisia näkökohtia	13
5.6.1	Koneistusosat	13
5.6.2	Valut, takeet, ruiskuvalu ja lisäävä valmistus (AM)	14
5.6.2.1	Päästöt	14
5.6.3	Ohutlevyosat	14
5.6.3.1	Ohutlevyosien mallinnus	14
5.6.3.2	Ohutlevypiirteet	15
5.6.3.3	K-arvo	15
5.6.3.4	Aukilevitys	15
5.6.4	Hitsatut rakenteet	15
5.7	Kokoonpanot	16
6	Mitoitus ja muut annotaatiot	17
6.1	Mallissa esitettävät mitat	17
6.1.1	Yleistä	17
6.1.2	Mittojen ryhmittely tuotannon kannalta	18
6.1.3	Tarkkuus	18
6.1.4	Teoreettiset mitat (TED, Basic dimension)	19
6.1.5	Pituusmitat	19
6.1.6	Kyselemällä saatavat mitat, mallin mittaaminen mittaustyökalulla	20
6.2	Peruselementit (Datum)	20
6.2.1	Yleistä	20
6.2.2	Peruselementtijärjestelmä	23
6.2.3	Rajoitetut peruselementit (Datum target)	23
6.3	Mitalliset elementit	24
6.4	Geometriset toleranssit	25
6.4.1	Leikkaustaso	25
6.4.2	Suuntataso	26
6.4.3	Suuntaelementti	26

6.4.4	Koontitaso.....	26
6.4.5	Rajatun alueen määrittely.....	27
6.5	Toleranssien suunta (symmetrinen vai toiseen suuntaan).....	27
6.6	Yleistoleranssi.....	27
6.7	Pinnan ominaisuudet.....	29
6.8	Särmät.....	29
6.9	Yleiset annotaatiot.....	29
6.10	Valmistustavan ilmoittaminen.....	30
6.11	2D-piirustustiedon käyttö annotaatioita luodessa.....	30
6.12	Annotaatioiden automaattinen luonti.....	30
6.13	Leikkauskuvannot.....	30
6.14	Osasuurenokset.....	30
6.15	Attribuuttitiedon käyttö annotaatioissa.....	30
6.16	Annotaatiot parametrisissa malleissa.....	30
7	MBD-mallin tutkiminen ja kyselyt.....	31
7.1	Etsi tiettyyn geometriaan assosioitu annotaatio.....	31
7.2	Löydä tietyn tyyppiset annotaatiot mallista.....	31
7.3	Vertaa annotaatioiden eroavuuksia mallien välillä.....	31
7.4	Tarkista annotaatioiden semantiikka sekä syntaksi.....	31
8	Annotaatiotietojen käyttö jatkoprosesseissa.....	32
8.1	Annotaatiotiedon digitaalinen säie (digital thread).....	32
8.2	Variaatioanalyysi (toleranssianalyysi).....	32
9	MBD-tiedon käyttäminen tuotannossa.....	33
9.1	NC-koneistuksen työstöradat (CAM).....	33
9.2	Ohutlevyosat.....	33
9.2.1	Aukilevitys.....	33
9.3	Kokoonpanotyö.....	33
9.4	Hitsaus.....	34
9.5	Lämpökäsittelyt ja pinnoittaminen.....	34
10	MBD-tiedon käyttäminen laadunvalvonnassa.....	35
10.1	Mittaus koordinaattimittauskoneella.....	36
10.1.1	Peruselementtien luominen PMI-tiedon perusteella.....	37
11	Tiedonhallinta.....	41
11.1	Esitystavat.....	41
11.2	Tuotannonohjaus.....	41
11.3	Tuotannonohjaus digitaalisesti.....	42
11.4	Tuotannonohjaus paperipohjaisesti.....	42
11.5	MBD-siirtoformaatit.....	42
11.6	Technical data package.....	42
11.7	MBD-mallien katselutavat.....	43
11.7.1	Katseluformaatit.....	43
11.7.2	Katselu päätelaitteelta.....	43
11.7.2.1	Kännykkä.....	43
11.7.2.2	Tabletti.....	43
11.7.2.3	Kannettava tietokone.....	43
11.7.2.4	Näyttö tai televisio.....	43
11.7.3	Laajennettu todellisuus (Extended reality).....	43
12	MBD-mallipohja.....	44
12.1	Rakenne.....	44
12.2	Yleinen annotaatiotaso (otsikkotaulu).....	44
12.2.1	Materiaalitiedot.....	45
12.2.2	Sovellettavat standardit.....	45
12.2.3	Toleranssijärjestelmä.....	45
12.2.4	Muut merkinnät.....	45
12.3	Näkymät.....	45
12.4	MBD-mallin sisällysluettelo.....	46
13	Lähteet.....	47
13.1	Kirjallisuusviitteitä.....	47
13.2	Internet.....	47
13.3	Standardeja.....	47

Mallipohjainen tuotemäärittely (Model-based Definition, MBD) on valtava digitaalinen loikka valmistavassa teollisuudessa. Tähän saakka MBD:n tarjoamat mahdollisuudet ovat olleet lähinnä lupauksia tulevaisuuteen ja teollisuus on ollut odottavalla kannalla.

Nykyisin on mahdollista lunastaa edellä mainittuja lupauksia ainakin osittain. Tilanteeseen vaikuttaa moni asia. Yhtäällä standardien, tiedonsiirtoformaattien ja CAX-ohjelmistojen kehitys on mahdollistanut tiedon luomisen ja jakelun digitaalisessa muodossa, toisaalla teollisuuden mahdollisuudet digitaalisen tiedon hyödyntämiseen prosesseissaan ovat kasvaneet. Oma osuutensa on myös työntekijöiden digitaidoilla ja asenteilla; nuoremmat sukupolvet ovat luonnostaan diginatiiveja.

METSTA julkaisi vuonna 2016 raportin "Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet", jossa MBD-menetelmää valotettiin. Tässä käsillä olevassa oppaassa aihetta syvennetään erityisesti käytännön toimintatapojen osalta. Opas on tarkoitettu ohjeeksi MBD-menetelmän käyttöönottamiseksi suomalaisessa valmistavassa teollisuudessa, mutta se ei ole suinkaan tyhjentävä selvitys aiheesta.

Oppaassa annetaan yleistä ohjeistusta, jossa ei oteta kantaa yksittäisten ohjelmistojen toiminnallisuuksiin, vaan keskitytään siihen, mitä mallipohjainen tuotemäärittely edellyttää 3D-mallilta. Oppaassa kerrotaan, kuinka mallipohjainen tuotemäärittely tehdään erilaisten valmistusmenetelmien ja teknologioiden näkökulmasta, sikäli kun MBD:llä on vaikutusta näihin. Oppaan tarkoitus ei ole opettaa, kuinka kappaleita ja kokoonpanoja suunnitellaan, vaan miten ne määritellään siten, että kappaleet ja niistä koostuvat kokoonpanot voidaan valmistaa ilman piirustuksia.

Oppaassa esitellään ja suositellaan standardisoituja toimintatapoja. Yksi merkittävä syy oppaan laadintaan on vaikuttaa varhaisessa vaiheessa teollisuuden käytäntöihin siten, että ne olisivat alusta alkaen mahdollisimman pitkälle kansainvälisten standardien mukaisia. Standardien oikea soveltaminen helpottaa globaalia tiedonsiirtoa. Väärien toimintatapojen muuttaminen myöhemmin voi olla vaikeaa.

Opas soveltuu tuotesuunnittelijoille, tuotannonsuunnittelijoille, laadunvarmistuksen ammattilaisille ja kaikille, joiden tarvitsee määritellä ja dokumentoida tuotetta ja siihen liittyviä prosesseja ja joita aiemmin määriteltiin piirustuksilla.

Tämä opas on laadittu laajana yhteistyönä eri tahojen asiantuntijoiden kesken. METSTA haluaa kiittää kaikkia mukana olleita asiantuntijoita.

Helsingissä 1.11.2021

Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA

Mallipohjaisessa tuotemäärittelyssä (Model-based Definition, MBD) tuotteen geometria ja vaatimusmäärittely esitetään digitaalisena 3D-mallina. MBD-tuotemalliin voidaan linkittää myös muuta dataa, kuten asiakirjoja ja ohjeita. MBD-tuotemalli korvaa perinteisen piirustuksen kokonaan tai osittain. MBD:n kantavana ajatuksena on käyttää samaa digitaalista tuotemallia koko arvoketjussa. Tuotteen arvoketjun voidaan tässä yhteydessä katsoa sisältävän kaikki yrityksen sekä sen toimitusverkon toiminnot ja mukaan luettuna jopa loppuasiakas. 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.

MBD-toimintatavan pyrkimyksinä ovat esimerkiksi täsmällisempi ja täydellisempi vaatimusmäärittely CAX-sovelluksen ohjaamana, ajansäästö suunnittelu- ja valmistusprosessien eri vaiheissa, kaikkialla ajantasainen ja ristiriidaton tietomalli, virheetön ja mahdollisimman automaattinen tiedonsiirto tietojärjestelmien ja eri toimijoiden välillä sekä muutosprosessien luotettava hallinta. Tiedonsiirrossa MBD-tuotemallin koneluettavuutta pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon.

Näin siis teoriassa.

Käytännössä rajoituksia ja haasteita on sekä CAX-ohjelmistojen toiminnallisuuksissa, MBD-tietomallin luo-

misessa, sen jakamisessa eteenpäin arvoketjussa ja mahdollisten ohjelmistorajapintojen läpi, tiedon koneluettavuudessa, eri osastojen ja alihankkijoiden nykyisissä toimintatavoissa, koulutuksessa ja tietämyksessä sekä asenteissa. Kaikkia lueteltuja osa-alueita olisi kyettävä kehittämään eteenpäin, mutta ei pelkästään yrityksen sisällä. Kaikille toimitusketjussa oleville olisi tarjottava toimiva ja luonteva tapa käyttää MBD-dataa. Toimintatapojen olisi lisäksi oltava yhteisiä ja standardisoituja. ISO onkin julkaissut viime vuosina useita MBD-toimintamallia tukevia standardeja, tärkeimpinä mainittakoon ISO 16792, ISO 1101 ja ISO 10303-242. Suomessa METSTA on pyrkinyt lisäämään tietoisuutta eri tavoilla.

Tässä oppaassa pyritään antamaan ohjeistusta MBD:n käyttöönottoon ja hyödyntämiseen. Opas ei ole sisällöltään millään tavalla tyhjentävä, vaan toimii lähinnä hyvänä ohjenuorana ja muistilistana huomioon otettavien asioiden osalta. Aihealueen laajuuden vuoksi käsiteltäviä aiheita on jouduttu rajaamaan. Esimerkiksi MBD:n suhdetta yrityksen muihin tietojärjestelmiin ja yleisempiä tietoteknisiä vaatimuksia käsitellään varsin suppeasti.

Yksityiskohtaisempi kuvaus MBD:n perusteista on esimerkiksi METSTAn julkaisemassa MBD-raportissa [ks. 13.1, [4]]. Myös internetistä löytyy paljon aiheita koskevia julkaisuja.

3 Termit ja määritelmät

Taulukossa 1 luetellaan oppaassa käytettyjä termejä ja niiden määritelmiä.

TAULUKKO 1 Oppaassa käytettyjä termejä

No	Termi	Määritelmä	Huomioita
1	MBD Mallipohjainen tuotemäärittely	Menetelmä, jossa digitaalinen tuotemalli sisältää kaiken tuotteen valmistamiseen tarvittavan informaation ja korvaa 2D-piirustuksen. MBD koostuu geometriasta, annotaatioista, attribuuteista ja esitysformaateista.	MBD on lyhenne termistä Model Based Definition.
2	Malli Tuotemalli	Tuotteen kolmiulotteinen digitaalinen esitystapa, joka sisältää geometrian.	Geometria voi olla mallin geometriaa tai apugeometriaa.
3	Annotaatio	Malliin liitetty näkyvä (ihmisen luettava) merkintä, jonka avulla välitetään tietoa tuotteen ominaisuuksista (mitat, toleranssit, pintakäsittely, materiaalit jne.).	Joissakin yhteyksissä puhutaan myös PMI-datasta (Product and manufacturing information). PMI sisältää myös attribuuttitiedot (metadataa). PMI tuodaan annotaatioilla ihmisen luettavaan muotoon.
4	Mallitiedosto data set	Yksi tiedosto tai usean tiedoston joukko, joka sisältää tuotteen fyysisiä tai toiminnallisia vaatimuksia sisältävää informaatiota.	Mallitiedostoon voi kuulua esim. 3D-malli, piirustus, osaluettelo, materiaali, prosessi, laskelmia.
5	Tuote	Mikä tahansa valmistettava kokonaisuus, jolla on oma yksilöivä tunniste ja johon liittyy mallitiedosto	Tässä asiakirjassa tuote voi tarkoittaa yhtä osaa, komponenttia tai kokoonpanoa.
6	Absoluuttinen koordinaatisto	Mallin alustana oleva mallikoordinaatisto, jonka avulla digitaaliset elementit paikoitetaan CAD-mallissa	Absoluuttisessa koordinaatistossa on origo 0,0,0.
7	Käyttäjäkoordinaatisto	Mallikoordinaatisto, jonka käyttäjä on luonut absoluuttisen koordinaatiston lisäksi	

8	Assosiatiivisuus	Digitaalisten elementtien välinen pysyvä yhteys. Tässä asiakirjassa assosiatiivisuudella tarkoitetaan lähinnä annotaatioiden assosiatiivisuutta malligeometriaan.	Esimerkiksi annotaatio, joka on liitetty tiettyyn elementtiin. Annotaatiota osoitettaessa myös siihen liitetty elementti korostuu.
9	Revisio	Muokattu versio mallista tai muusta dokumentista, joka on yhteensopiva aiempien revisioiden kanssa.	Julkaistuun revisioon ei saa tehdä muutoksia. Muutosten takia pitää luoda uusi revisio. Revisio korvaa aiemman revision.
10	Elinkaari	Mallin tai dokumentin tila, joka määrittelee tiedon muokkaus-oikeuksia ja näkyvyyttä.	Alustava-Muutoksessa-Julkaistu on esimerkki yksinkertaisesta elinkaarimallista.
11	Kokoonpano	Useammasta tuotteesta muodostuva kokonaisuus.	Ks. tuotteen määritelmä.
12	Nimike	Tuotteen yksilöllinen tunnus	Nimikkeeseen voi liittyä määrittelevää dokumentaatiota, esim. CAD-malli, tuotelehti, käyttöohje jne.
13	Konfiguraatio	Geneerisestä tuoterakenteesta annetuilla ehdoilla muodostettava yksittäinen tuotemuunnelma (variantti).	Tässä esitetty määritelmä on suppea ja tarkoitettu tämän asiakirjan asiayhteyksiin.
14	Attribuutti Ominaisuus Parametri Metadata	Lisäinformaatio, joka ei ole geometriaa tai annotaatio ja joka voidaan esittää tekstinä, lomakkeella tai muilla menetelmillä.	Ks. myös ISO 16792, 7.3.3.
15	STEP	Standardisoitu teollisuuden tiedonsiirtoformaatti.	Tässä asiakirjassa tarkoitetaan lähinnä STEP-versiota AP242 Edition 1, joka sisältää MBD-tietojen siirron.
16	TED	Teoreettisesti tarkka mitta, jota käytetään geometrysten toleranssien yhteydessä.	Ns. "laatikkomitta". TED on lyhenne termistä <i>Theoretically Exact Dimension</i> , ks. ISO 1101:2017.

4 Yleisiä vaatimuksia

4.1 MBD:n käyttöönotto

Ennen siirtymistä MBD-toimintamalliin yrityksen on selvitettävä omien toimintojensa nykytilanne ja kyvykkyys sekä tavoitetila.

4.1.1 Yrityksen nykyinen toimintatapa

Suunnittelu on jo monessa yrityksessä 3D-pohjaista. 3D-mallien rakenne vastaa pääosin tuotannon tarvetta. 3D-malleissa voi olla metadataa (ts. muutakin tietoa kuin

geometriaa), mutta mitoitukset ja muut merkinnät esitetään yhä täydellisesti 2D-piirustuksessa.

Taulukossa 2 esitetään yrityksen erilaisia tiedonhallinnan tasoja. Suunnittelun tuottamaa dataa käytetään yrityksen eri toiminnoissa eri tavoilla ja erilaisten medioitten välityksellä. Tällä hetkellä moni yritys toimii tiedonhallinnan tasolla 2 ("digitaalinen 2D").

TAULUKKO 2. Yrityksen toimintojen erilaisia toteutustasoja

Toiminto	Tiedonhallinnan taso		
	1 Paperi	2 Digitaalinen 2D	3 Mallipohjaisuus
Suunnittelu	paperi	2D/3D	3D
Hankinta	paperi	2D-PDF	3D
Tuotannonsuunnittelu	paperi	2D-PDF, XLS	3D
Tuotannon ohjaus	paperi	XLS	ERP
Tuotanto	paperi	2D-PDF	3D katselu
Tiedonhallinta	paperi	PDM / PLM, verkkolevy	PDM / PLM

4.1.2 Askeleet kohti mallipohjaista toimintatapaa

Mallipohjaisuus edellyttää yrityksen eri toimijoilta uudenlaisia toimintatapoja, taitoja ja työkaluja.

MBD:n käyttöönotossa on harkittava seuraavissa alakohdissa esille tuotavia asioita. Yleisesti olisi selvitettävä, miten ja missä määrin toimintatapoja on muutettava ja millaisia investointeja tarvitaan.

4.1.2.1 Suunnittelu

Suunnittelu on avainasemassa MBD-datan tuottamisessa. Suunnittelun MBD-kyvykkyys osalta on huomioitava mm. seuraavaa:

- suunnittelijat on koulutettava MBD-mallintamiseen
- tuotemallia on mahdollisesti muutettava
- suunnitteluohjelmiston ajantasaisuus; MBD edellyttää usein uusia ohjelmamoduuleja
- miten suunnittelutiedonhallinta muuttuu, kun ei enää ole piirustustiedostoja.

4.1.2.2 Hankintatoimi

Hankintaosaston on kyettävä käyttämään (avaamaan, lukemaan ja merkitsemään) MBD-malleja komponenttien

hankinnoissa. Hankintaosasto myös lähettää MBD-malleja tarjouspyyntöjen ja tilausten osana alihankintaketjulle.

4.1.2.3 Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelun on kyettävä lukemaan MBD-malleja ja niihin on pystyttävä tekemään tarpeellisia lisämerkintöjä, esim. lisäohjeita tai vaiheistuksia.

Tuotannonsuunnittelun olisi myös kyettävä tuottamaan MBD-suunnittelumallista erilaisia näkymiä ja ohjeita, joita voidaan soveltaa tuotannossa. Tuotantorakenteita voi olla useita, esim. eri toimipisteille ja erilaisille tuotantosoluille.

4.1.2.4 Tuotanto

CAM-ohjelman pitäisi pystyä lukemaan ja käyttämään MBD-malleja. Tämä voi edellyttää lisämoduulia ohjelmaan tai muita päivityksiä. Olisi kiinnitettävä huomiota myös siihen, tukeeko CAM-ohjelma annotaatioiden koneluettavuutta ja pystyykö se automaattisesti käyttämään tietoa työstöohjelman suunnittelussa. Tällä hetkellä näyttää siltä, että CAD-ohjelmistoihin integroi-

dut CAM-sovellukset pystyvät tulkitsemaan samalla ohjelmistolla tuotettuja määrittelyitä koneluettavasti. Itsenäisten CAM-ohjelmistojen ominaisuudet taas ovat puutteellisia tältä osin.

Tuotannon työntekijöiden olisi kyettävä lukemaan 3D-kokoonpanomalleja ja niihin liittyviä ohjeita.

MBD-malleista voidaan tuottaa erilaista materiaalia tuotanto-ohjeiksi. Näitä voivat olla esimerkiksi 3D-mallit, räjäytyskuvat, tallennetut näkymät, vaihekuvat, yksinkertaistetut mallit sekä piirustukset. Tekninen kuvitus pohjautuu MBD-malliin, mutta poistaa tarpeettomat yksityiskohdat. Kuvituksen ei myöskään tarvitse noudattaa piirustusten formaalia esitystapaa tai mittakaavaa, jolloin luettavuus parantuu.

Kuvitustieto voidaan tallentaa osaksi tuotekuvausta PLM-järjestelmään ja käyttää uudelleen niin huolto-ohjeissa, käyttöohjeissa kuin valmistuksen tukena.

4.2 CAD-järjestelmän MBD-ohjelmistomoduuli

Yrityksen CAD-järjestelmässä on oltava MBD:tä tukeva ohjelmistomoduuli, jolla annotoidut mallit voidaan tuottaa tarkoituksenmukaisella tavalla. MBD-ohjelmistomoduulin olisi oltava standardin SFS-ISO 16792:2021 vaatimusten mukainen. Taulukossa 3 luetellaan eräiden Suomessa yleisimpien CAD-järjestelmien MBD-ohjelmistomoduuleja.

4.3 Viittaaminen standardiin ISO 16792

Mallitiedostossa tai siihen liittyvissä asiakirjoissa olisi suositeltavaa viitata standardiin ISO 16792, jos tarkoitus on täyttää sen vaatimukset. Standardin painos on suositeltavaa ilmoittaa (esim. ISO 16792:2021).

4.4 Mallitiedoston rakenne

Kaikki tuotteeseen liittyvät tiedostot on sisällyttävä mallitiedostoon tai niihin on viitattava mallitiedostossa. Esi-merkkeinä liittyvästä tiedosta ovat analyysit, osaluettelot, testausvaatimukset, materiaalitiedot, prosessitiedot jne.

TAULUKKO 3. Eräiden CAD-järjestelmien MBD-ohjelmistomoduuleja

CAD-järjestelmä	MBD-ohjelmistomoduuli
SOLIDWORKS	MBD
Solid Edge	PMI, MBD
Siemens NX	PMI, MBD, TDP
Creo Parametric	GD&T Advisor
3DEXPERIENCE CATIA	3D Tolerancing & Annotation

5 MBD-mallitiedosto

5.1 Hallinnolliset tiedot

MBD-malliin on sisällytettävä riittävästi hallinnollisia tietoja. Tärkeimmät hallinnolliset tiedot ovat:

- mallin tunnistetiedot (ts. nimi ja osanumero)
- omistaja
- tekijä
- päiväys
- revisiotiedot
- luokituskoodi (ks. 5.1.1)
- mallin tarkkuus (ks. 5.1.2).

5.1.1 Mallitiedoston luokittelu

5.1.1.1 Yleistä

Mallitiedostossa on annettava tietoa siitä, miten tuotetieto on jäsennetty kyseisessä mallitiedostossa. Tuotetiedon organisoinnin ilmoittamiseen voidaan käyttää standardin SFS-ISO 16792:2021 liitteen B luokituskoodeja (ks. taulukko 4 ja kohdat 5.1.1.2 ... 5.1.1.6).

Luokituskoodi esitetään mallin yleisellä annotaatiotasolla tai mallin otsikkotiedoissa. Piirustuksissa luokituskoodi merkitään näkyviin. Kaikissa tapauksissa 3D-malli on arkistoitava.

TAULUKKO 4. Standardin ISO 16792 mukainen mallitiedoston luokittelu

Luokitus-koodi	3D-malli	3D-mallin annotointi	Piirustus	Muita dokumentteja	Master
1	Ei	Ei	Täydellinen	Ei	Piirustus
2	On	Ei	Täydellinen	Ei	Piirustus
3	ON	Ei tai osittain	Yksinkertaistettu	Kyllä	Piirustus ja 3D-malli
4	ON	Täydellinen	Täydellinen	Kyllä	Piirustus tai 3D-malli (identtisiä)
5	ON	Täydellinen	Ei	Kyllä	3D-malli

5.1.1.2 Luokituskoodi 1

Piirustus, johon liittyy mallitiedosto ilman mallia:

- a) mallitiedosto on arkistoitava
- b) piirustus vapautetaan tuotantoon ja se on määräävä dokumentti (master).

5.1.1.3 Luokituskoodi 2

Mallitiedosto, johon kuuluu malli ja piirustus:

- a) mallitiedosto on arkistoitava
- b) piirustus ja muut liittyvät tiedostot sisältävät täydellisen tuotetiedon
- c) piirustus vapautetaan tuotantoon ja se on määräävä dokumentti (master).

5.1.1.4 Luokituskoodi 3

Mallitiedosto, johon kuuluu malli ja yksinkertaistettu piirustus:

- a) mallitiedosto on arkistoitava
- b) malli, yksinkertaistettu piirustus ja muut liittyvät tiedostot sisältävät yhdessä täydellisen tuotetiedon
- c) malli, yksinkertaistettu piirustus ja liittyvät tiedostot ovat määrääviä dokumentteja (master).

5.1.1.5 Luokituskoodi 4

Mallitiedosto, johon kuuluu annotoitu malli ja täydellinen piirustus:

- a) mallitiedosto on arkistoitava
- b) annotoitu malli ja muut liittyvät tiedostot sisältävät täydellisen tuotetiedon; täydellinen piirustus ja muut liittyvät tiedostot sisältävät täydellisen tuotetiedon
- c) annotoitu malli ja muut liittyvät tiedostot ovat määrääviä dokumentteja (master)
- d) täydellinen piirustus ja muut liittyvät tiedostot ovat määrääviä dokumentteja (master).

5.1.1.6 Luokituskoodi 5

Mallitiedosto, johon kuuluu annotoitu malli ilman piirustusta:

- a) mallitiedosto on arkistoitava
- b) annotoitu malli ja muut liittyvät tiedostot sisältävät täydellisen tuotetiedon
- c) annotoitu malli ja muut liittyvät tiedostot ovat määrääviä dokumentteja (master).

Suunnittelun aikana tuoterakenne laaditaan suunnittelun tarpeiden mukaiseksi suunnittelurakenteeksi (eBOM, engineering BOM). Suunnittelurakenne voi sisältää rakenne-elementtejä (esim. kiinnitinkokoonpanot, tuotteen rakennetta ohjaava skeleton), joiden avulla voidaan helpottaa ja nopeuttaa tuotteen suunnittelua.

Suunnittelurakenne olisi laadittava siten, että sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman laajasti muissa prosesseissa, esim. tuotannon suunnittelussa. Esimerkiksi hitsattu teräsrakenne on mallinnettava kokoonpanona, jossa jokainen hitsattava levyosa on yksi osa.

Tuoterakennetta voidaan muuttaa, rajata tai suodattaa, kun malli siirretään tuotantoon (tuotantorakenne). Vaiheistettu rakennemalli kokoonpanosta edellyttää, että

yksittäinen 3D-mallin kokoonpano vastaa tuotannon tarvetta.

Suunnittelun näkökulma tuoterakenteeseen on erilainen kuin tuotannon. Suunnittelurakenne (eBOM) voi sisältää erilaisia tuotekonfiguraatioita, jolloin eBOM sisältää kaikki mahdolliset kokoonpanovariaatiot (useita konfiguraatioita sisältävästä eBOM-termistä käytetään myös nimityksiä "super-BOM" tai "gBOM" (Generic)).

mBOM (manufacturing BOM) taas on tuotantoeräkohtainen tuoterakenne. mBOM on aina "100 % rakenne", joten esim. kaksi erilaista konfiguraatiota sisältävä "110 % eBOM" generoi tuotantoon kaksi erillistä 100 % tuotantorakennetta.

TAULUKKO 5. Mallissa olevan tiedon kehittyminen suunnitteluprosessin aikana

Vaihe	Mallin vaatimus	Esimerkki
Esisuunnittelu	Tilavaraus Rajapinnat Toiminnot	Hitsattu rakenne yhtenä "komponenttina"
Tuotesuunnittelu	Komponenttimalli Komponenttimäärät Komponenttien sijainti Alikokoonpanorakenne vakio-osuuksien kannalta Hitsaukset Toiminnalliset toleranssit	Levyrakenne hitsattavasta osasta
Tuotantos suunnittelu	Kokoonpanorakenne työvaiheittain	Useampivaiheinen kokoaminen, hitsausvaiheistuksen esittäminen (jos hitsatut kokonaisuudet muodostavat omia nimikkeitä)
Huoltosuunnitelma	Sarjanumeroitavat kohteet Huoltokohteet	Mallirakenteesta eristettynä huoltokohteet
Varaosasuunnitelma	Vain osat rakenne, varaosapakettrakenne	Yksittäinen tiiviste ei ole varaosa, tiivisteen saa vain kannen kanssa.

Tuotantopaikkoja voi olla useita, joten myös tuotantorakenteita (mBOM, manufacturing BOM) voi olla useita. Myös saman tehtaan kaksi eri tuotantolinjaa voivat käyttää eri tuotantorakennetta konekannan, tilojen tai vastaavan syyn vuoksi. Sen sijaan suunnittelurakenteita on yleensä vain yksi.

5.6 Menetelmäkohtaisia näkökohtia

5.6.1 Koneistusosat

Koneistusosien käsittelyssä suunnittelumallin geometriaa voidaan muuttaa koneistuksen tarpeeseen sopivak-

si. Esimerkiksi mitassa esitettävät sovitetoleranssit olisi mallinnettava geometriaan keskitäksiksi, koska CAM-ohjelma ei välttämättä osaa siirtää toleranssietoa mitasta. Joskus malligeometriaa on "siistittävä" tai vaiheistettava koneistettavan geometrian määrittelyn helpottamiseksi. Aukkojen poisto pinnasta on tyypillinen esimerkki (ellei CAM-ohjelmassa ole toimintoa jättää aukot huomioimatta). Tällöin koneistusohjelmoinnissa luodaan valmistusmalli, joka on assosiatiivinen suunnittelumallin kanssa (ks. taulukko 6). Valmistusmalliin tehdään tarvittavat CAM-ohjelman vaatimat muokkaukset.

TAULUKKO 6.

Suunnittelumalli:

- Geometria
- Toleranssit

Valmistusmalli:

- Geometrian linkitetty kopio
- Toleranssien linkitetty kopio
- Muokkauksia valmistettavuuteen

5.6.2 Valut, takeet, ruiskuvalu ja lisäävä valmistus (AM)

Standardin ISO 20457:2018 (muoviset valukappaleet) mukaan 3D-malli mallinnetaan yleensä keskimittaan ja toleranssit ovat symmetrisiä. Sovelluksesta riippuen myös muita lähtökohtia voidaan käyttää (esim. minimimuoto, maksimimuoto). Toleranssien suunta määritellään toleranssimerkinnöillä.

Muottivalmistuksessa valu- ja ruiskupuristusosissa nimellismallista voidaan laatia muottikutistumaa kuvaava malli, joka ottaa huomioon mm. lämpölaajenemisen. Tämä malli voi olla assosiatiivinen 3D-suunnittelumallin kanssa.

3D-malleissa kannattaa esittää vain ne mitat ja toleranssit, joilla ohjataan kappaleen toiminnallisuutta. Muita mittoja ei tarvitse esittää, koska ne voidaan siirtää suoraan 3D-geometriasta valmistukseen ja mittauskoneelle. Lisäksi ei-toiminnallisia piirteitä ohjataan yleistoleranssilla. Kun annotoidusta 3D-mallista muodostetaan ihmisen luettava MBD-esitys (esimerkiksi 3D-PDF), saadaan huomattavasti selkeämpi esitys, jos vain olennaiset mitat esitetään.

Erilaisia valettujen ja muovattavien kappaleiden toleransseja käsitellään mm. standardeissa ISO 8062 (metalliset valut) ja ISO 9327 (takeiden toimitusehdot).

Lisäävästä valmistuksesta ei ole julkaistu toleranssietoja sisältävää standardia, mutta aiheesta on julkaistu tieteellisiä tutkimuksia (esim. Vakouftsis & al 2020, ks. lähteet). Peruselementit tulisi asettaa kappaleen kiinnityksen kannalta oleellisiin pintoihin. Esimerkiksi ruuvitorien päät ovat sopivia peruselementtejä. Valukappaleissa olevat päästöt ja kaksoiskaarevat muodot voivat estää koko pinnan käyttämistä peruselementtinä, ks. seuraava kappale.

5.6.2.1 Päästöt

3D-geometrian pitää vastata todellista kappaletta. Näin ollen geometriaan pitäisi aina mallintaa päästöt sen suuruisina, kuin valmistajan kanssa käydyssä DFM- keskustelussa (Design for Manufacturability) on sovittu. Myös mahdolliset päästöttömät toiminnalliset pinnat pitää sopia valmistajan kanssa.

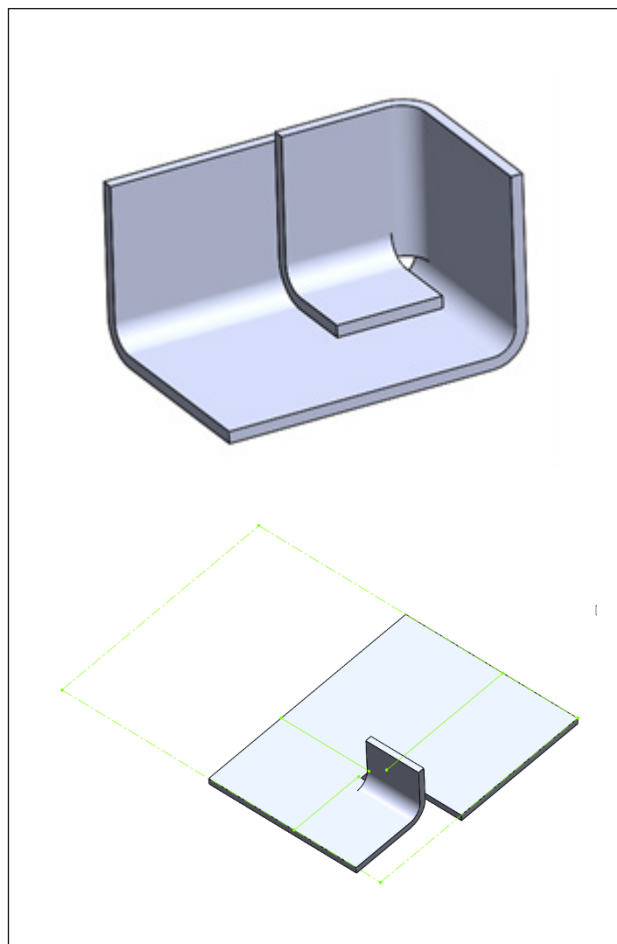
Mahdollisen jakosauman voi tarvittaessa merkitä malliin. Päästöllisiä pintoja ei tulisi asettaa peruselementeiksi, elleivät ne ole toiminnan tai kiinnityksen kannalta ohjaavia pintoja. Päästöllisissä pinnoissa toimivat parhaiten rajoitetut peruselementit, ks. 6.2.3.

5.6.3 Ohutlevyosat

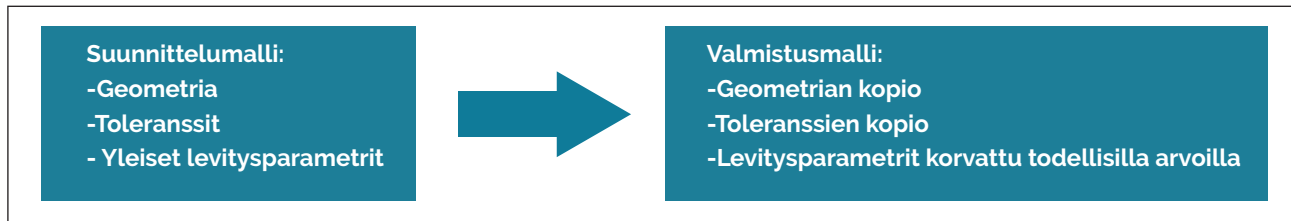
5.6.3.1 Ohutlevyosien mallinnus

Ohutlevyosan suunnittelijan vastuulla on mallintaa geometria, joka on levitettävissä. Ohutlevyosien mallinnuksessa kannattaa käyttää CAD-järjestelmän ohutlevytyökalua. Sen avulla voidaan varmistaa yhtenäinen seinämänvahvuus ja voidaan tarkastaa aukilevittyminen (ks. kuva 3). Ohutlevytyökalulla mallinnettua rakennetta voidaan hyödyntää tuotannonsuunnittelun CAM-ohjelmissa (ks. kuva 4).

KUVA 3. Väärä levittyminen paljastuu levytyksessä.



KUVA 4. Suunnittelumalli ja valmistusmalli ohutlevytuotannossa.



Kappale voidaan mallintaa myös ilman ohutlevyominaisuuksia. Tällöin kappaleen tuotannonsuunnittelu joutuu muuttamaan mallin ohutlevyosaksi tai määrittämään mm. levityspituuden.

Suunnittelijan tulisi varmistaa, että kappale on vakio-paksuinen solidi (levynpaksuus), ja että pinnat ovat tangenttjatkuvia taivutusten osalta. Kaksoiskaarevia pintoja ei pääsääntöisesti saisi olla, pois lukien syvävedettävät piirteet tai vastaavat.

5.6.3.2 Ohutlevypiirteet

Suunnittelijan on huomioitava riittävä taivutussäde ja määriteltävä sen toiminnalliset vaatimukset (esim. kuinka paljon säde saa vaihdella). Valmistajalle olisi jätettävä mahdollisimman paljon vapauksia toteuttaa rakenne.

Ohutlevyrakenteissa muodot on toleroitava siten, että niiden toiminnallinen vaatimus korostuu ja tuotteille ominainen elastisuus huomioidaan.

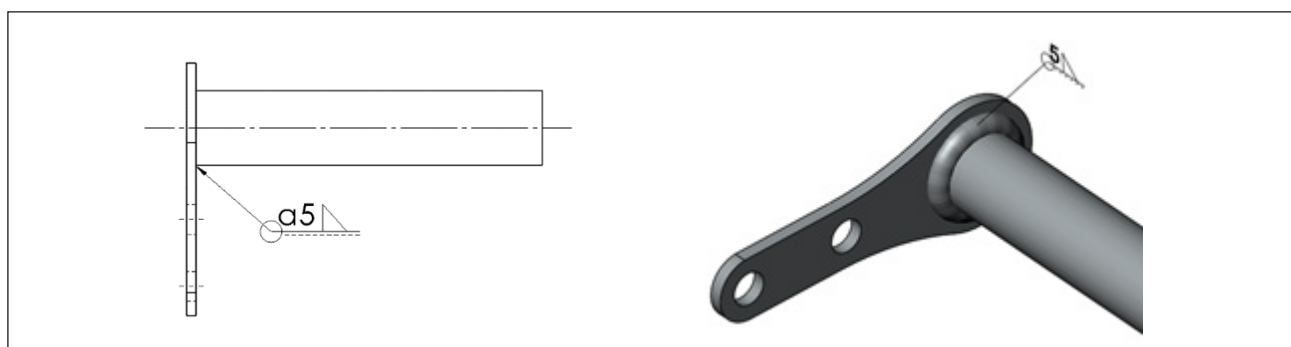
5.6.3.3 K-arvo

K-arvojen valinta tulisi jättää valmistajan määriteltäväksi. Valmistava konepaja tietää parhaiten omaan konekantaansa sopivat parametrit. Suunnittelija voi käyttää oletusarvoista K-arvoa, mutta on syytä varautua siihen, että valmistaja tekee omat valintansa. Taivutussäteen ja muun geometrian sallitut vaihteluvälit ilmoitetaan toleranssimerkinnöillä.

5.6.3.4 Aukilevitys

Ohutlevytyökalujen avulla suunnittelusta osasta ei tarvitse lähettää aukilevitettyä mallia tai piirustusta valmistukselle. Valmistaja pystyy hyödyntämään ohutlevypiirteitä tuotannonsuunnitteluvaiheessa oman valmistusmenetelmänsä mukaisesti.

KUVA 5. Hitsausmerkintä 2D-piirustuksessa ja MBD-mallissa.



5.6.4 Hitsatut rakenteet

Hitsatut rakenteet voidaan esittää kokoonpanotekniikalla, skeleton-tekniikalla tai yhtenä osana multibody-tekniikalla.

Kokoonpanotekniikassa jokainen hitsattava osa on itsenäinen osa. Ne mitoitetaan annotaatiolla kuten muutkin osat. Osat kokoonpannaan osien välillä relaatioilla (constraints) tai käyttämällä yhteistä mallikoordinaatistoa.

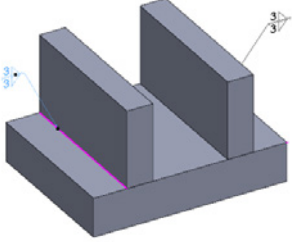
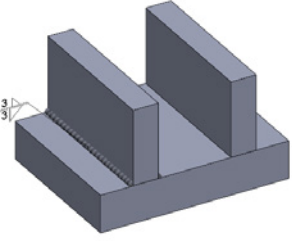
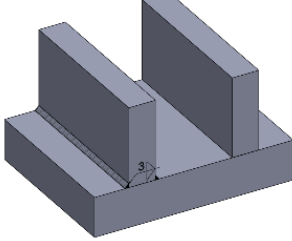
Hitsausseamat merkitään annotaatioina tai mallintamalla hitsi (kuva 5 ja taulukko 7). Hitsausseaman pituus olisi määriteltävä mieluiten valitsemalla hitsattavat särmät. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää alku- ja loppupisteiden merkintää sekä "välissä"-nuolta.

Mallintamalla hitsausseama on mahdollista esittää havainnollisesti hitsausalue ja tilavaraus. Mallintaminen mahdollistaa esim. hitsausmäärien ja massan raportoinnin CAD-järjestelmästä.

Hitsausohjeet (WPS) voidaan sisällyttää tuotemäärittelytietoon. NDT-tarkastettavat kohdat voidaan merkitä annotaatioilla 3D-malliin.

Kaikissa tapauksissa olisi suositeltavaa, että hitsausmerkintä on assosiatiivinen, ts. että kyselemällä saa visuaalisen vasteen hitsin laajuudesta (ks. kyselyistä kohta 7). Hitsattuun rakenteeseen ei mallinneta seuraavia työvaiheita, esim. koneistusta. Hitsausrakenne toimii lähtökohdana koneistusmallille.

TAULUKKO 7. Hitsausseamojen mallinnustapoja

No	Tyyppi	Kuva	Ominaisuuksia
1	Annotoituna		- Vain merkintä - Ei välttämättä automaattista pituuslaskentaa - Ei välttämättä koneluettava muoto
2	Mallintaminen pintoina tai käyrinä		- Hitsauksen pituus on parametri - Koneluettavissa - Hitsauslaskenta mahdollista - Massa mukana mallissa - Näkyy seuraavassa kokoonpanotasossa
3	Mallintaminen solideina		- Tilavaraus - Massa - Lujuuslaskenta - Määrälaskenta - Näkyy seuraavassa kokoonpanotasossa

5.7 Kokoonpanot

Kappaleet sijoitetaan kokoonpanoissa niin kuin ne todellisuudessa ovat. Menetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi yhteistä origoa (koordinaatistoa) tai osien välisiä paikoitusmäärittelyitä.

Osille voidaan antaa positionumero ("osanumeropallo") tai osaluettelo voidaan esittää CAD-mallin rakennepuuna. Rakennepuumaisessa esitystavassa positionumero annetaan attribuuttitietona ja se listataan osaluettelossa. Kokoonpano voidaan esittää myös räjäytettynä käyttämällä tallennettuja näkymiä. Myös leikkauksia voidaan määrittellä ja tallentaa. Samoin kokoonpanon eri asentoja voidaan määrittellä ja tallentaa.

Kokoonpanojen on hyvä olla mahdollisimman täydelli-

siä myös ei-mallinnettavien osien/materiaalien suhteen. Esimerkiksi voiteluaineet, liimat tai maalit pitäisi esittää annotaatioina tai "haamuosina" rakennepuussa. Joissakin CAD-järjestelmissä voi olla erityinen työkalu maalien ja pinnoitteiden määrittelyyn. Tämä voi helpottaa esim. määrä- ja painolaskentaa.

Paljon toistuvat komponentit, kuten kiinnittimet, voidaan esittää lukumäärältään, sijoittelultaan ja ulkonäöltään täydellisesti. Tällöin etuina saadaan ovat mm. automaattinen määrälaskenta, paino, tilantarve tms. Toisaalta paljon toistuvat komponentit on työlästä sijoitella ja ne saattavat vaikuttaa tietokoneen suorituskyykyyn (hitaampi avautuminen, käsittely tms.) Kevennetty tapa on esittää komponentista vain yksi kappale, jotta komponentti saadaan rakennepuuhun.

6 Mitoitus ja muut annotaatiot

Kantava periaate mittojen ja muiden annotaatioiden esittämisen osalta on: "luodaan kerran – käytetään kaikkialla". Tätä kutsutaan joskus myös termillä "single source of truth", ks. 8.1

6.1 Mallissa esitettävät mitat

6.1.1 Yleistä

Mikäli valmistusprosessi pystyy hyödyntämään 3D-mallin geometrian koneluettavasti, mittoja ei välttämättä tarvitse esittää lainkaan. Vain toleranssimerkinnät (esim. geometriset toleranssit) on esitettävä.

Jos valmistusprosessi ei pysty käyttämään 3D-mallin geometriaa koneluettavassa muodossa, tuotemäärittelyyn on lisättävä tarvittava määrä ihmisen luettavia mittoja. Tyypillisesti näitä ovat TED-mitat ja mitallisten elementtien mitat.

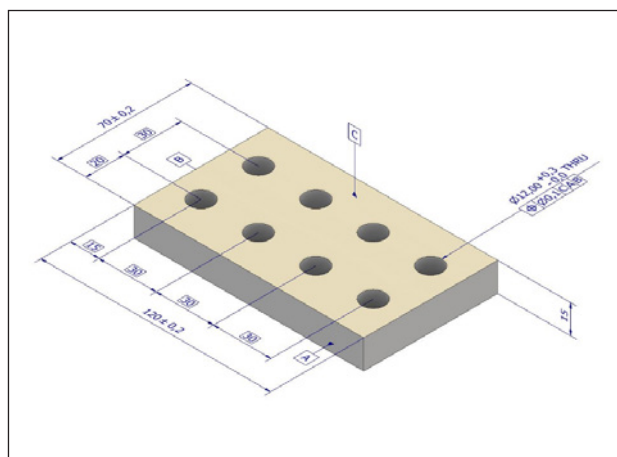
Yleisten mitoitussääntöjen mukaisesti mitat esitetään siinä annotaatiotasossa, jossa ne näkyvät parhaiten ja ne voidaan ryhmitellä valmistuksen vaatimusten mukaan. Esim. peruselementit ja koneistuspinnat voivat sijaita omalla tasolla ja reiät omallaan.

Annotaatiotasoina valitaan usein kappaleen perustasot (xy, xz ja yz). Lieriömäisissä kappaleissa riittää usein kak-

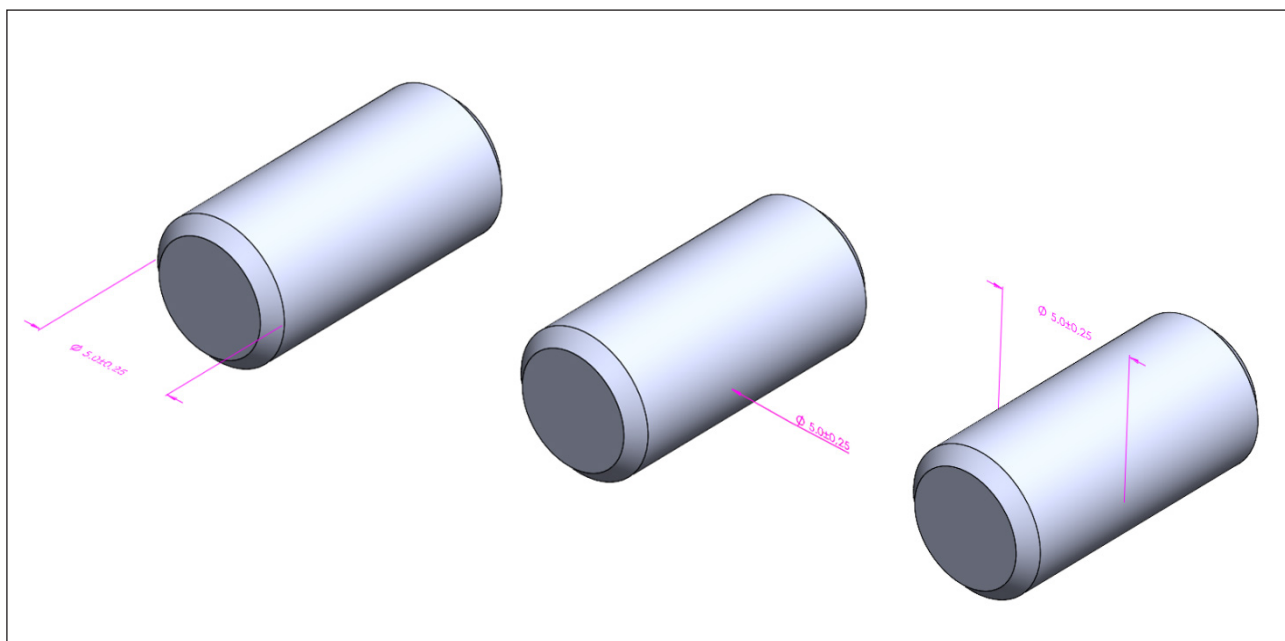
si toisiinsa nähden kohtisuoraa tasoa. Monimutkaisissa kappaleissa voidaan tarvita useampia annotaatiotasoja ja ne voivat olla muitakin kuin perustasot. Mitat sijoitetaan mieluiten sille annotaatiotasolle, johon koneistus kohdistuu. Esim. reikien porausmitat sijoitetaan siihen pintaan, josta poraus aloitetaan.

Mittojen ryhmittelyssä kannattaa huomioida mahdollinen 2D-piirustuksen automaattinen generointi MBD-mallista. Järkevä sijoittelu tuottaa valmiimman piirustuksen.

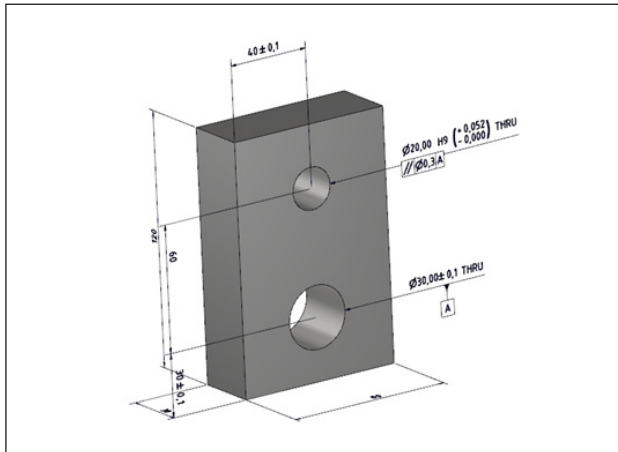
KUVA 6. Eri annotaatiotasolle ryhmiteltyjä mittoja.



KUVA 7. Halkaisijamitan erilaisia esittämistapoja.



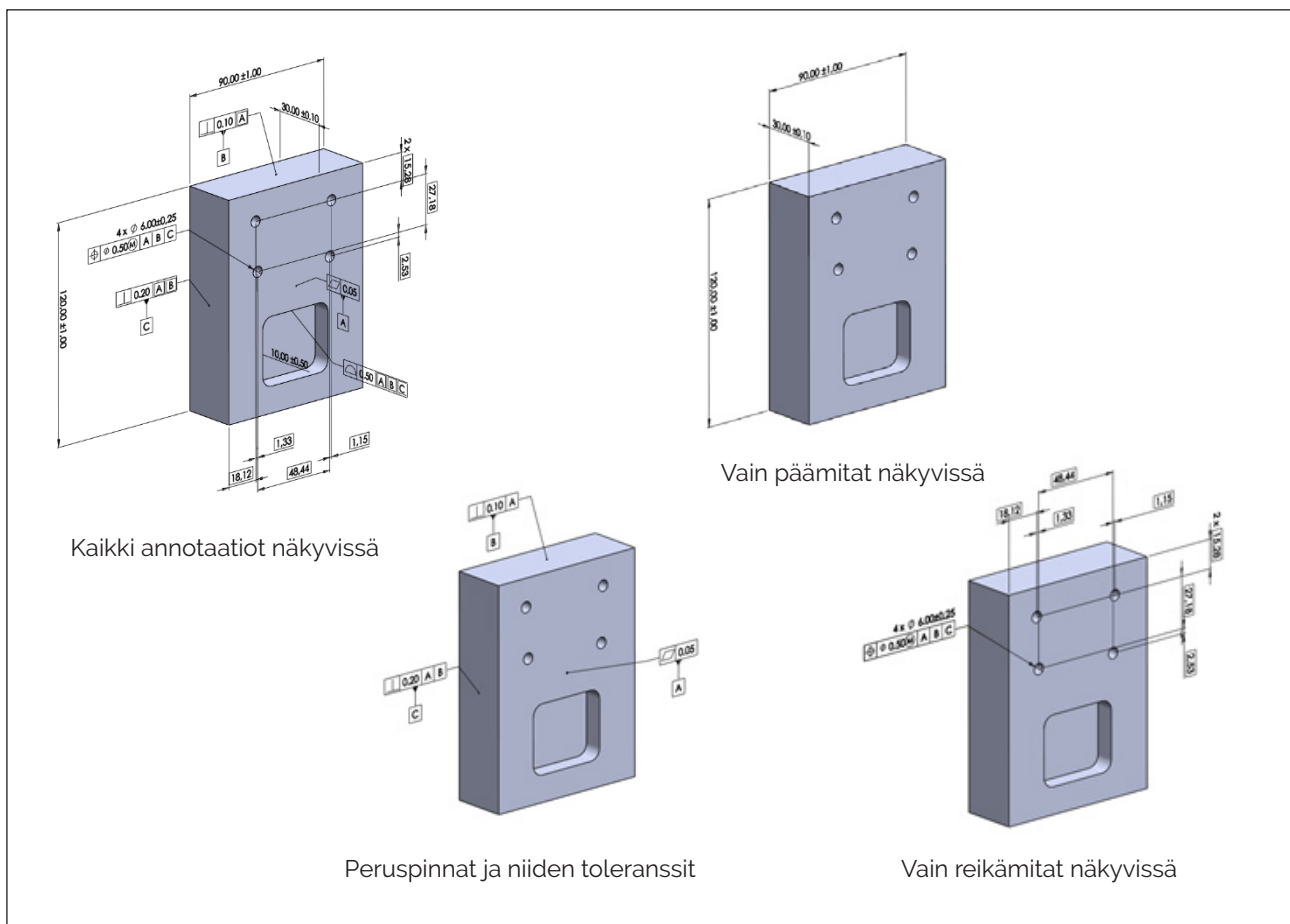
KUVA 8. Mittojen huono sijoittelu haittaa luettavuutta.



6.1.2 Mittojen ryhmittely tuotannon kannalta

Tuotannon ohjaamiseksi voidaan mittoja ryhmitellä samansuuntaisille annotaatiotasoilte. Näin voidaan tuotantoa varten julkaista kuvantoja, joissa esitetään vain yhden työvaiheen tarvitsemat mitat. Esimerkiksi yhdessä kuvannossa esitetään kappaleen päämitat ja toisessa reikien mitoitus, ks. kuva 9.

KUVA 9. Mittojen ryhmittelyä työvaiheiden mukaan nimetyissä kuvannoissa.



6.1.3 Tarkkuus

Mallin mittojen on oltava seuraavien vaatimusten mukaisia:

- Mallissa esitettävät mitat pyöristetään mallin tarkkuuden mukaan (ks. 5.1.2). Merkitsevien desimaalit on ilmoitettava mallitiedostossa tai mittakohtaisena tietona.
- Pyöristetyt mitat esitetään standardien ISO 129-1 ja ISO 8015 sääntöjen mukaisesti

- Pyöristys tehdään standardin ISO 80000-1 menetelmän A tai B mukaan. Menetelmä on ilmoitettava mallitiedostossa.
- Mallissa olevien mittojen on oltava assosiatiivisia ja säilyttävä sellaisina.

Standardin SFS-ISO 16792:2021 taulukossa 1 on esimerkkejä mallissa olevista mitoista ja niiden pyöristämisestä.

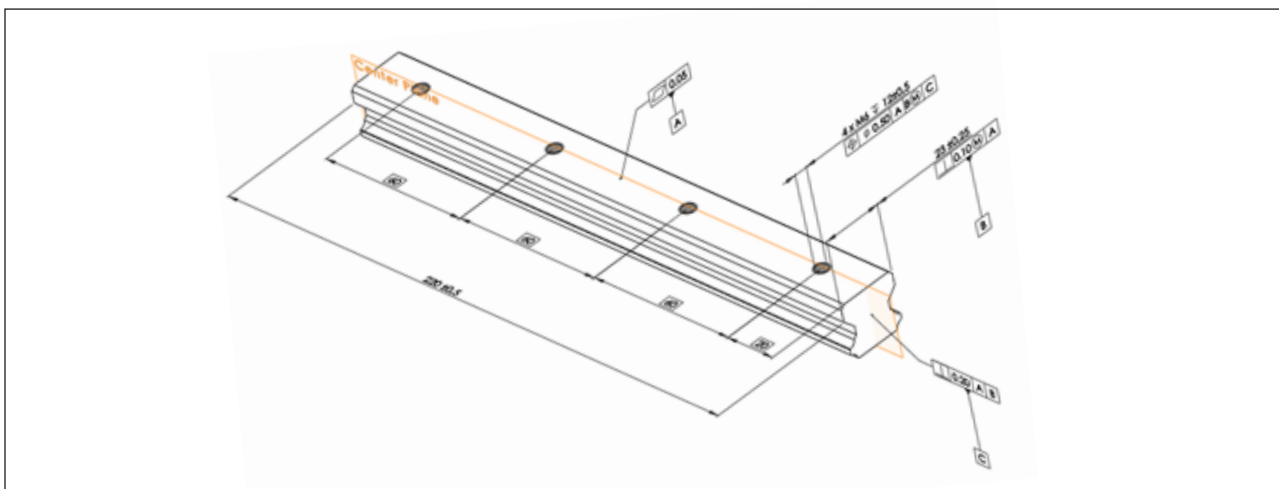
6.1.4 Teoreettiset mitat (TED, Basic dimension)

Teoreettisia mittoja käytetään geometrinen toleranssien ja peruselementtien yhteydessä. Niiden avulla esitetään toleranssialueen sijainti suhteessa peruselementteihin. Teoreettinen mitta voi olla vain

- toleroidun elementin ja peruselementin välillä, tai
- kahden toleroidun elementin välillä
- "apumittana" määritettäessä rajoitettuja peruselementtejä
- "apumittana" määritettäessä rajoitettuja alueita.

TED-mitat esitetään kehystettyinä standardien ISO 1101 ja ISO 129-1 mukaisesti. Nimensä mukaisesti TED-mitta on teoreettinen mitta ja siihen ei koskaan sisälly toleranssia (myöskään mikään yleistoleranssi ei koske sitä). Koneuettavissa malleissa TED-mittoja ei välttämättä tarvitse mitoittaa näkyviin. Ne voidaan määrittää suoraan geometrian ja toleranssimerkinnän avulla.

KUVA 10. Reikien paikat esitetään TED-mitoilla.

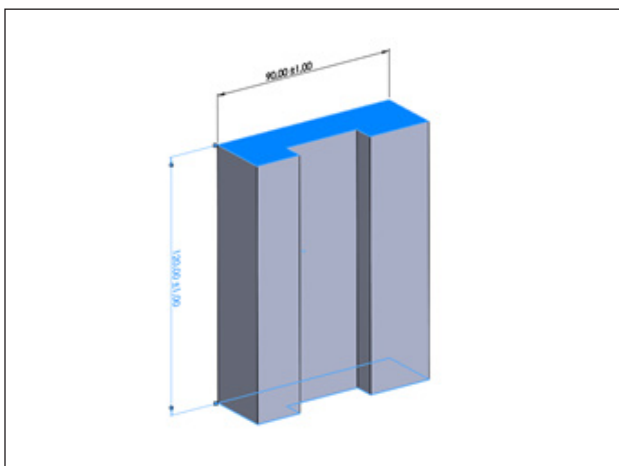


6.1.5 Pituusmitat

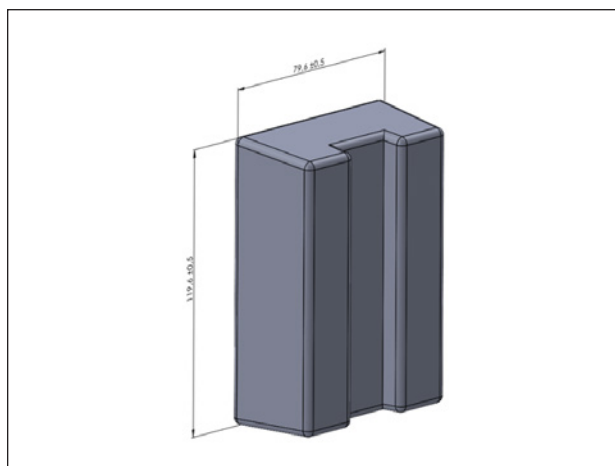
Pituusmitta määrittää oletusarvoisesti kahden pisteen välisen etäisyyden. Vain mitallisille elementeille (ks. 6.3) voidaan määrittellä täysin yksiselitteinen pituusmitta (ku-
vissa 12 ja 13 ei ole kyseessä mitallinen elementti).

Pituusmitan määritelmää voidaan muuttaa standardin ISO 14405-1 mukaisilla muuttajamerkinnoilla esim. kokonaismitaksi. Koordinaattimittauskoneet mittaavat usein kokonaismittoja (esim. pienimmän neliösumman mitta, pienimmän ympärille sovitettun muodon mitta).

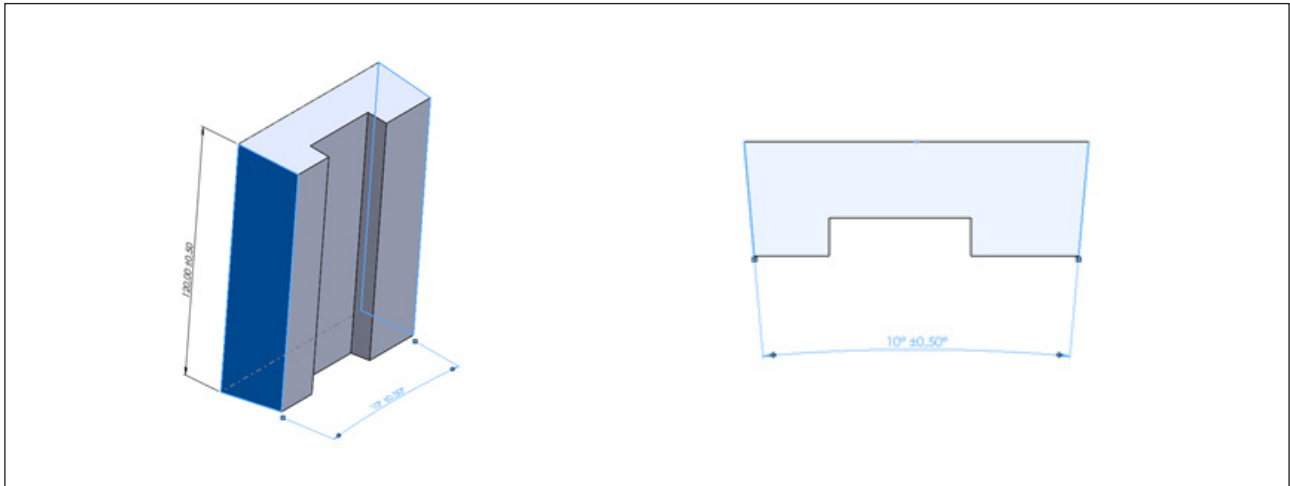
KUVA 11. Koneistetun kappaleen mitoitus.



KUVA 12. Päästöllisessä kappaleessa mitoitus voidaan ottaa halutusta särmäparista. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa.



KUVA 13. Päästölisten pintojen välinen kulmamitta.

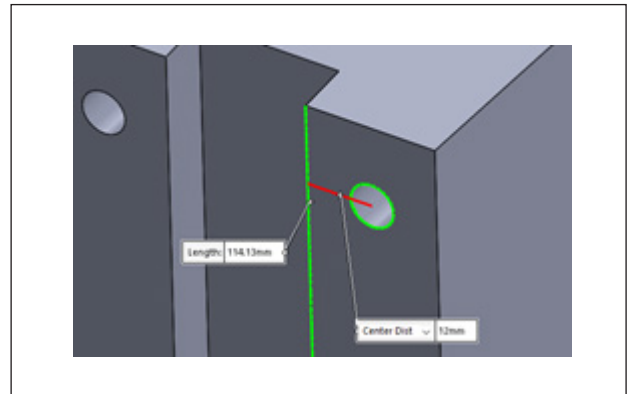


6.1.6 Kyselemällä saatavat mitat, mallin mittaamisen mittaustyökalulla

Mitoittamattoman geometrian mittaamiseksi voidaan käyttää katselutyökalun mittausominaisuutta. Tämän työkalun avulla 3D-mallin katselija pystyy suorittamaan mittauksen geometriasta.

Kyselemällä saatavia mittoja voidaan käyttää valmistuksessa, koska 3D-mallin antamat arvot ovat todellisia nimellismittoja.

KUVA 14. Kyselemällä saatu mitta.



6.2 Peruselementit (Datum)

6.2.1 Yleistä

Tuotteelle on määriteltävä riittävästi peruselementtejä siten, että kaikki geometriset toleranssit voidaan määritellä yksiselitteisesti. Peruselementit ovat kappaleen paikoituksen ja mittaamisen perusta. Peruselementtien määrittelemisestä on standardi SFS-EN ISO 5459:2011. Peruselementeiksi voidaan valita erityyppisiä geometrisia elementtejä ja ne muodostetaan todellisista pinnoista. Yleisimpiä peruselementtejä ovat:

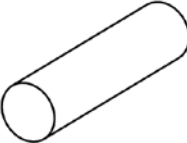
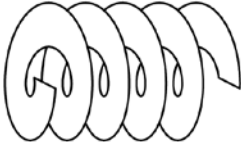
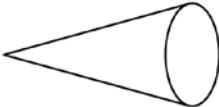
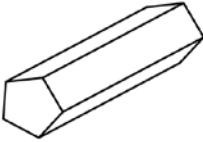
- tasopinta
- lieriön keskiviiva (akseli tai reikä)
- kahden yhdensuuntaisen tason välinen keskitaso.

Peruselementtejä käytetään lukitsemaan kappaleen vapausasteita ts. ne lukitsevat mittaussuunnat. Lukittavien vapausasteiden määrä määräytyy kappaleen geometri-

an mukaan. Yleisesti ottaen lukittavia vapausasteita on kuusi (XYZ-akselien suuntainen liike ja pyörimys akselien ympäri), mutta esimerkiksi pyörimyssymmetrisissä kappaleissa lukittavia vapausasteita on 5 (pyörittämistä symmetria-akselin ympäri ei tarvitse huomioida). Kaikki pinnat voidaan luokitella seitsemään luokkaan perustuen vapausasteisiin, joiden suhteen pinta on invariantti (muuttumaton). Kuvassa 15 on esitetty erilaisten pintojen rajoittamattomat vapausasteet.

Peruselementti voi muodostua yhdestä tai useammasta kappaleen pinnasta (elementeistä). Peruselementin merkinnästä on käytävä selkeästi ilmi mistä pinnoista se koostuu.

KUVA 15. Standardin ISO 5459:2011 mukaisia peruselementtejä ja niiden vapausasteet.

Invarianssiluokka	Rajoittamattomat vapausasteet	Havainnepiirros	Sijainti-elementit	Esimerkkejä pintatyypeistä
Pallomainen	3 kiertoa pisteen ympäri		Piste	Pallo
Tasomainen	1 kierto kohtisuoraan tasoa vastaan ja 2 siirtymää tason reunaviivojen suuntaisesti		Taso	Taso
Lieriömainen	1 siirtymä ja 1 kierto suoran viivan ympäri		Suora viiva	Lieriö
Spiraalimainen	Yhden siirtymän ja yhden kierron yhdistelmä yksittäisen suoran viivan ympäri		Suora viiva ^a	Spiraalimainen pinta, joka perustuu ympyrään
Pyörähtävä	1 kierto suoran viivan ympäri		Suora viiva Piste	Kartio Torus
Prismaattinen	1 siirtymä tasossa oleva viivaa pitkin		Taso Suora viiva	Viisitahoinen prisma
Kompleksinen	Ei yhtään		Taso Suora viiva Piste	Bezier-pinta, joka perustuu avaruudessa olevaan epäsäännölliseen pistepilveen

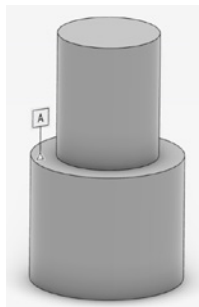
^a Tässä kansainvälisessä standardissa ei käsitellä spiraalimaisia pintoja sellaisenaan. Niiden katsotaan olevan lieriömäisiä pintoja, koska useimmissa toiminnallisissa tapauksissa, joissa käytetään spiraalimaisia pintoja (kierteitä, spiraalimaisia uria, päättömiä ruuveja jne.), spiraalin yhdistettyä kiertoa ja siirtymää ei tarvita peruselementtiä varten. Näissä tapauksissa peruselementin muodostamiseen käytetään kylkihalkaisijan lieriöpintaa; myös ulko- tai sisähalkaisijan lieriöpintaa voidaan käyttää ja se voidaan määritellä. Luontaisesti spiraalimaiseen invarianssiluokkaan kuuluvan elementin sijaintielementti on spiraali, mutta tässä kansainvälisessä standardissa sen katsotaan olevan vain spiraalin akseli.

Peruselementti voi muodostua yhdestä tai useammasta kappaleen pinnasta (elementeistä). Peruselementin merkinnästä on käytävä selkeästi ilmi mistä pinnoista se koostuu.

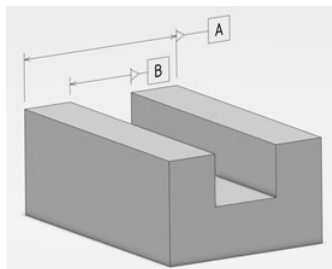
Jollei muuta ole määritetty, peruselementti on kokonainen kohdepinta (eli yksi kokonainen rakenteellinen elementti). Peruselementtiä voidaan tarvittaessa rajata eri menetelmillä (ks. 6.2.3 ja ISO 5459:2011).

Kuvassa 16 on esimerkkejä erilaisista peruselementeistä.

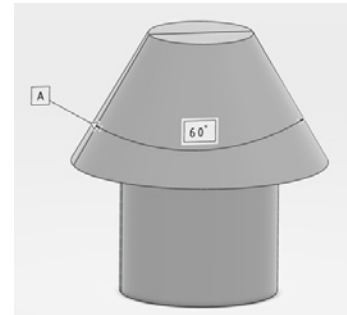
KUVA 16. Erilaisia peruselementtejä.



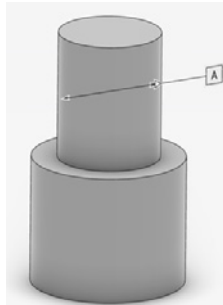
Taso (peruselementti on taso)



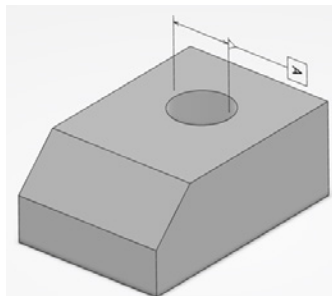
Kaksi yhdensuuntaista tasoa (peruselementti on tasojen symmetriataso)



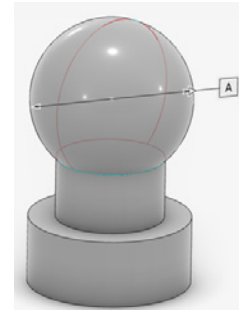
Kartio (peruselementti on akseli ja piste)



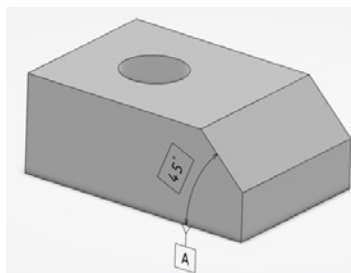
Lieriö (peruselementti on lieriön akseli)



Reikä (peruselementti on reiän akseli)



Pallopinta (peruselementti on pallon keskipiste)



Kahden tasopinnan välinen kulma (peruselementti on pintojen yhteinen keskitaso)

6.2.2 Peruselementtijärjestelmä

Peruselementtijärjestelmä muodostuu kahdesta tai kolmesta yksittäisestä peruselementistä, ks. kuva 17. Peruselementtijärjestelmää käytetään, kun on rajoitettava useampia toleranssialueen vapausasteita kuin mitä yksittäinen peruselementti pystyy rajoittamaan. Toista ja kolmatta peruselementtiä ei määritellä, jos ne eivät rajoita enempää vapausasteita kuin ensimmäinen peruselementti.

Jos peruselementti muodostuu useasta osapinnasta, MBD-määrittelyssä on kerättävä mukaan kaikki osapinnat. CAD-ohjelman tulisi tuottaa standardinmukaiset merkinnät automaattisesti. Merkinnän on sisällettävä osapintojen määrä. Viitattaessa useasta pinnasta koostuvaan peruselementtiin CAD-ohjelman tulisi tuottaa yhteisen peruselementin tunnus ("B-B" kuvassa 18).

6.2.3 Rajoitetut peruselementit (Datum target)

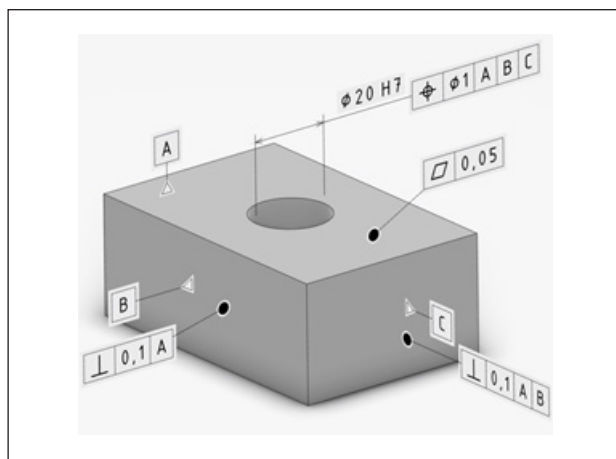
Rajoitettu peruselementti määrittää jonkin alueen suu-
remmasta pinnasta käytettäväksi peruselementin mää-
ritykseen. Rajoitettu peruselementti voi olla

- piste
- ympyrän rajaama alue
- suorakaide.

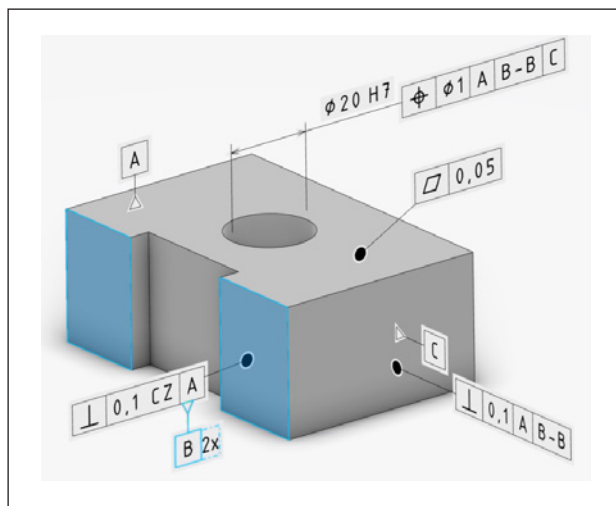
Rajoitetun peruselementin merkinnän lisäksi on käytettävä "tavallista" peruselementtitunnusta. Tunnuksen vieressä kerrotaan, monestako rajoitetusta pisteestä kyseisen peruselementti muodostuu.

Rajoitetun peruselementin sijainti ja koko mitoitetaan käyttämällä TED-mittoja. Mitoituksen on lähdettävä muista peruselementeistä (lukuun ottamatta 1. peruselementtiä). Ympyrän halkaisija voidaan esittää tunnuksen sisällä. Ks. kuva 19.

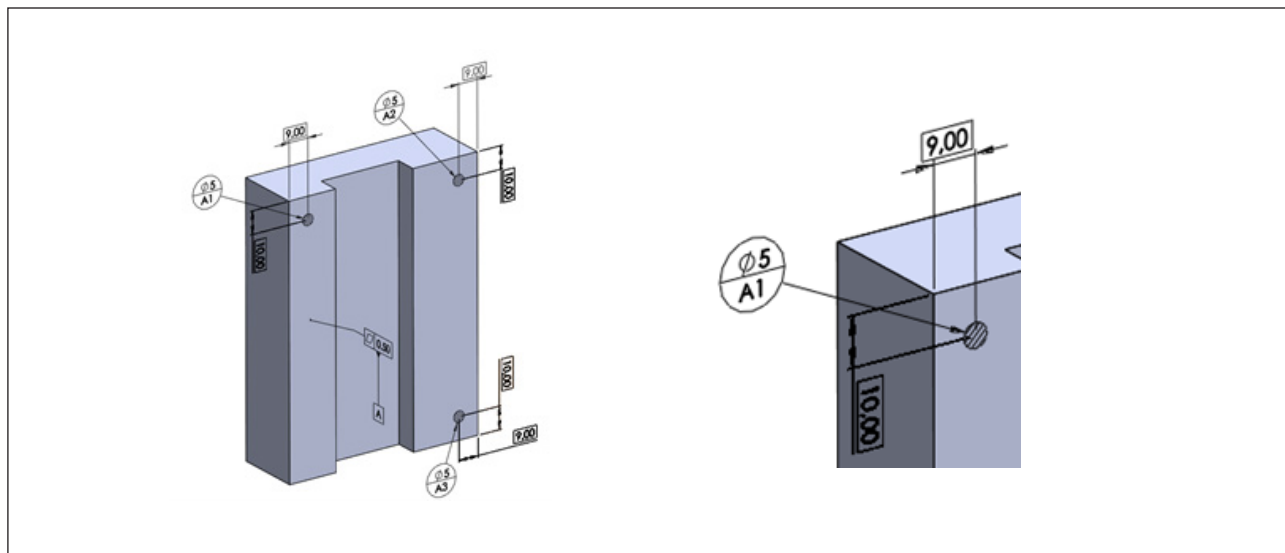
KUVA 17. Kolmesta tasopinnasta muodostuva peruselementtijärjestelmä A-B-C.



KUVA 18. Peruselementti B muodostuu kahdesta osapinnasta (siniset pinnat).



KUVA 19. Rajoitettu peruselementti.



Rajoitettuja peruselementtejä käytetään erityisesti valukappaleiden päästöllisissä pinnoissa ja tarkkuudeltaan karkeissa ja/tai epämääräisen muotoisissa levyrakenteissa. Rajoitettu peruselementti mahdollistaa myös jigin rakentamisen.

Rajoitettuja peruselementtejä määritettäessä hyvä muistisääntö on 3-2-1-referenssipistemenetelmä:

1. peruselementti määritellään 3 pisteen avulla (simuloi tasopintaa)
2. peruselementti määritellään 2 pisteen avulla (simuloi viivakosketusta)
3. peruselementti määritellään 1 pisteen avulla.

6.3 Mitalliset elementit

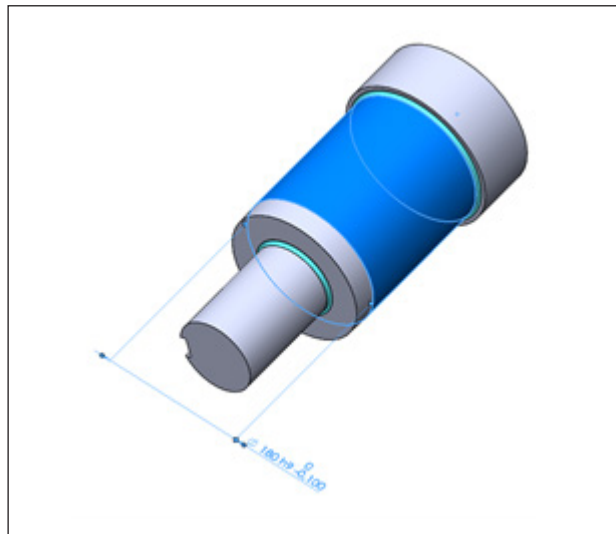
Pituusmitan voi tarkkaan ottaen määritellä yksiselitteisesti vain mitalliselle elementille. Mitalliset elementit ovat tiettyjä erityismuotoja, joille voidaan määritellä yksiselitteinen pituusmitta tai kulmamitta, ks. kuvat 20...22 ja taulukko 8.

Tyypillisimpiä mitallisia elementtejä ovat:

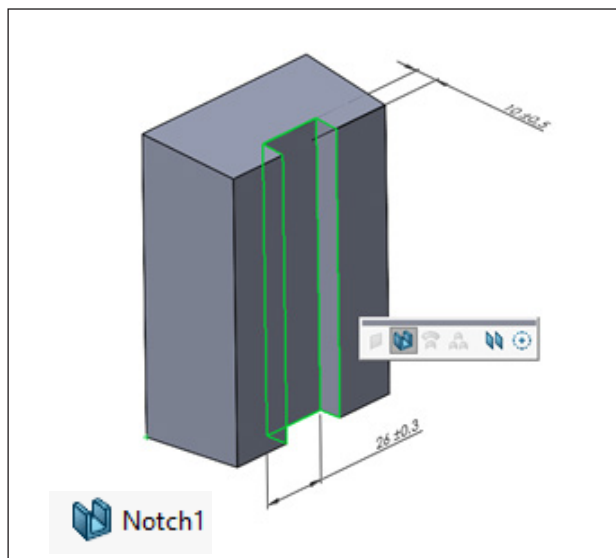
- akseli (ulkopuolinen lieriöpinta)
- reikä (sisäpuolinen lieriöpinta)
- kiila (vastakkaiset yhdensuuntaiset pinnat)
- ura (toisiaan vasten suunnatut yhdensuuntaiset pinnat).

Ks. lisätietoja mitallisesta elementistä standardista SFS-EN ISO 14405-1:2016.

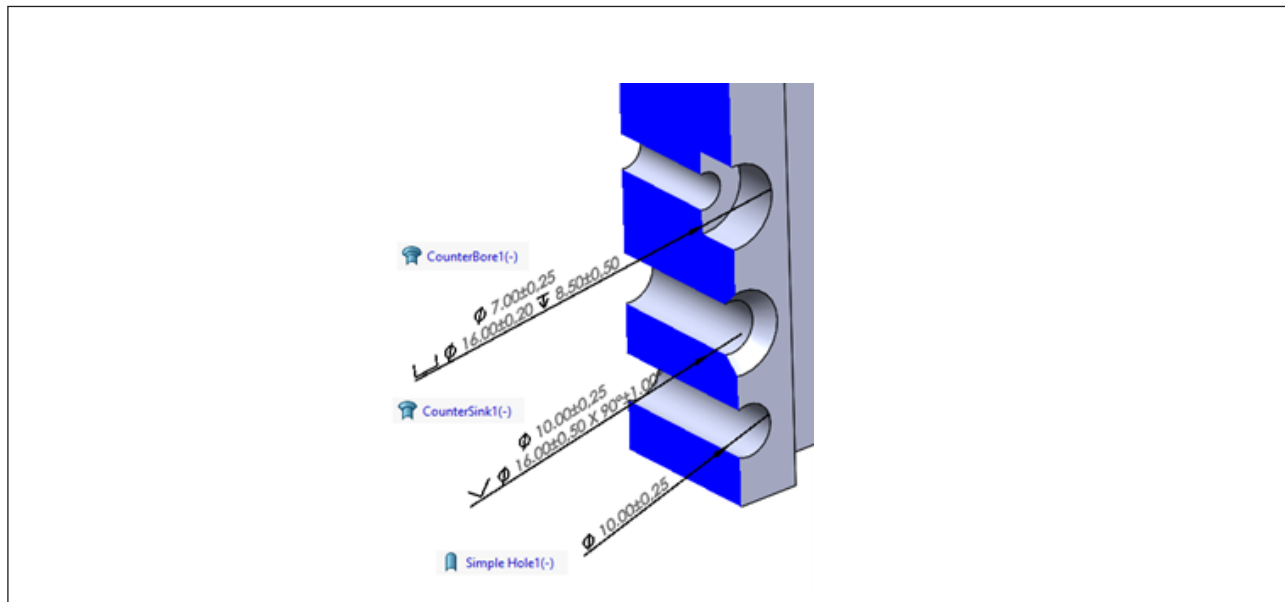
KUVA 20. Lieriöpinnan (mitallinen elementti) halkaisijamitta.



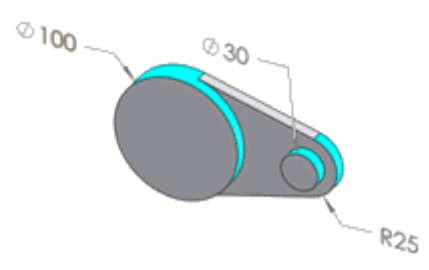
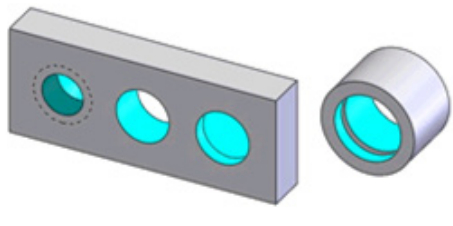
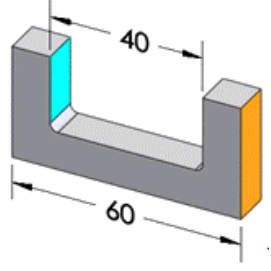
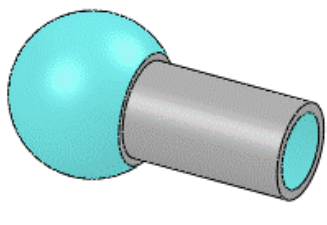
KUVA 21. Uran leveyden (mitallinen elementti) mitoitus pituusmittana.



KUVA 22. Reikien halkaisijamitoitus. CAD-ohjelmissa on yleensä erityisiä komentoja erimuotoisten reikien luontiin yhtenä piirteenä.



TAULUKKO 8. Mitallisia elementtejä

Kuva	Mitallinen elementti	Selitys
	Lieriö (akseli)	Ulkopuolinen lieriöpinta
	Reikä	Sisäpuolinen lieriöpinta
	Yhdensuuntainen tasopari (sisäpuolinen tai ulkopuolinen)	Kaksi yhdensuuntaista tasopintaa, suunnattu toisiaan kohti tai pois päin toisistaan
	Pallo	Sisä- tai ulkopuolinen pallopinta

6.4 Geometriset toleranssit

Geometriset toleranssit merkitään standardin ISO 1101:2017 mukaisesti. Standardissa ISO 1660:2017 annetaan ohjeita muototoleranssien asettamiseen. ISO 5458:2018 antaa ohjeita pattern-tyyppisten ryhmien tolerointiin.

MBD-malleissa geometriset toleranssit tarvitsevat joskus lisämääreitä, koska piirustuksen projektiosuunnasta perinteisesti saatu lisätieto puuttuu. Näitä lisämääreitä ovat leikkaustaso, suuntataso, suuntaelementti ja koon-titaso.

Uutta merkintätapaa suositellaan käytettävän myös 2D-piirustuksissa selkeyden vuoksi.

HUOM. Tällä hetkellä kaikki CAD-ohjelmat eivät sisällä työkaluja leikkaustason, suuntatason, suuntaelementin ja koon-titason määrittelyyn.

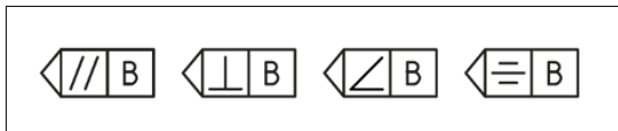
6.4.1 Leikkaustaso

Leikkaustasomerkinän avulla ilmoitetaan viivamaisen to-leranssin suunta. Aiemmin 2D-piirustuksissa projektio, jo-hon merkintä oli tehty, kertoi epäsuoraan mittaussuunnan.

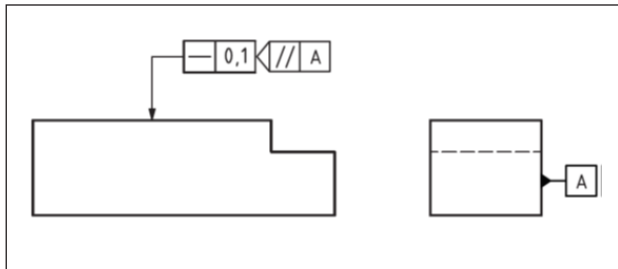
Nykyisten sääntöjen mukaan 2D-piirustuksissakaan ei saisi projektiosuuntaa käyttää toleranssimerkinnän tul-kitsemiseen vaan olisi käytettävä leikkaustason kaltaisia lisämerkintöjä. MBD-mitoituksessa tarvitaan aina selkeä lisätieto mittaussuunnasta.

Ks. tarkemmat säännöt standardista ISO 1101:2017.

KUVA 23. Leikkaustason tunnus (ISO 1101:2017).



KUVA 24. Esimerkki leikkaustasonmerkinnästä suoruusvaatimuksessa (ISO 1101:2017).

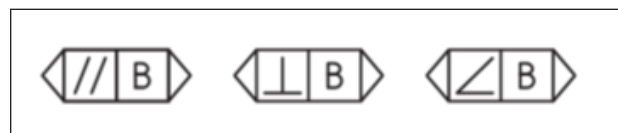


6.4.2 Suuntataso

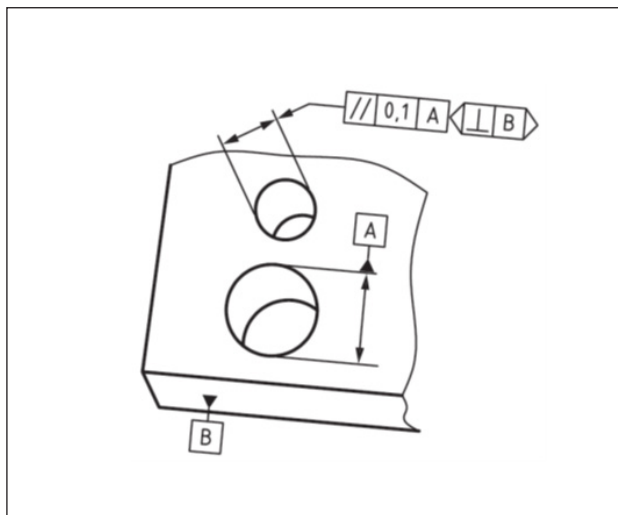
Suuntatason avulla ilmoitetaan tarvittaessa lisätietoa toleranssialueen suunnasta. Tyypillisin sovelluskohde on tilanne, kun toleroitu elementti on keskiviiva ja toleranssialue on kaksi yhdensuuntaista tasoa. Suuntatason avulla ilmoitetaan toleranssialueen suunta johonkin peruselementtiin nähden.

Ks. tarkemmat säännöt standardista ISO 1101:2017.

KUVA 25. Suuntatason tunnus (ISO 1101:2017).



KUVA 26. Esimerkki suuntatasomerkinnästä (ISO 1101:2017). Pienemmän reiän toleranssialue on kaksi yhdensuuntaista tasoa (välimatka 0,1 mm). Tasojen on oltava kohtisuorassa peruselementtiä B vastaan.



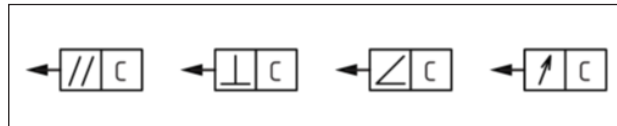
6.4.3 Suuntaelementti

Suuntaelementin avulla ilmoitetaan toleranssialueen suunta silloin, kun se ei ole pinnan normaalin suuntainen. Sitä käytetään vain rakenteellisille elementeille (ts. todellisille pinnoille, ei keskielementeille).

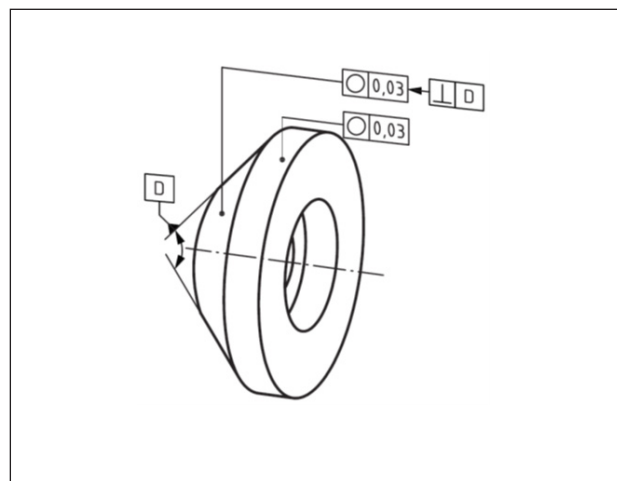
Jos määritellään ympyrämuotoisuustoleranssi muulle kuin lieriölle tai pallolle, suuntaelementti on merkittävä aina.

Ks. tarkemmat säännöt standardista ISO 1101:2017.

KUVA 27. Suuntaelementin tunnus (ISO 1101:2017).



KUVA 28. Esimerkki suuntaelementtimerkinnästä (ISO 1101:2017). Kartiopinnan ympyrämuotoisuustoleranssin mittaussuunta (tässä kohtisuoruus peruselementtiä D vastaan) on määriteltävä. Lieriöpinnan ympyrämuotoisuus ei tarvitse lisämäärettä.



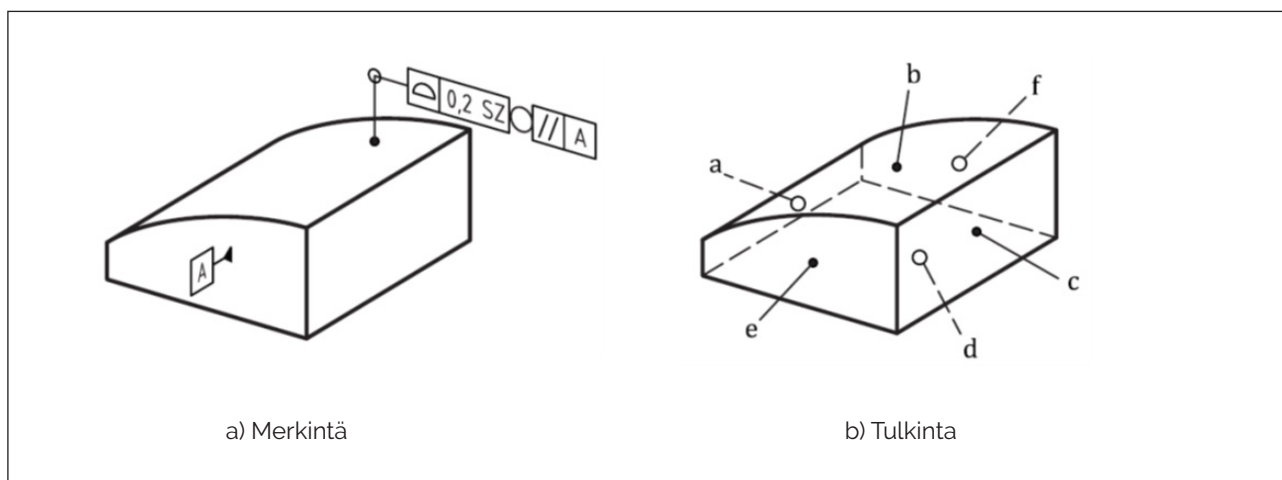
6.4.4 Koontitaso

Koontitasomerkintää on käytettävä aina ympäri-merkinnän kanssa. Koontitason kanssa leikkaava geometria kuuluu ympäri-määrittelyyn.

KUVA 29. Koontitason tunnus (ISO 1101:2017)



KUVA 30. Esimerkki koontitasomerkinnästä ja ympäri-merkistä (ISO 1101:2017). Pinnat e ja f eivät sisälly määriteltyyn muototoleranssiin.

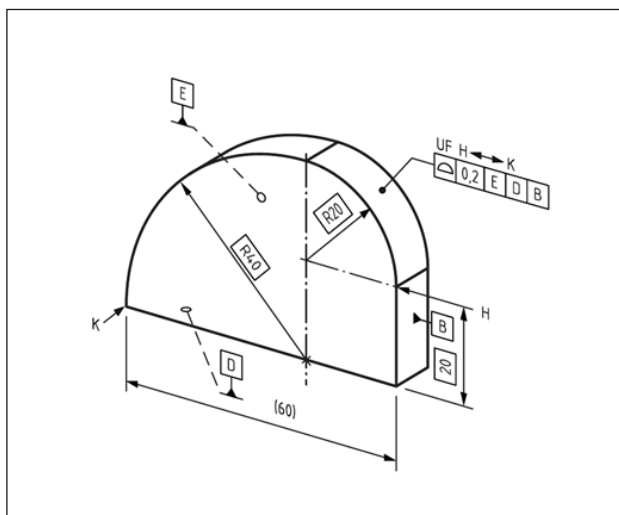


6.4.5 Rajatun alueen määrittely

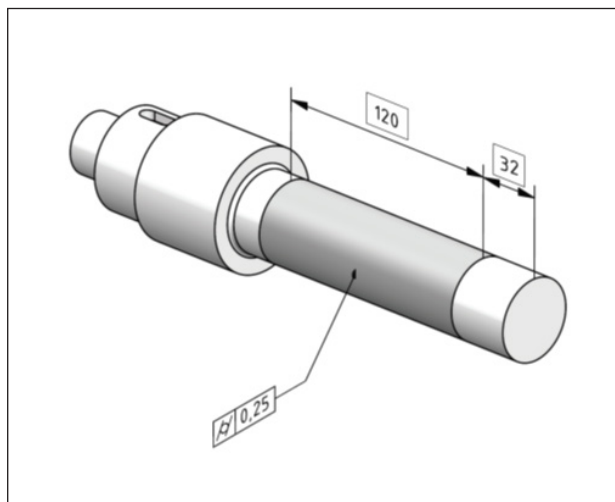
Rajattu alue voidaan esittää 3D-mallissa alku- ja loppupisteiden ja "välissä"-nuolimerkin avulla (kuva 31). Rajattujen alueiden mitat esitetään TED-mittoina.

Toinen tapa on esittää rajattu alue mallin geometrian avulla (kuva 32). Kun toleranssimerkintää osoitetaan, kaikkien määrittelyyn kuuluvien pintojen olisi korostettava. Toisin sanoen annotaation on oltava assosiatiivinen. Rajatun alueen merkintätekniikkaa valittaessa on aina ajateltava loppukäyttäjää. Määrittelyn on käytävä selkeästi ilmi esitystavasta riippumatta. Lisäksi olisi huomioitava, että esimerkiksi pelkkä pinnan osittaminen (split) ei välttämättä näy 3D-mallista tuotetussa piirustuksessa. Pinnan osittamisella voi myös olla negatiivinen vaikutus 3D-mallin käytettävyyteen CAM- ja mittausohjelmistoissa.

KUVA 31. Rajatun alueen määrittely "välissä"-merkinnällä (ISO 1660:2017). Muototoleranssi koskee H- ja K-pisteiden rajaamaan aluetta toleranssimerkinnän osoittamalla alueella.



KUVA 32. Rajatun alueen määrittely mallin geometrian avulla (ISO 16792:2021).



6.5 Toleranssien suunta (symmetrinen vai toiseen suuntaan)

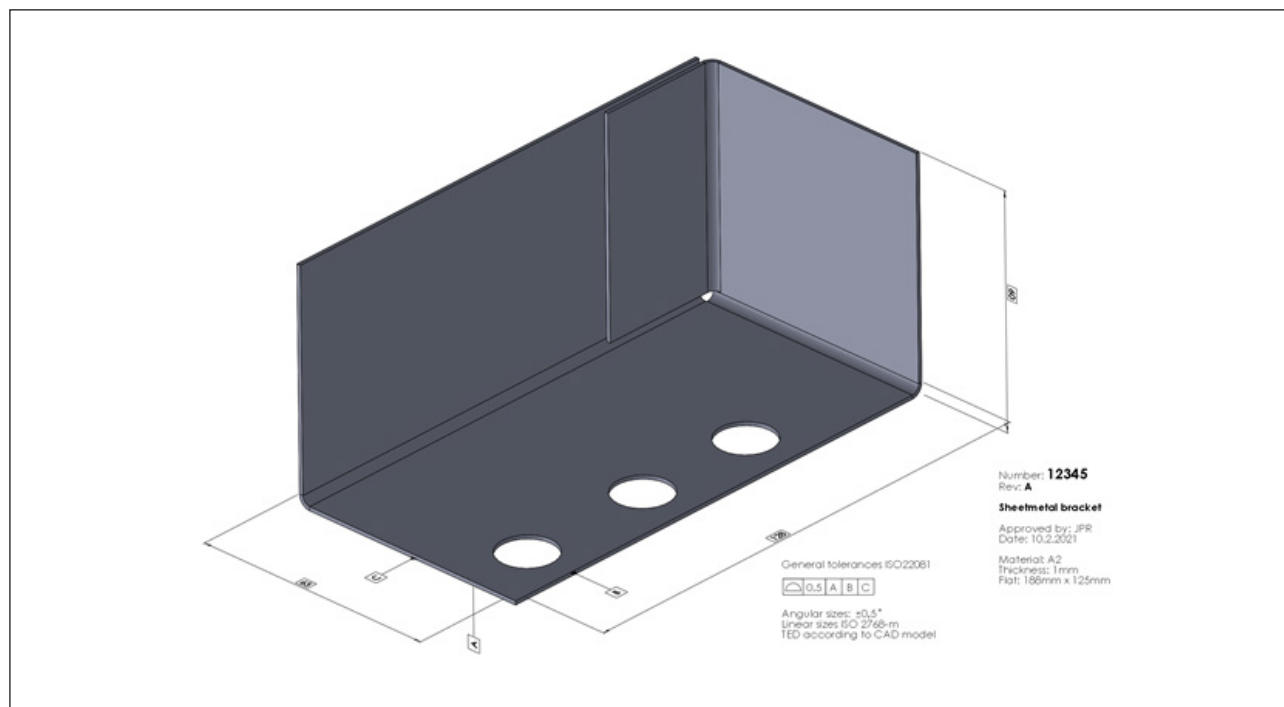
Oletusarvoisesti toleranssi jakautuu symmetrisesti nimellismuodon/mitan ympärille.

Pituusmittojen osalta $\pm$ -toleranssi on symmetrinen, samoin ISO-toleranssi "js". Pituusmitalle voidaan antaa epäsymmetrinen toleranssi ilmoittamalla toleranssin ylä- ja alarajat sopivilla etumerkeillä. Lisätietoja on standardissa ISO 14405-1:2016.

Geometrisen toleranssin toleranssialue voidaan siirtää joko materiaaliin päin tai siitä pois päin. Merkintä tehdään toleranssikehykseen "UZ"-tunnuksella (unsymmetric zone). Lisätietoja on standardissa ISO 1101:2017.

6.6 Yleistoleranssi

3D-mallille voidaan määrittää yleistoleranssi käyttäen geometrista muototoleranssia.



Standardin ISO 2768 mukainen "perinteinen" yleistoleranssi ei sellaisenaan sovellu MBD-malleihin. Syynä on se, että kaikkia mittoja ei esitetä, vaan ne saadaan esim. kyselemällä. Silloin esimerkiksi ISO 2768-1 mukainen pituusmitan yleistoleranssi muuttuisi epämääräisesti tilanteesta toiseen. Geometrisia yleistoleransseja koskeva ISO 2768-2 on kumottu eikä sitä pitäisi enää käyttää.

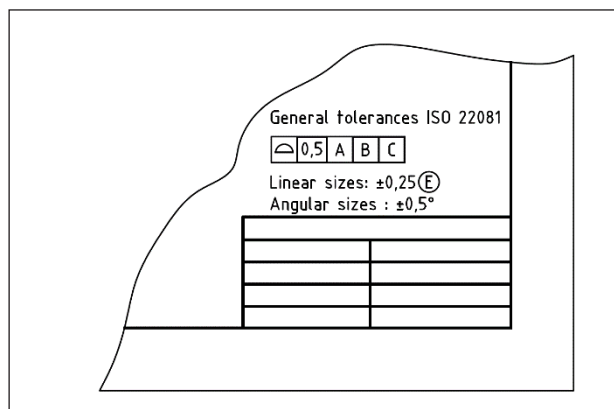
ISO on julkaissut uuden yleistoleranssistandardin SFS-EN ISO 22081:2021. Siinä yleistoleranssi annetaan geometrisena muototoleranssina. Mitalliset elementit voidaan toleroida erikseen (esim. viittaamalla standardiin ISO 2768-1). ISO 22081 mukainen yleistoleranssi esitetään aina suhteessa peruselementtijärjestelmään. Peruselementtien on sidottava kaikki vapausasteet, joita tarvitaan yleistoleranssin määrittelemien toleranssialueiden lukitsemiseen. Ks. kuva 33 esimerkki.

Muototoleranssi voi olla yksi lukuarvo tai muuttuja. Muuttujan arvo voi riippua esimerkiksi

- elementtien mitoista, tai
- elementtien etäisyydestä peruselementtijärjestelmään.

ISO 22081 mukainen merkintä koskee niitä 3D-mallin pintoja, joille ei ole asetettu yksilöllistä toleranssia. Yleistoleranssi merkitään piirustukseen tai mallitiedostoon (ks. kuva 34).

KUVA 34. Standardin ISO 22081 mukaisen yleistoleranssin merkintätapa.



Saksassa on julkaistu kansallinen standardi DIN 2769:2020, jossa muototoleranssille ja pituusmitoille on määritetty tarkkuusluokka ja mittalukutaulukot (ks. kuva 35).

KUVA 35. Standardin DIN 2769:2020 mukainen yleistoleranssin ilmoittaminen (ote standardista DIN 2769:2020).

Allgemeine Toleranzen nach ISO 22081				
	Siehe DIN 2769 Tabelle 1 Klasse D			
Größenmaße $\pm t2$	Siehe DIN 2769 Tabelle 2 Klasse 4			
Winkelgrößenmaße $\pm t3^\circ$	Siehe DIN 2769 Tabelle 3 Klasse b			

6.7 Pinnan ominaisuudet

Pinnankarheus ilmoitetaan standardin ISO 1302:2001 mukaisella tunnuksella. Yleismerkintä voidaan tehdä yleisenä annotaationa (ks. 6.g).

Yksittäisten pintojen tai pintaryhmien määrittelyssä on valittava kaikki liittyvät 3D-mallin pinnat. Mittaussuunta olisi ilmoitettava kohdan 6.4.1 mukaisella leikkaustasotunnuksella.

6.8 Särmät

Särmien käsittely ilmoitetaan standardin ISO 13715:2017 mukaisella tunnuksella. Yleismerkintä voidaan tehdä yleisenä annotaationa (ks. 6.g).

6.9 Yleiset annotaatiot

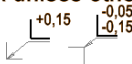
Tuotteen valmistusta voidaan määrätä ja rajoittaa muillakin tavoilla, kuin pelkillä MBD-annotaatioilla. Tällaiset yleiset, aina voimassa olevat vaateet kannattaa liittää yrityksen MBD-dokumenttipohjaan yleisenä annotaationa (ks. kuva 36).

KUVA 36. Esimerkki yleisestä annotaatiosta.

NOTES:

1. MECHANICAL REQUIREMENTS:

- Injection point: vestige not allowed to be embossed from surrounding surface .
- Splitting and parting line mismatch/step must not exceed 0,05mm.
- Grease, oil and dirt to be removed.
- No flash or burr allowed unless otherwise specified.
- All ejector pin marks must be recessed 0,1-0,2mm from surrounding surface.
- Tool markings are not allowed to be embossed from surrounding surface.
- Draft angles according to 3D MASTER DATA unless otherwise specified.
- Sharp edges on 3D DATA as per ISO 13715

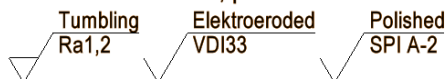


(except in parting lines) unless otherwise specified.

- Dimensions of the unspecified features in 3D MASTER DATA to be followed
 - General tolerance accuracy defined in title block unless otherwise specified
 - All numbered dimensions marked by symbol (X) must be measured and reported from 3-5 samples from each cavity when requested. It is recommended to use measuring report template.
 - If any measuring point are unclear, correct measuring points to be checked and confirmed with designer.
- #### 2. SPECIFICATIONS AND OTHER DOCUMENTS:
- DFM report (including parting line, ejector pin, gate location and possible sintering position) to be submitted by manufacturer and must be approved by design responsible before tooling starts.
 - FAI report to be submitted by manufacturer from tooling samples and must be approved by design responsible before mass production starts.
 - Cpk report to be submitted by manufacturer from preproduction order (min. qty. 200 pcs) and must be approved by design responsible before mass production starts.
 - For hardened part: Hardness measurement must be done for every manufacturing lot and measurement report must be sent with every shipment. Other delivery methods (for example email) for measurement report can be agreed with buyer.
 - For plated part: Plating thickness measurement must be done for every manufacturing lot and measurement report must be sent with every shipment. Other delivery methods (for example email) for measurement report can be agreed with buyer.

3. SURFACE TEXTURING:

- Electroeroded surfaces follow VDI3400 standard, polished surfaces follow SPI standard



- General surface texturing:
- Detailed surface texturing, see sheet ??

4. OTHER REQUIREMENTS:

- Dimensions marked by symbol ○, Process capability (Cpk) to be proved
 - Quantity of numbers:
- Dimensions marked by symbol ●, Continuous statistical process capability (SPC) to be proven
 - Quantity of numbers:
- Dimensions marked by symbol ◆, Dimension will be measured in IQC.
 - Quantity of numbers:
- Cpk requirement >1,33
- Part package shall provide protection during transport, handling and storing.

5. EXEMPTIONS

No changes allowed on part without written approval by design responsible person

6.10 Valmistustavan ilmoittaminen

Valmistustavan ilmoittamiseen voidaan käyttää metatietoa tai ilmoittaa yleisessä annotaatioissa (ks. 6.9).

6.11 2D-piirustustiedon käyttö annotaatioita luodessa

Jossain CAD-työkaluissa on työkaluja, joilla 2D-piirustukseen tehtyjä annotaatioita voidaan siirtää 3D-malliin (puhutaan ns. legacy datasta). Tämä edellyttää, että 2D-piirustus on alkujaan tehty 3D-mallin pohjalta ja niiden välillä on yhteys. Tällä menetelmällä voidaan säästää paljon aikaa siihen verrattuna, että kaikki annotaatiot jouduttaisiin luomaan käsin.

Annotaatioiden siirrossa jokaisesta 2D-kuvannosta luodaan automaattisesti vastaava 3D-kuvanto CAD-malliin ja annotaatiot luodaan piirustustiedon pohjalta vastaavaan 3D-näkymään. Ongelmaksi voi muodostua annotaation geometrian assosiointi, joka perustuu piirustustietoihin. Piirustuksessa esimerkiksi mitta voi olla kiinnitettyä pisteeseen, särmään tai pintaan, annotaation geometria-assosiointia voidaan joutua korjaamaan siirron jälkeen.

6.12 Annotaatioiden automaattinen luonti

Annotaatioita voidaan myös luoda tiettyjen sääntöjen ja automaattisen geometriatunnistuksen pohjalta. Yleensä käyttäjän on määriteltävä peruselementtijärjestelmä. Sen jälkeen CAD-ohjelma tuottaa annotaatiot. Automaattiset annotaatiot on syytä tarkastaa suunnittelijan toimesta.

6.13 Leikkauskuvannot

Työkappale on tarvittaessa esitettävä leikattuna, jotta työkappaleen piilossa oleviin piirteisiin voidaan lisätä annotaatioita ja niiden lukeminen on mahdollista. Tähän tarvitaan 3D-leikkauskuvantoja. Tarkempia ohjeita leik-

kausten tekemiseen on standardin ISO 16792:2021 kohdassa 5.6.

3D-leikkauskuvanto voidaan tallentaa näkymäksi ja kappale voidaan esittää leikattuna aktivoimalla leikkauskuvantonäkymä.

6.14 Osasuurenokset

2D-piirustuksista tuttuja osasuurenoksia ei yleensä tarvitse luoda MBD-esitystavassa. Jos kuitenkin halutaan korostaa jotain tiettyä yksityiskohtaa, siitä voidaan luoda erillinen 3D-kuvanto, jossa esitetään vain tietty kohta osasta tai kokoonpanosta omine annotaatioineen.

6.15 Attribuuttitiedon käyttö annotaatioissa

Annotaatiot voivat pitää sisällään paljon sellaista tietoa, jota on jo attribuutteina CAD-mallissa.

Näissä tapauksissa on tärkeää, että annotaatioissa voidaan suoraan viitata olemassa olevaan attribuuttitietoon ja että myös muutos alkuperäiseen tietoon päivittyy annotaatioon automaattisesti.

6.16 Annotaatiot parametrisissa malleissa

Parametrisia 3D-malleja voidaan luoda ns. taulukkomalleina, joissa erilaisia mallin variantteja määritetään parametrisina arvoina taulukossa. Myös näihin malleihin pitää pystyä lisäämään annotaatioita ja niiden tulee päivittyä automaattisesti luotaessa mallin variantteja.

Lisäksi voi olla tarpeellista hallita näitä annotaatioita siten, että tietyillä parametreilla arvoilla tietyt annotaatiot ei esitetä lainkaan tietyssä variantissa. Toisin sanoen annotaatioita on pystyttävä piilottamaan (suppress) tiettyjen kriteerien perusteella.

Annotoidun mallin tehokas käyttäminen edellyttää työkaluja mallin tutkimiseen ja kyselyiden (query) tekemiseen. Kaikkien annotaatioiden esittäminen samaan aikaan voi tehdä mallista "lukukelvottoman". Paljon tietoa sisältävässä MBD-mallissa on myös vaarana, että sama annotaatio tehdään kahteen kertaan eri annotaatiota-soille.

Annotaatioiden analysointi- ja kyselytyökalut ovat hyvin järjestelmäkohtaisia ja niistä on vaikea antaa mitään yleisiä ohjeita. ISO 16792:2021 antaa kuitenkin perusvaatimuksia, joita kannattaa testata esim. CAD-ohjelmiston hankintavaiheessa.

7.1 Etsi tiettyyn geometriaan assosioitu annotaatio

Valitsemalla tarkasteltava pinta/piirre siihen liitettyjen annotaatioiden tulisi korostua.

7.2 Löydä tietyntyypiset annotaatiot mallista

Suodatustoiminnoilla vain tietyntyypiset annotaatiot voidaan rajata näkyviksi.

7.3 Vertaa annotaatioiden eroavuuksia mallien välillä

Kahden lähekkäisen mallin annotaatioiden eroja voidaan vertailla erityisellä vertailutyökalulla.

7.4 Tarkista annotaatioiden semantiikka sekä syntaksi

Joissakin kehittyneemmissä CAD-järjestelmissä annotaatioiden semantiikkaa ja syntaksia voidaan valvoa ja tarkastaa. Parhaassa tapauksessa CAD-järjestelmä saat-
taa jopa estää mahdottomien/epäloogisten määrittysten tekemisen.

Annotaatiotietojen käyttö jatkoprosesseissa

8.1 Annotaatiotiedon digitaalinen säie (digital thread)

MBD:n perusperiaatteisiin kuuluu, että 3D-malli toimii master-mallina, josta tietoa voi linkittää eteenpäin tarvittaviin aliprosesseihin, kuten valmistukseen sekä laadunvalvontaan. Perusperiaatteena on, että tieto luodaan kerran ja sitä käytetään uudelleen aliprosesseissa.

Pisimmälle vietyinä assosiatiivinen 3D-geometria, annotaatiot sekä muu attribuuttitieto linkitetään CAD-mallin ja valmistusmallin välillä muodostaen ns. digitaalinen säie. Digitaalisen säikeen avulla muutostilanteessa muutokset saadaan automaattisesti välitettyä myös kaikkiin apumalleihin, kuten CAM-malliin tai laadunvarmennukseen.

Esimerkiksi valmistustietoa, kuten työstöratoja, ei tavallisesti haluta lisätä suoraan CAD-malliin, vaan luodaan erillinen 3D-mastermalliin linkitetty koneistusmalli.

8.2 Variaatioanalyysi (toleranssianalyysi)

Variaatioanalyysi on tyypillinen jatkoprosessi, jossa osatason toleransseja ja annotaatioita käytetään muodostamaan tuotteen tai osakokonaisuuden tilastollinen vaihteluanalyysimalli.

9 MBD-tiedon käyttäminen tuotannossa

9.1 NC-koneistuksen työstöradat (CAM)

3D-mallin geometriaa voidaan hyödyntää työstöratojen tuottamiseen. Parhaassa tilanteessa toleranssivaatimukset voidaan huomioida koneluettavasti työstöratojen ohjelmoinnissa. Kaikki CAM-ohjelmistot eivät tähän kuitenkaan tällä hetkellä kykene, lähinnä vain CAD-ohjelmistoon integroidut järjestelmät.

Mallinnustapa saattaa vaikuttaa 3D-mallin käyttökelpoisuuteen. Nimellismittaan mallinnetut piirteet (esim. reiät tai urat) voivat sisältää epäsymmetrisen toleranssialueen (esim. H7). CAM-ohjelmoinnissa koneistusrata pyritään yleensä mallintamaan keskelle toleranssia. Epäsymmetriseen nimellismittaan mallinnettu piirre joudutaan käsittelemään manuaalisesti työstöratojen suunnittelussa.

9.2 Ohutlevyosat

Mallipohjainen levyvalmistus pohjautuu 3D-malliin, joka välitetään ohutlevynosan valmistavalle taholle. 3D-mallin perusteella pystytään muodostamaan sekä levynleikkaus- että taivutusohjelmat. Geometrian lisäksi 3D-mallin mukana voidaan välittää tieto materiaalista. Tällä hetkellä levytyö-CAM-ohjelmat eivät juurikaan pysty hyödyntämään annotaatioita ja toleranssimerkintöjä koneluettavasti.

Mikäli levyosa sisältää muovattuja muotoja, voidaan niistä tyypillisimmät tunnistaa levytyö-CAM-ohjelmalla.

9.2.1 Aukilevitys

Tuotantolaitoksen prosessisuunnitteluvaiheessa 3D-mallille määritetään materiaaliparametrit, joiden perusteella levitysparametrit määritetään. Tuotantolaitoksella on omassa materiaalikirjastossaan tuotantokonekohtaiset materiaalimäärittelyt, joilla päästään huomattavasti tarkempaan levitysparametriikan hallintaan kuin CAD-järjestelmien yleisillä K-arvoilla. Tästä syystä suunnittelijan ei välttämättä tarvitse määritellä K-arvoa kovin täsmällisesti.

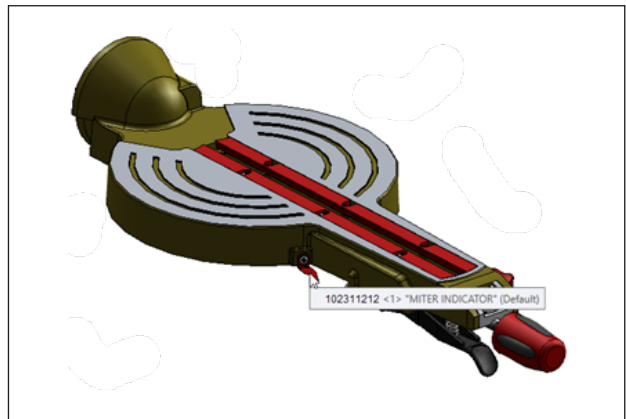
Suunnittelijan tulisi ennemminkin määritellä särmäysten sallitut raja-arvot (ts. toleranssit), joita valmistaja voi sitten hyödyntää parhaaksi katsomallaan tavalla.

9.3 Kokoonpanotyö

Yksinkertaisimmillaan kokoonpanotyö voidaan esittää suunnittelun tuottaman 3D-mallin avulla. Omassa tuotantotilassa tapahtuva tuotteen kokoaminen ei välttämättä vaadi lisätietoja kokoonpantavien osien kannalta.

Riittää, että 3D-katseluohjelmassa pystytään kyselemään asennettavien osien tunnisteen (piirustusnumero tai nimikenumero), ks. kuva 37.

KUVA 37. Nimikkeen tunnisteen kysely mallista.



Kappalemäärien esittämiseen kokoonpanokuvassa ei välttämättä ole tarvetta. Kappalemäärät esitetään parhaiten osaluetteloiden avulla. Osaluettelon luettavuutta voidaan parantaa esittämällä osan visualisointi, ks. kuva 38. Osaluettelon esittäminen voidaan toteuttaa erillisellä 3D-mallilla, jolloin sen suodatettavuus (ilman PDM/PLM/ERP-ohjelmia) on helppoa.

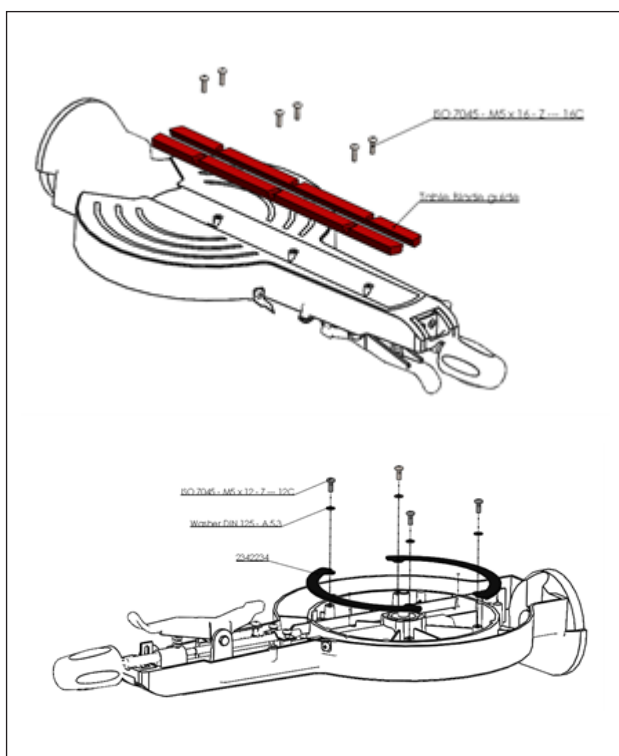
KUVA 38. Kuvitettu osaluettelo.

DOCUMENT PREVIEW	ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
	1	Table1	Machined table	1
	2	Table-blade guide	Table Blade guide	2
	3	Sliding Plate		2
	4	BEVEL ADJUSTER	Level Adjust	1
	5	Miter Lock Rod Guide		1
	6	Miter Lock rod		1
	7	Micro Adjuster	Micro Adjuster	1

3D-malliin voidaan luoda kokoonpanovaiheistus, jonka avulla jokaiselle työvaiheelle syntyy oma kuva tai malli. 3D-mallin käyttö soveltuu tilanteeseen, jossa tehtaan tuotantoprosessissa on tietoteknisesti osaavaa henkilökuntaa. Tällöin melko vähän käsitelty 3D-malli riittää ohjeeksi kokoonpanoon.

Mitä monimutkaisempi tuotemalli on, sitä tarkemmin sen kokoonpano on vaiheistettava. Tämä tarkoittaa enemmän työtä tuotannonsuunnittelussa, mutta toisaalta se poistaa tarvetta etsiä tietoa 3D-mallista. Tuloksena voi olla 3D-mallista tehty video, kuvasarja, tekninen kuvitus tai AR-esitys, jota katsellaan selainohjelman kautta.

KUVA 39. Vaiheistettu kokoonpanokuva.



9.4 Hitsaus

MBD-malleissa hitsaus voidaan merkitä piirustusmerkinnöillä standardin ISO 2553:2019 mukaisesti. Hiksi voidaan myös mallintaa. Mallintaminen mahdollistaa esimerkiksi määrälaskennan, automaattiset hitsausmerkit, painon laskemisen, tilantarvetarkastelut ja hitsausrobottien ohjelmoinnin.

MBD-mallia voidaan käyttää myös hitsausjärjestyksen suunnitteluun ja kokoonpano-ohjeiden laatimiseen. Hitaustyötä havainnollistamaan voidaan luoda esim. asennusvideo.

9.5 Lämpökäsittelyt ja pinnoittaminen

Lämpökäsittelyt (esim. nitraus) esitetään standardin ISO 15787:2016 mukaisilla merkintätavoilla. ISO 15787 ei määrittele erikseen MBD-tekniikoita, koska se ei ole kovin uusi standardi. Lämpökäsittelytila ilmoitetaan annotaationa 3D-mallin yleisannotaatioissa (ks. 6.9) tai attribuuttitietona.

Rajattujen alueiden osoittaminen voi olla haastavaa CAD-ohjelman työkaluista riippuen. Jos pintakäsittely tehdään valituille kokonaisille pinnoille, ne voidaan kehräillä ja liittää annotaatioon tai attribuuttitietoon. Jos vain osa yhdestä pinnasta lämpökäsitellään, alue määritellään apugeometrian avulla tai osittamalla pinta. Pinnan osituksella voi olla epäsuotuisia vaikutuksia mallin käytettävyyteen.

Pinnoittamista (esim. kromaus, maalaus) koskevat samat menetelmät.

10 MBD-tiedon käyttäminen laadunvalvonnassa

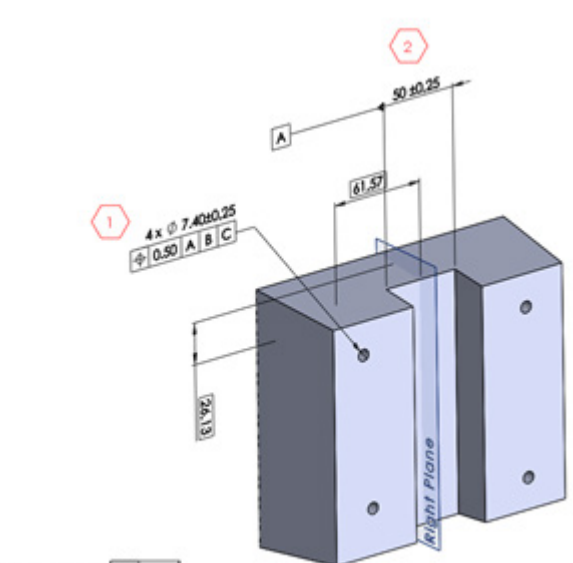
Tarkastettavat mitat voidaan määrittellä parametriseina tai attribuuttitietona MBD-malliin. Tarkastusraportti voidaan tuottaa automaattisesti valituista tarkastuskohteista. Tarkastettavat mitat ja muut määrittelyt voidaan esittää 3D-mallissa lippumerkinnällä, esimerkiksi standardin SFS-EN ISO 129-1:2018 kohdan 9.1 mukaisilla tunnuksilla. Kuvassa 41 käytetään punaista "mutteritunnusta".

Standardisoitua tarkastusmittamerkintää ei tällä hetkellä ole. Tätä raporttia laadittaessa ISO/TC 213 on julkaissut ehdotuksen tarkastusmittojen merkintään. Ehdotuksen tunnus on ISO/NP 7533.

KUVA 40. Esimerkki mittauspöytäkirjasta.

First Article Inspection Report										
Form 3: Characteristic Accountability, Verification and Compatibility Evaluation										
1. Part Number					2. Part Name			3. Serial/Lot Number		4. FAI Report
A2443553-A					Locator			1		0
Characteristic Accountability					Inspection / Test Results				Other Fields	
5. Char No.	7. Characteristic Designator	8. Requirement	8a. UoM	8b. Upper Limit	8c. Lower Limit	9. Results	10. Designed Tooling	11. Non-Conformance Number	14. Notes	
1.1	HoleDiameter	Ø 7,40	mm	7,65	7,15	7,50				
1.2	HoleDiameter	Ø 7,40	mm	7,65	7,15	7,80			Tool broke	
1.3	HoleDiameter	Ø 7,40	mm	7,65	7,15					
1.4	HoleDiameter	Ø 7,40	mm	7,65	7,15					
2	Length	50	mm	50,25	49,75					
The signature indicates that all characteristics are accounted for; meet drawing requirements or are properly documented for disposition.										
12. Prep									13. Date	

KUVA 41. Mittauskohteiden esittäminen MBD-mallissa.



Properties	
Selected	☒
ID #	1
Char #	1.1
Char Zone	
Quantity	1
Value	Ø 7,40
Units	mm
Sub-Type	n/a
Key	☐
Reference	☐
+ Tolerance	+0,25
- Tolerance	-0,25
Upper Limit	7,65
Lower Limit	7,15
Comments	
Operation	
Sheet	
View	*Top
Classification	Incidental
Configuration Name	
Method	

10.1 Mittaus koordinaattimittauskoneella

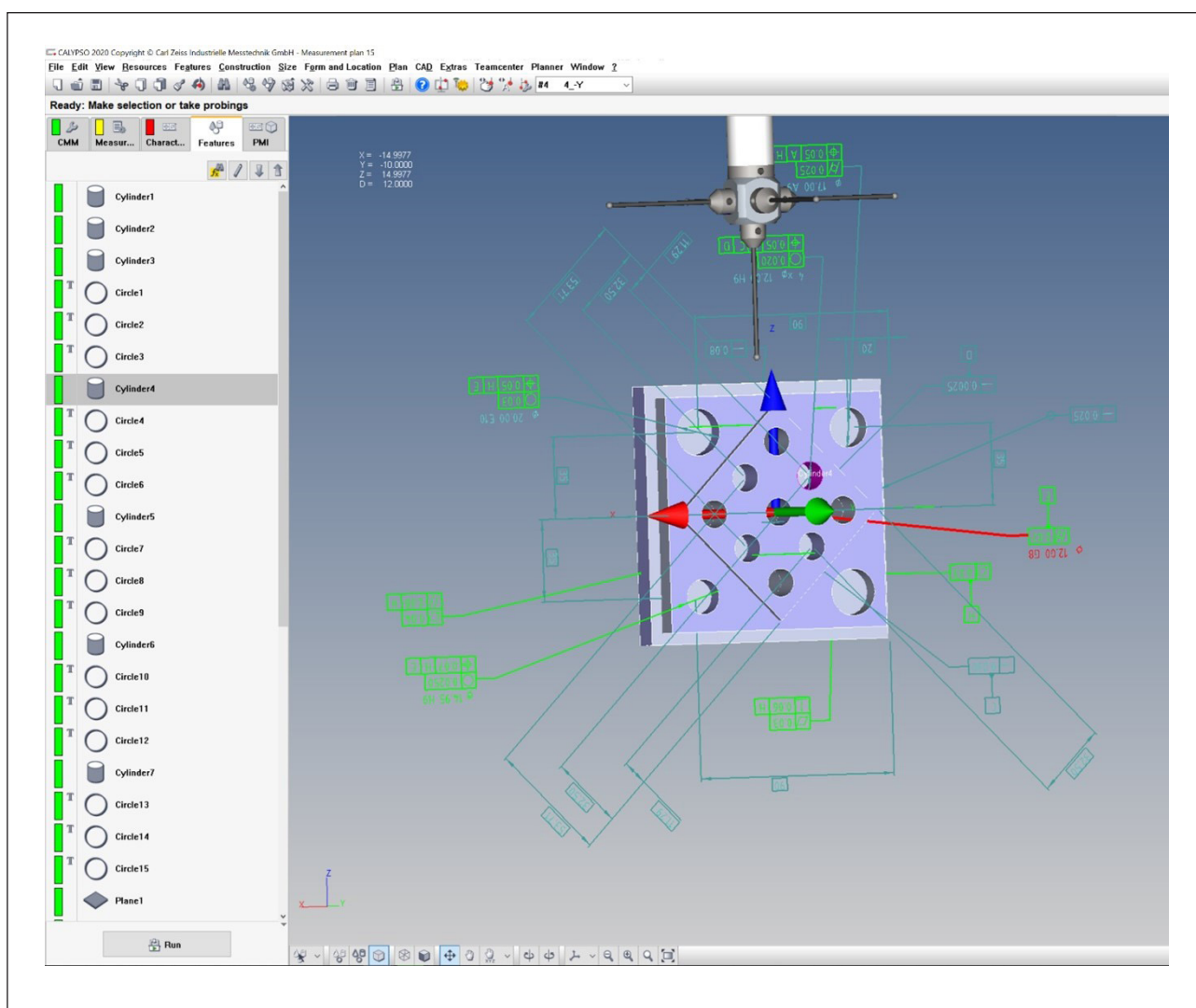
Koordinaattimittauskoneiden ohjelmistot pystyvät hyödyntämään annotoituja MBD-malleja. Toleranssivaatimukset pystytään yleisesti konelukemaan ja mittausohjelman laadinta voidaan automatisoida pitkälti.

MBD-mallin sisältämiä mitta- ja toleranssitietoja voidaan hyödyntää mitattavien elementtien mittausstrategioiden automaattiseen luomiseen. PMI-tiedon avulla voidaan myös automaattisesti luoda mittausohjelmaan elementtien halkaisija-, etäisyys- ja geometriset toleranssit. Ohjelmistot kykenevät tekemään PMI-tiedon perusteella elementille mittausstrategiat ja nimeämään sen peruselementiksi. Koska 3D-malli voi sisältää useita peruselementtijärjestelmiä, eri peruselementtijärjestelmät on sidottava toisiinsa.

Mittausohjelmistot tunnistavat CAD-mallista elementin, johon PMI-tieto on sidottu. Ohjelmisto päättää elementille mittausstrategian PMI-tiedon perusteella. CAD-mallista tunnistettavia elementtejä ovat tasot, lieriöt, ympyrät, suorat kartiot, pallot ja pisteet. Esimerkiksi jos CAD-mallissa olevalle tasopinnalle on asetettu suorruuden toleranssi, tasopinta mitataan toleranssimerkin määräämässä suunnassa.

Useat ohjelmistot perustuvat puurakenteeseen. PMI-tiedon perusteella ohjelmisto rakentaa CAD-mallin elementit puurakenteeseen. Samoin ohjelmistot rakentavat elementtien ominaisuudet myös puurakenteeseen perätysten. Kuvassa 42 on erään koordinaattimittauskoneen ohjelmiston puurakenne.

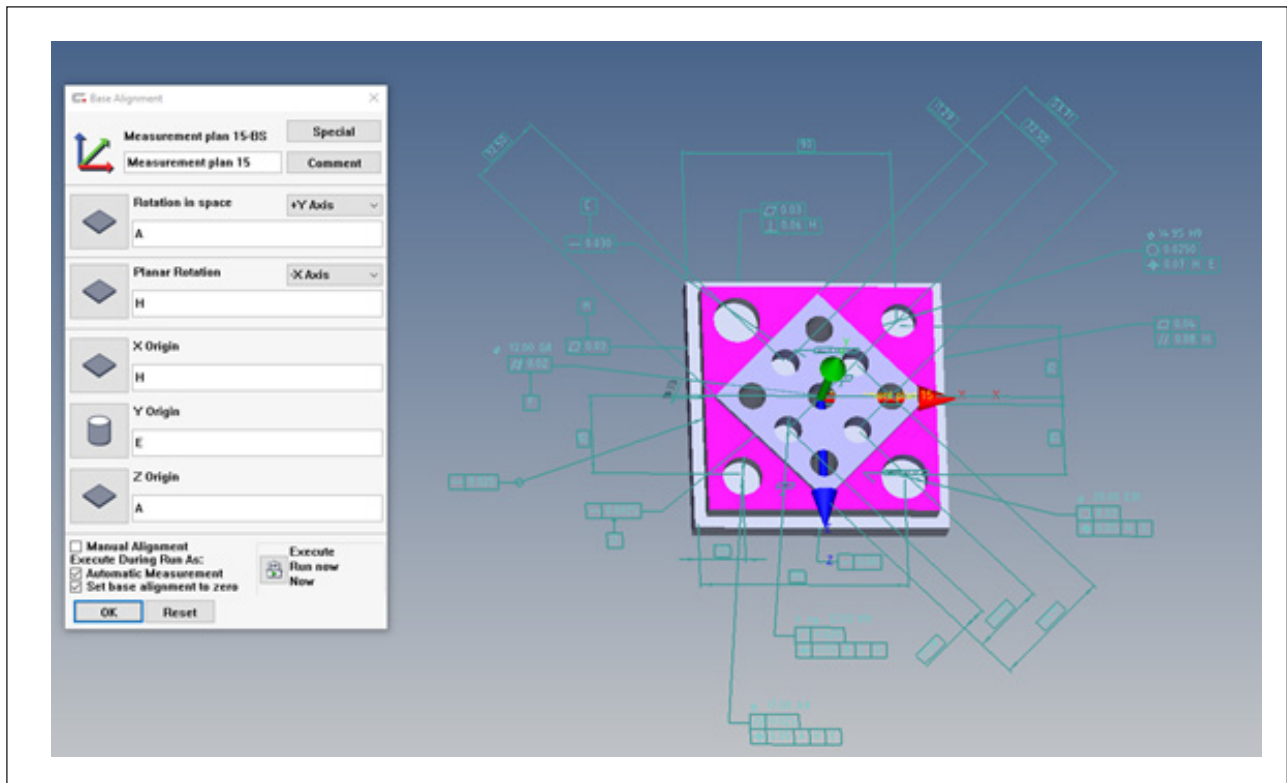
KUVA 42. Esimerkki koordinaattimittauskoneen puurakenteesta.



Mittausohjelma syntyy MBD-mallin avulla todella nopeasti. Esimerkiksi kuvan 43 kappaleen mittausohjelman tekemiseen ja simulointiin menee aikaa noin 4 minuuttia. Aika-arvio ei pidä sisällään kuitenkaan koko mittausohjelman tekoa, koska PMI-tieto ei sisällä elementtien suodatusarvoja. Toisinaan elementtien oletusmittausstra-

tegioita pitää hienosäätää. Näihin edellä mainittuihin ohjelmamuutoksiin kyseisen kappaleen kohdalla kuluu lisää aikaa noin 15–45 min. Vastaavan ohjelman tekemiseen 2D-piirustuksesta ilman PMI-tietoa kuluisi aikaa noin 4–5 h. Vaarana on lisäksi inhimillinen virhe tiedon siirrossa.

KUVA 43. Kappaleen suuntauselementit.

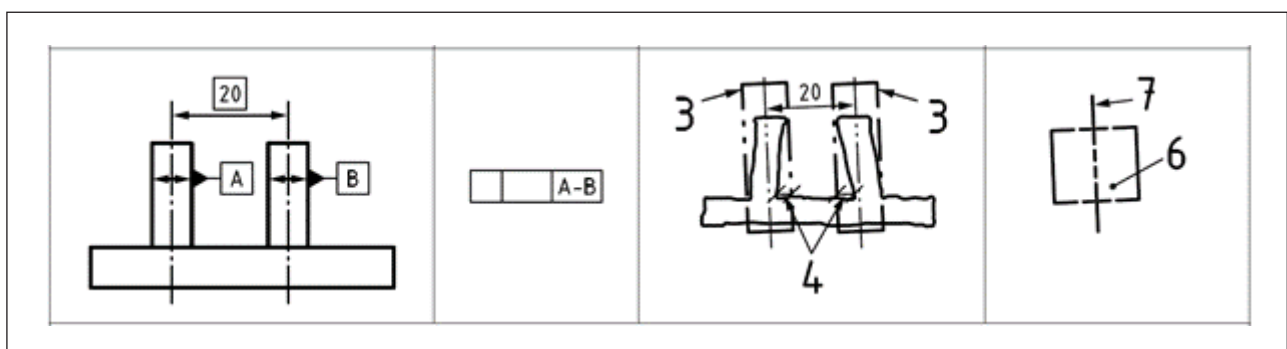


Koordinaattimittauskoneiden ohjelmistoissa on eroavaisuuksia siinä, miten PMI-tietoa pystytään hyödyntämään mittausstrategioiden tekemiseen. Kaikki ohjelmistot eivät kykene noudattamaan täysin peruselementtistandardia ISO 5459. Kohdassa 10.1.1 esitetään muutamia esimerkkejä huomioon otettavista seikoista uutta koordinaattimittauskonetta hankittaessa.

10.1.1 Peruselementtien luominen PMI-tiedon perusteella

Kahdesta tai useammasta lieriöstä muodostettu yhteinen peruselementti merkitään ja tulkitaan kuvan 44 mukaisesti.

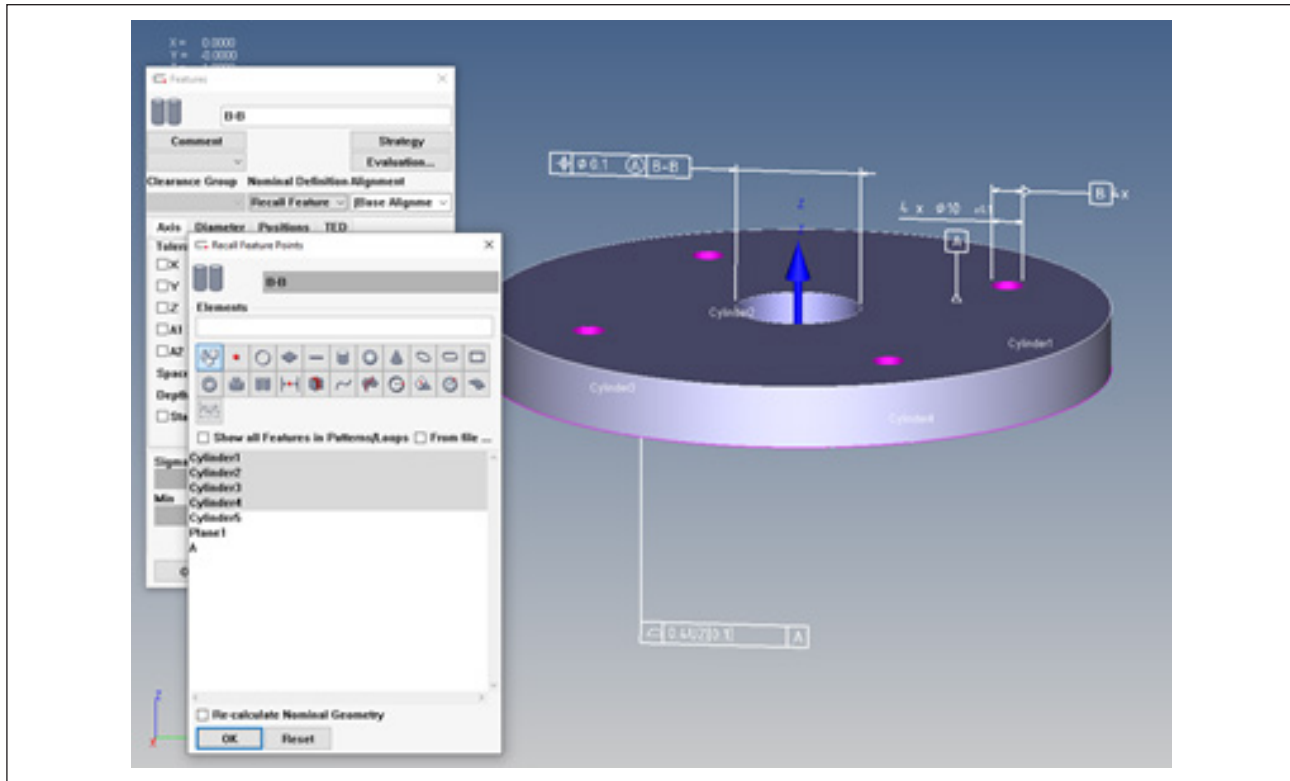
Kuva 44. Kahdesta tai useammasta lieriöstä muodostettu yhteinen peruselementti standardin ISO 5459 mukaan.



Kuvassa 45 on neljästä lieriöstä muodostettava yhteinen peruselementti B-B. Peruselementtiä B-B käytetään avaruussuuntaukseen. Parallel cylinder -työkaluun uu-

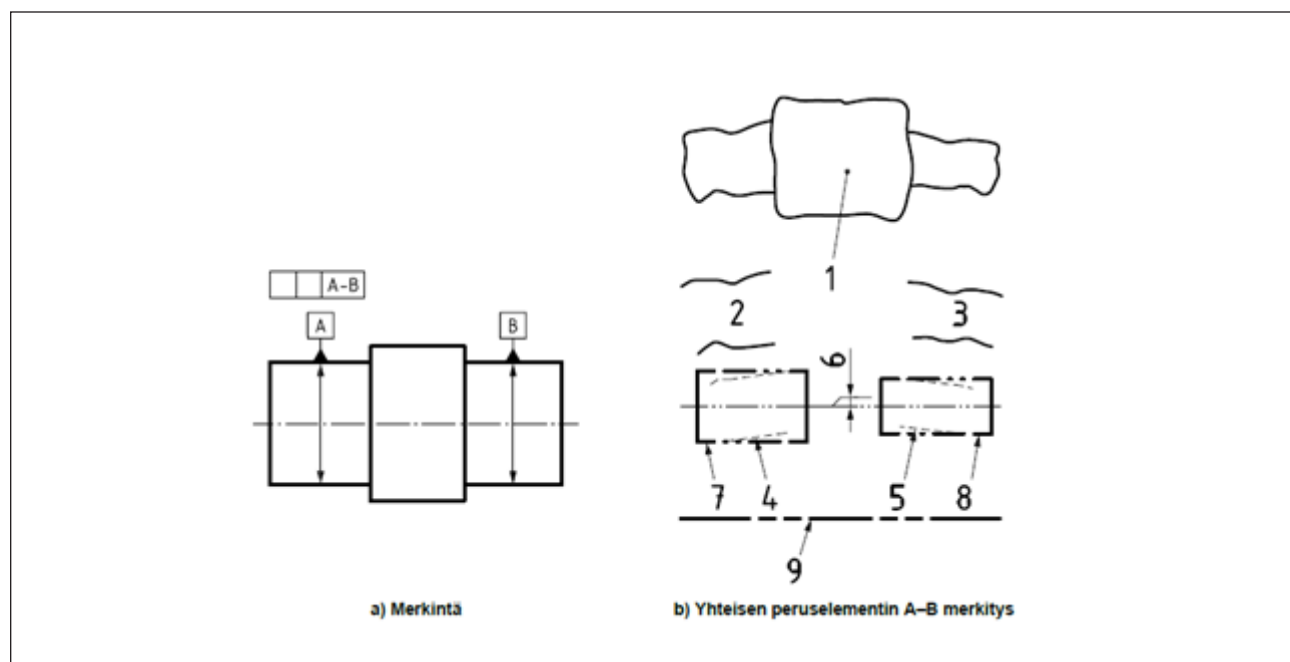
delleen kutsutaan neljä lieriötä ja näistä neljästä lieriöstä muodostuu yhteinen peruselementti B-B.

KUVA 45. Yhteinen peruselementti B-B.



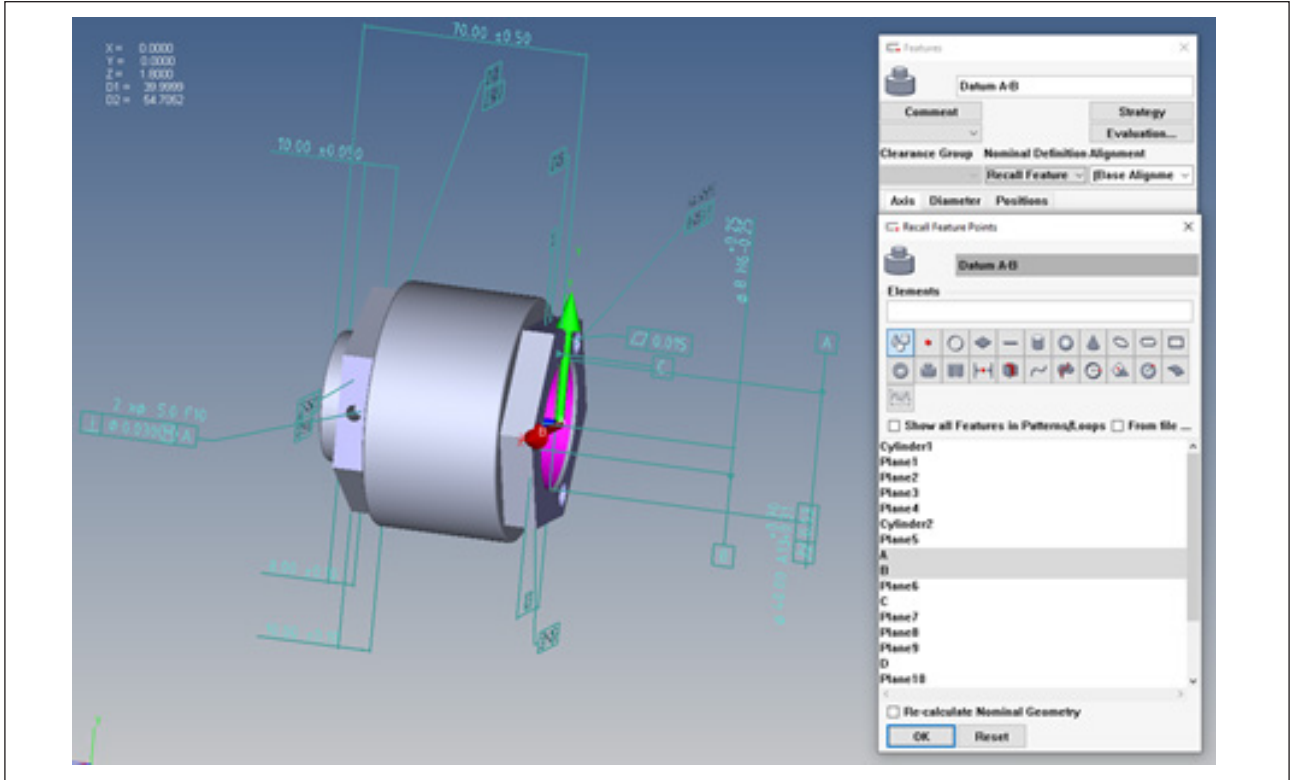
Kahdesta lieriöstä voidaan muodostaa yhteinen peruselementti kuvan 46 mukaisesti.

KUVA 46. Yhteinen peruselementti standardin ISO 5459 mukaan.

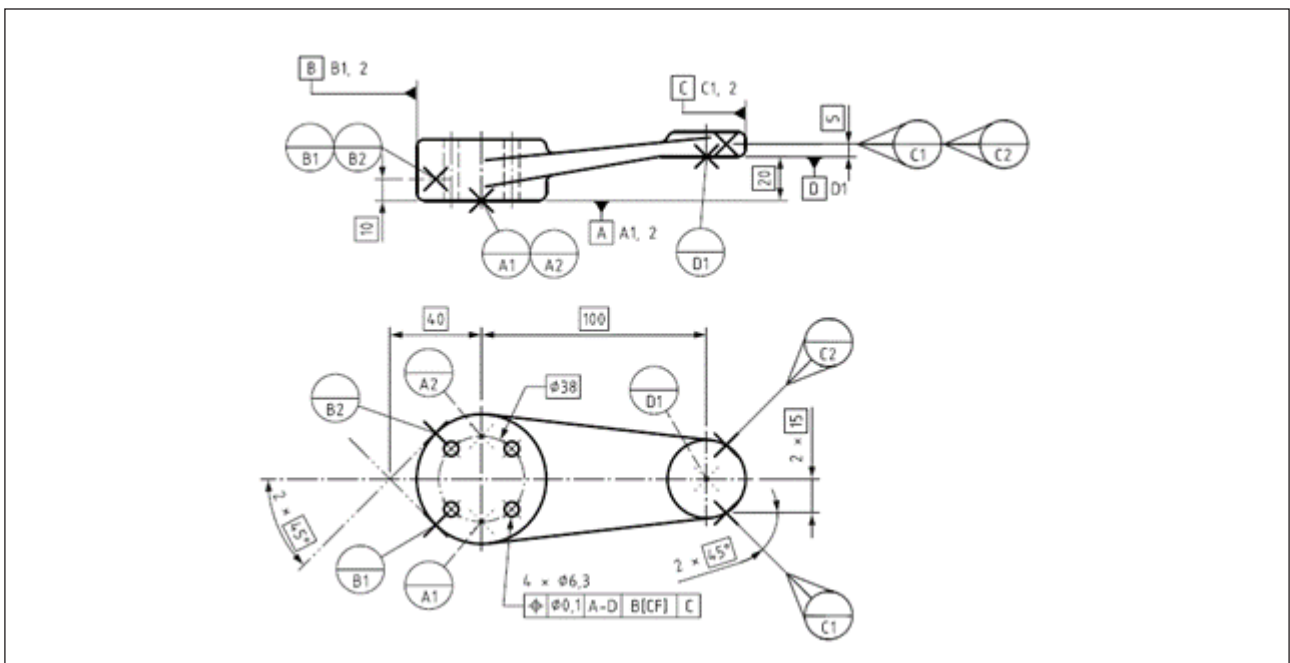


KUVA 47. Yhteinen peruselementti A-B.

OPASTUSTA MALLIPOHJAISEN TUOTEMÄÄRITTELYN (MBD) KÄYTTÖÖNOTTOON 39

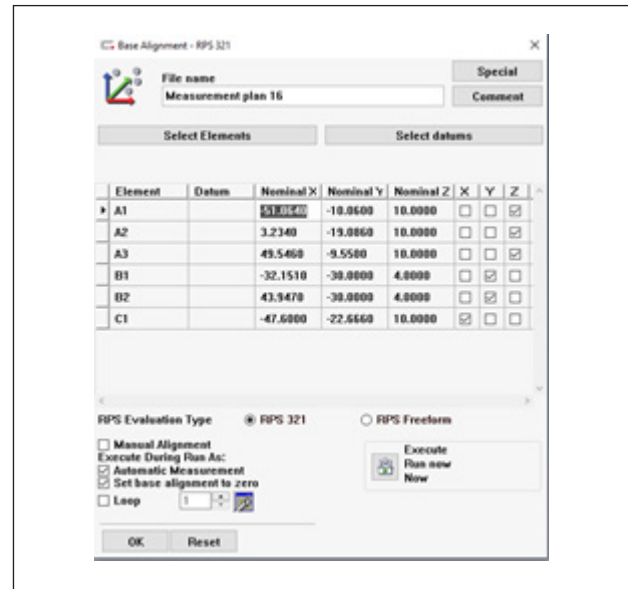


KUVA 48. Rajoitettu peruselementti standardin ISO 5459 mukaan.

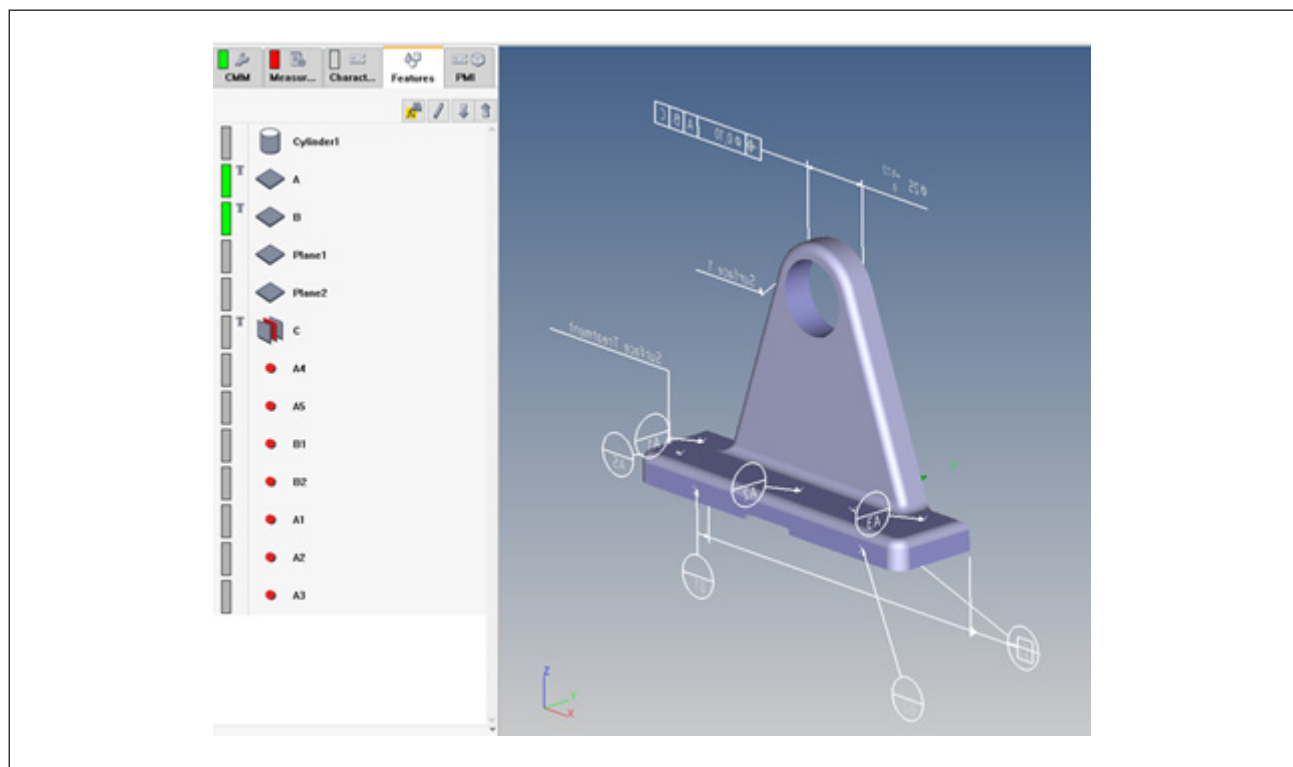


Kuvassa 49 on esimerkki koordinaattimittauskoneen ohjelmistossa muodostettavasta rajoitetusta peruselementistä kuudella pisteellä (ns. 3-2-1-referenssipistemenetelmä). Näillä kuudella pisteellä voidaan rakentaa koko kappaleen suuntaus. Jokainen piste rajoittaa kappaleen asentoa X-, Y- tai Z-suuntaan. Kuvassa 49 on esitetty 3-2-1 -suuntaus. Ohjelmisto nimeää rajoitetun peruselementin pisteen PMI-tiedossa annetun nimen mukaan, ks. kuva 50.

KUVA 49. Rajoitetut peruselementit ja 3-2-1 -suuntaus.



KUVA 50. Rajoitetun peruselementin pisteiden nimeäminen.



11 Tiedonhallinta

11.1 Esitystavat

Tuotetiedon ja tuotteen elinkaaren hallinnassa (PDM/PLM) tuote- ja suunnittelutietoa tallennetaan monissa eri muodoissa. Hallinnan keskeisiä käsitteitä ovat tunnisteet, nimikkeet, datasetit ja rakenteet. Näiden käsitteiden tarkoitus on tunnistaa, ryhmitellä ja luokitella tieto käytettävään muotoon.

Nimike on abstraktio tuotteesta, kuten kokoonpano tai valmistettava osa. Nimikkeellä on yksilöllinen tunniste, joka erottaa sen muista nimikkeistä. Tyypillistä nykyisin on, että tunniste ei ole yksilöivä tai kertova koodi vaan esimerkiksi juoksevasta numerosarjasta poimittu numero. Martion (2015, s. 95–96) mukaan nimikkeen hyvän hallintatavan mukaista on se, että:

- nimikkeellä on vain yksi pää tunniste (ID), esim. MX092811
- yritys määrittelee nimikkeelle monikieliset perustiedot, esim. "Koneruuvi, osakierre"
- nimikkeen attribuuteilla eroteltu jonkun tyypin ilmentymä, esim. lujusluokka, koko, standardi (8.8, M10 X 150, DIN 603)
- attribuuttien määrittelyyn käytetään mahdollisimman paljon valintalistoja
- käytön kannalta tarpeeksi tarkka määritelmä liitetiedostojen avulla
- valmistajat ja toimittajat on eroteltu toisistaan
- ylläpitoon on määritelty prosessi, ts. muutosten ja elinkaaren hallinta
- mahdollisuus nimikkeiden ryhmäpäivitykseen.

Tavanomaista on liittää nimikkeisiin liitetiedostoja, jotka tallennetaan esimerkiksi suunnittelujärjestelmien omissa natiivimuodoissa ja/tai sovitussa täydentävissä muodoissa. Jälkimmäisiä ovat sekä standardin mukaiset tiedostomuodot, esim. STEP- tai JT-muotoinen geometriatieto (ISO 10303, ISO/PAS 14306), tai tulostettuja piirustuksia vastaavat sähköiset dokumenttien tallennusmuodot, kuten Portable Document Format, PDF (ISO 32000) tai kuvaformaattit. Eräänlainen hybridimuoto yllä mainituista on 3D-PDF.

Sekä PLM- että ERP-järjestelmissä (Product Lifecycle Management & Enterprise Resource Planning) tuoterakenteet ovat korvanneet perinteiset piirustuksiin tallennetut osaluettelot. Tuoterakenteet esitetään PLM-järjestelmissä hiarkisina osaluetteloina (Bill of Materials, BOM). ERP-järjestelmä esittää kulloinkin voimassa olevan, tuotantoon julkaistun/vapautetun (released) version. Sen sijaan PLM-järjestelmään voidaan tallentaa nimikkeiden ja rakenteiden eri versioita; variantteja ja revisioita. PLM-järjestelmässä voi nimikkeestä olla kym-

meniä revisioita tai samanaikaisesti eri tuotekonfiguraatioon käytettävissä olevia nimikevariantteja. Tämän takia puhutaankin tuotteen elinkaaren hallinnasta aina nimikkeen luonnosteluvaiheesta sen tuotantoon uustuote-käytössä tai myöhemmin varaosakäytössä ja viimevaiheessa käytöstä poistettuna, passiivisena nimikkeenä, jolla voi olla lähinnä IPR-arvo.

11.2 Tuotannonohjaus

Tyypillisesti tuotesuunnittelussa ei pohdita syvällisesti sitä, mikä tuotteen kokoonpanojärjestys ja tuotantoympäristö on, kun tuote vapautetaan tuotantoon. Tuotantojärjestelmän ja tuotteen sovittaminen tehdään tuotannon ylösajon (ramp-up) aikana. Lisäksi tuotteissa on komponentteja, jotka eivät luontaisesti kuulu tiettyyn kokoonpanoon, kuten esimerkiksi putkistoja, letkuja ja johtimia, sekä geometriattomia aineita, kuten voiteluaineet ja pinnoitusmateriaalit, jotka täytyy merkitä osaksi tuotteeseen ja lisätä jossain kokoonpanon vaiheessa. Viime vuosina myös automaatio- ja ohjelmistokomponentit, jotka ladataan esimerkiksi juuri ennen koekäyttöä tai sen yhteydessä, on toisinaan otettu mukaan tuoterakenteisiin.

Edellä mainituista syistä tuoterakenteista tehdään useita rakennemalleja mm. myyntiä tai tuotannonsuunnittelua varten. Tässä yhteydessä puhutaan myynti-, suunnittelu- ja tuotantorakenteista (Sales eli sBOM, Engineering eli eBOM tai Manufacturing eli mBOM). Käytännössä kyse on tarkastelutarpeen tarkkuudesta ja/tai tuotteen nimikkeiden ryhmittelystä työvaiheiden mukaisesti. Tuotannon suunnittelussa käytetään termiä reititys (routing) työvaiheiden järjestyksen määrittelemisessä. Vaihtoehtoisesti tämä voidaan tehdä joko PLM-, ERP- tai APS-järjestelmässä (APS = Advanced Planning and Scheduling), joka on korvaamassa taulukkolaskentatyökalut tuotannon suunnittelussa. Varsinaisissa valmistusoperaatioissa käytettäviä tietoja, kuten työkalutietoa ja radanohjausta on tehtävä siten, että tiedetään sekä tuote- että konetiedot riittävällä tarkkuudella.

Tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa tarvitaan syvällistä tuoteymmärrystä riippumatta siitä, kuinka kehittynyt tai digitaalinen prosessi on kyseessä – eli onko käytössä sofistikoitunut, nykyaikainen PLM- tai APS-järjestelmä. Kehittyneimmissä APS-järjestelmissä on mahdollista simuloida ja visualisoida tuotantoprosesseja ja edetä suunnittelussa kokeilemalla vaihtoehtoisia ratkaisuja. Tuotteen sisältö- ja rakennetieto (MBD ja mBOM) sekä tuotantojärjestelmän kyvykkyys, kapasiteetti ja kuormitustieto on kyettävä yhdistämään siten, että tuotannon resursseja käytetään mahdollisimman hyvin ja että ne

riittävät. Pitkällä aikavälillä toki kaikkia näitä ominaisuuksia voidaan kehittää tarpeiden mukaan samalla tavalla kuin tuotteita, mutta arkipäiväisessä tuotannon ohjauksessa kyse on tuotantosuunnitelman ylläpidosta eli pitkälti tuotteen allokoinnista vapaana oleville resursseille. Nykyisin yhä useammassa kappale-tavarateollisuuden valmistavassa yrityksessä tähän käytetään MOM/MES-järjestelmiä (Manufacturing Operations Management, Manufacturing Execution System). MES-järjestelmillä on myös mahdollista kerätä todellista tuotannon tapahtuma- ja prosessitietoa, jota voidaan syöttää APS-järjestelmiin simulointia ja päivitysten tekemistä varten. Tiedoilla on myös tärkeä merkitys tuotantolaitoksen tunnuslukujen kokoamisessa siten, että koko yrityksen tilaa voidaan arvioida.

11.3 Tuotannonohjaus digitaalisesti

Käytännössä mallipohjainen toiminta vaatii tuotannon-suunnittelun ja -ohjauksen digitalisointia edellä kuvatulla tavalla. Vaikka toteutusvaihtoehtoja on olemassa, nykyisin MES-järjestelmässä työmääräimet ohjataan työpisteellä olevalle tietokoneelle, josta avataan työtä varten saatavilla oleva 3D-mallipohjainen työohje ja sitä vastaava G-koodi. Työstöratujen ohjelmointi voidaan tehdä keskitetysti tai lähellä varsinaista tuotantoa. Luontevampaa lienee ensin mainittu, jolloin tuotannon-suunnittelua varten on koottu riittävä menetelmä- ja ohjausosaaminen yhteen paikkaan tai organisaatioon. CAM-ohjelmoinnin ja MBD:n yhteydestä kerrotaan kohdassa 8.1.

Keskittäminen tukee myös tuotannon kehittämisen ja muutosten hallintaa. Muutostilanteessa työmääräimet päivitetään keskitetysti ja tuotantopisteellä ladataan käyttöön uudet päivitettyt toimintaohjeet, 3D-mallit sekä kiinnitys- ja työstöratatiedot.

11.4 Tuotannonohjaus paperipohjaisesti

Mikäli työmääräimet toimitetaan paperipohjaisesti tuotantoon, on varmistettava, että mallipohjaisesti toimiva valmistus saa käyttöönsä oikeat tuotannon-suunnittelun tuottamat työohjeet. Tämä voidaan toteuttaa PDM:n työkalulla, jossa nimikenumeroilla haetaan dokumentit työpisteelle tai verkkolevy-pohjaisesti, jossa on kerätty/kopioitu työhön liittyvät dokumentit.

Muutoshallinta tarkoittaa tässä tapauksessa, että tuotannosta on kerättävä vanhentuneet dokumentit pois ja uudet päivitetty on toimitettava tilalle. Haastavaksi hallinta tulee, jos työmääräin on iso ja työ on jo aloitettu tai osittain valmis.

11.5 MBD-siirtoformaattit

Lähes kaikki CAD-ohjelmat lukevat toistensa tiedostoja ristiin, joskin yleensä välitetään vain geometria ja mahdollisesti metadata. Annotaatioiden ja mallinnuspiirteiden tuki on yleensä puutteellista.

CAM-ohjelmat lukevat CAD-ohjelmien natiivitiedostoja ja neutraalitiedostoja (Taulukko 9).

TAULUKKO 9. Joitakin natiivitiedostoformaatteja ja neutraaleja tiedostoformaatteja

Tiedostoformaatti	Pääte	Tiedostomuoto
CAD-formaatti (natiivi)	SLDPRT, PRT, CATpart, jne.	Masterdata
STEP AP242 (neutraali)	STP	Siirtoformaatti, toleranssimalli
3D PDF (neutraali)	PDF	Tesseloitu geometria

Näiden lisäksi on vakiintuneita kaupallisten toimijoiden tiedostoformaatteja (Taulukko 10).

TAULUKKO 10. Kaupallisten toimijoiden tiedostoformaatteja

Tiedostoformaatti	Pääte	Tiedostomuoto
JT	JT	Tesseloitu siirtoformaatti, toleranssimalli, Siemens
Composer	smg	Tesseloitu, Dassault
Creo View	PVZ	Tesseloitu, PTC

11.6 Technical data package

Kun kohdassa 9.5 mainittujen siirtoformaattien lisäksi on siirrettävä muutakin tietoa, joudutaan tilanteeseen, jossa yksittäisten tiedostojen sisältö ei välttämättä riitä koko

tuotekuvausten siirtämiseen. Tämän tiedon kokoamiseen ja välittämiseen, niin yrityksen sisäisessä kuin ulkoisessa viestinnässä voidaan käyttää ns. julkaisupakettia (Technical data package).

Julkaisupaketin voi koota niin manuaalisesti kuin osana PLM-järjestelmän hyväksymistökiertoa. Keskeisenä ajatuksena on koota tarvittava tuotetieto, jotta esimerkiksi huoltoliiketoiminta tai valmistusalihankinta saa tarvitsemansa informaation toimintansa suunnittelemiseksi ja tuotteiden valmistamiseksi.

Tyypillisesti julkaisupaketti sisältää joko natiivimuotoiset CAD-mallit tai STEP AP242 -käännökset PMI-annotaatioineen. Osaluettelot, kaaviot (piirikaaviot, johdotuska-

vioit, prosessi- ja instrumentointikaaviot), pakkaus- ja laatuohjeet sekä komponenttien spesifikaatiot ovat myös keskeistä sisältöä.

11.7 MBD-mallien katselutavat

11.7.1 Katseluformaattit

MBD-malleja voidaan katsella erilaisilla ohjelmistoilla. Taulukossa 11 luetellaan yleisimpiä katseluformaatteja.

TAULUKKO 11. MBD-mallien katseluformaatteja

Tiedostoformaatti	Pääte	Tiedostomuoto
natiivi CAD	SLDPRT, ...	masterdata
STEP AP242	STP	Siirtoformaatti, toleranssimalli
3D PDF	PDF	Katselumalli
JT	JT	Katselumalli, siirtoformaatti, toleranssimalli
eDrawings	easm	Katselumalli
Composer	smg	Interaktiivinen kokoonpano-ohje
video	avi	Kokoonpano-ohje
3D Html	html	Mallin katseluun
3D XML	3dxml	Mallin katseluun
Creo View	PVZ	Katselumalli, annotaatiot ja animaatiot

11.7.2 Katselu päätelaitteelta

Useita erilaisia päätelaitteita voidaan käyttää mallipohjaisen tiedon katseluun.

11.7.2.1 Kännykkä

Kännykän näytön koko on monesti rajoittava tekijä niiden käyttämisessä valmistuksessa. Joissakin toiminnoissa se kuitenkin voi olla riittävä. Esimerkkinä jonkin osan nimikekoodin selvittäminen valmistettavan tuotteen tai huollettavan tuotteen kohdalla.

11.7.2.2 Tabletti

Tablettitietokonetta on usein ensimmäisenä kokeiltu tuotannon päätelaitteena sen helpon liikuteltavuuden vuoksi. Haasteena ovat kestävyys ja käytettävyys. Varsinkin jos tuotannossa käsitellään öljyisiä tai muuten liikaavia komponentteja, voi kosketusnäyttö olla nopeasti käyttökelvoton.

11.7.2.3 Kannettava tietokone

Kannettava tietokone tuotannossa on monesti kustannustehokas, mutta pienen näytön käytettävyys ei ole kovin hyvä. Asennustyökohteet (maastossa, ulkomailla) ovat kannettavan tietokoneen ominta käyttöaluetta. Varsinkin, jos ohjelman käyttäminen hiirellä on tarpeellista.

11.7.2.4 Näyttö tai televisio

E erityisesti tehtaalla tapahtuvaan asennustyöhön on mahdollista hyödyntää suurien näyttöjen tarjoamaan näkymää. Työpisteelle asennettu riittävän suuri näyttö tarjoaa näkymän valmistettavaan kokonaisuuteen useammankin metrin etäisyydeltä. Tietokoneeseen liitetty langaton näppäimistö ja hiiri mahdollistavat koneen ohjaamisen työpisteen toiselta puolelta.

11.7.3 Laajennettu todellisuus (Extended reality)

Erilaisia laajennetun todellisuuden tekniikoita (esim. lisätty todellisuus, virtuaalitodellisuus) voidaan käyttää suunnitelman tarkistamiseen, kokoonpanoprosessin tai huolto-toiminnan opetteluun tai sen avulla voi opettaa käyttäjän tuotteen käyttöön ilman, että tuote on vielä valmistettu.

Suunnittelun tarkastamiseen vaatimus virtuaalitodellisuudelle on pienempi. Siihen riittää suunnittelumalli, joka on käännetty suoraan 3D-CAD mallista.

Kokoonpanoprosessin ja huoltotoiminnan opettamiseen tuotemalli täytyy valmistella; operaatio täytyy määrittää ja koodata virtuaalitodellisuusmalliin.

Koulutus- ja käyttöopastusmallin tuottaminen on haastavinta ja edellyttää todennäköisesti ohjelmointia tarvittavien toimintojen tuottamiseksi.

12 MBD-mallipohja

12.1 Rakenne

MBD-mallirakenne voidaan määritellä vakionuotoiseksi, jolloin monet yksityiskohdat ovat valmiina, eikä suunnittelijan tarvitse luoda niitä erikseen jokaista työtä varten. Tämä onnistuu kätevimmin uusien tuotteiden kohdalla aloittamalla suunnittelu MBD:tä varten luotujen mallipohjien avulla. MBD-mallipohjaan voidaan määritellä valmiiksi esimerkiksi seuraavia asioita:

- origo ja sen nimeämistavat (mallinnusasento yrityksen suunnitteluohjeen mukaan)
- mittayksiköt ja desimaalien esitystapa
- mittojen, tekstien ja tunnusten esittämistapa (tyyli, koko, jne.)
- yleinen annotaatiotasot ja siihen kuuluvat tietokentät
- pääannotaatiotasot ja niiden nimeäminen
- katseluformaattien asetukset (esim. 3D PDF-layout).

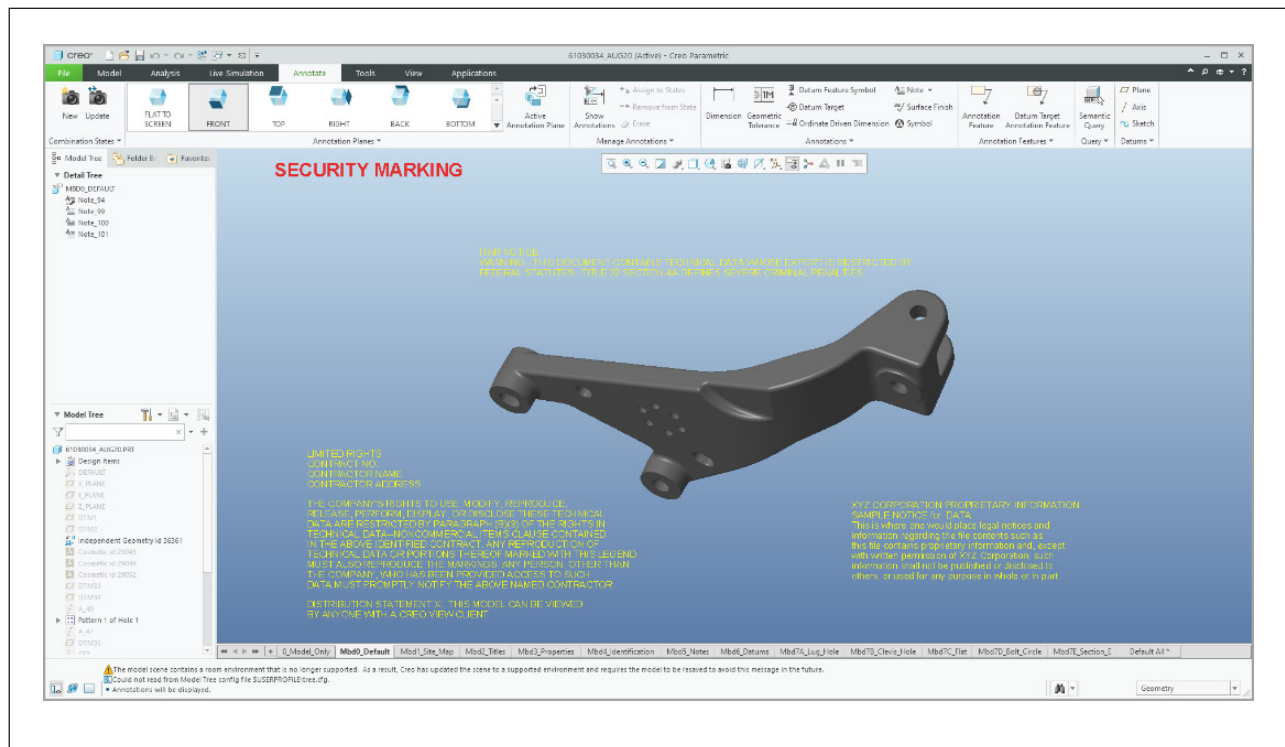
Keskeistä on tunnistaa yrityksen tarpeet ja standardisoida mallipohja, jolloin informaation hakemiseen kuluva aika voidaan minimoida.

12.2 Yleinen annotaatiotasot (otsikkotaulu)

MBD-mallissa voi olla yleinen annotaatiotasot (ks. myös 6.9), jossa on piirustuksen otsikkotaulun kaltainen tietokenttä. Yleiseen annotaatiotasoon voidaan sijoittaa MBD-mallia koskevat hallinnolliset tiedot (ks. kohta 5). Yleiselle annotaatiotasolle sijoitetaan tieto, joka perinteisesti on sijoitettu piirustuksen otsikkotauluun tai sen välittömään läheisyyteen.

Yleinen annotaatiotasot on yleensä lukittu katselusuuntaan ja sitä ei voi käännellä, ks. kuva 51. Yleisen annotaatiotasot tiedot voi piilottaa tarvittaessa. Katseluformaateissa (ks. 11.7.1) yleisellä annotaatiotasolla olevat tiedot näkyvät omana otsikkotauluna.

KUVA 51. Esimerkki yleisestä annotaatiotasosta. Mallissa on myös muita annotaatiotasotia, joiden sisältöön pääsee käsiksi ruudun alareunan välilehdiltä.



12.2.1 Materiaalitiedot

Materiaalitieto voidaan esittää yleisellä annotaatiotasolla omana attribuuttina.

12.2.2 Sovellettavat standardit

Tuotteelle sovellettavat standardit on suositeltavaa esittää mallissa. Usein kyseeseen tulevia standardeja ovat (rajoittumatta lueteltuihin):

- Tolerointijärjestelmä: ISO 8015:2011 Geometrical product specifications (GPS). Fundamentals. Concepts, principles and rules
- Yleistoleranssi: ISO 22081:2021 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. General geometrical specifications and general size specifications
- Terminen leikkaus: ISO 9013:2017 Thermal cutting – Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances
- Pinnankarheus: ISO 1302:2002 Geometrical Product Specifications (GPS). Indication of surface texture in technical product documentation
- Terävien särmien käsittely: ISO 13715:2017 Technical product documentation — Edges of undefined shape — Indication and dimensioning
- Pyällykset: ISO 13444:2012 Technical product documentation (TPD) — Dimensioning and indication of knurling
- Lämpökäsittely: ISO 15787:2016 Technical product documentation — Heat-treated ferrous parts — Presentation and indications

12.2.3 Toleranssijärjestelmä

Mallissa sovellettava toleranssijärjestelmä (esim. ISO GPS, ASME Y14.5) on hyvä esittää selkeästi.

12.2.4 Muut merkinnät

Viittaukset ja linkit yrityksen omiin ohjeisiin (mm. prosessit, laatu, tarkastus) voidaan esittää yleisellä annotaatiotasolla.

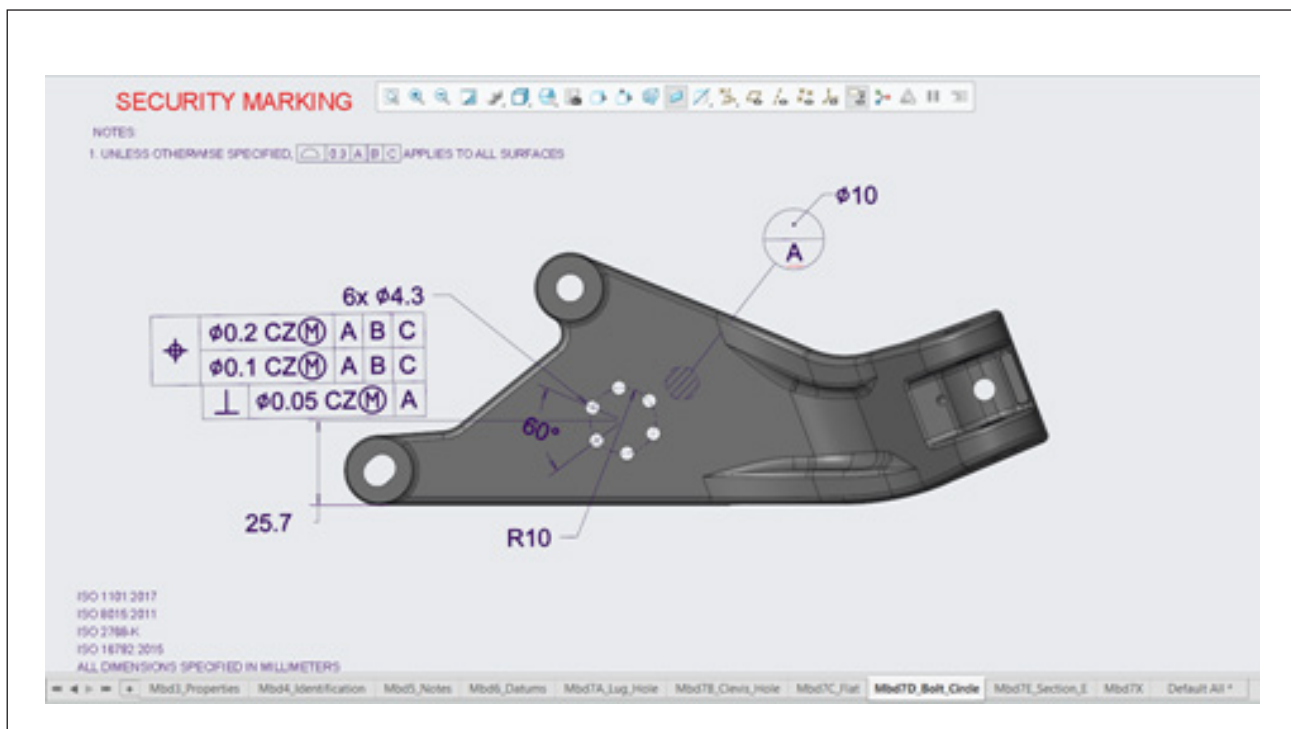
Tekstit tekijänoikeuksien suojaamiseksi sekä tiedot MBD-mallin muista viittaussuhteista (liittyvät mallit, piirustukset tms.) sekä käytettävien piirustuskäytäntöjen standardit.

Voi myös olla tarkoituksenmukaista sisällyttää nämä merkinnät omaan näkymäänsä, jotta yleinen annotaatiotasoa kestää luettavana.

12.3 Näkymät

MBD-mallissa on tyypillisesti useita annotaatiotasoja, joissa tuotekuvaus esitetään. Mallissa on myös useita mitoitettavia geometrioita, joten on tarkoituksenmukaista jo MBD-dokumentin luettavuuden kannalta ryhmitellä näytettäviä mittoja ja katselusuuntia näkymiksi. Näkymissä näytettäviä merkintöjä voidaan suodattaa sopivasti ja näkymä voidaan tallentaa. Ks. kuva 52.

Kuva 52. Esimerkki näkymästä, jossa esitetään vain tarpeellinen määrä informaatiota.

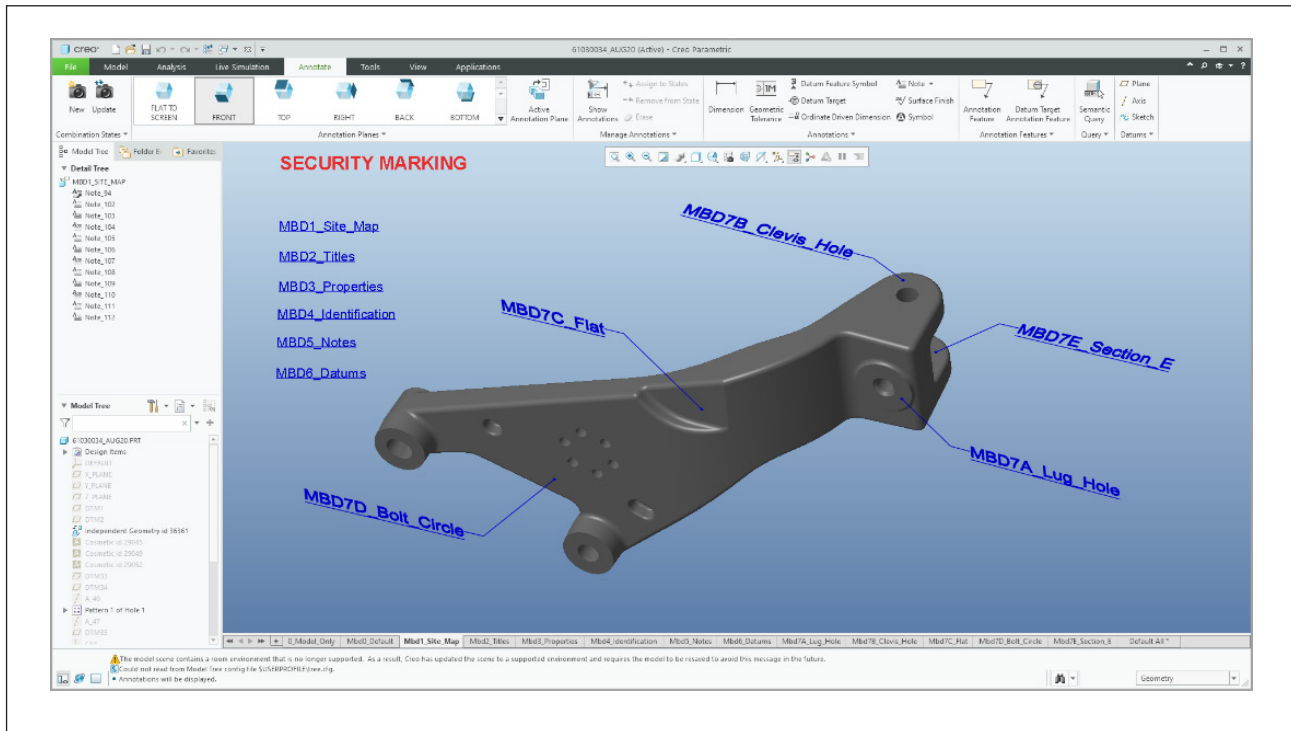


12.4 MBD-mallin sisällysluettelo

MBD-mallin sisällöstä on hyvä luoda sisällysluettelon kaltainen listaus, josta selviää mitä kussakin näkymässä

esitetään. Sama sisällysluettelo voi mahdollistaa siirtymän suoraan ko. näkymään. Ks. kuva 53.

KUVA 53. Esimerkki sisällysluettelonäkymästä, jossa esitetään eri näkymien sisältämät informaatiot, sekä mahdollistetaan niihin siirtyminen.



13 Lähteet

13.1 Kirjallisuusviitteitä

[1] Vakourtsis, Mavridis-Tourgelis, Kaisarlis, Provatidis, Spitas. Effect of datum system and datum hierarchy on the design of functional components produced by additive manufacturing: a systematic review and analysis. 2020. Springer.
<https://doi.org/10.1007/s00170-020-06152-6>

[2] Herron, J. B. Re-use your CAD: The Model-Based CAD handbook, 2nd edition. 2021. Independently published.

[3] Martio, Asko. Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta, ISBN: 9789529365289, Julkaistu: 2015, Kustantaja: Amartekno, Sivumäärä: 304.

[4] Rapinoja & al. Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. METSTA. 2016.

13.2 Internet

[1] https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/CAD/Model-Based_Definition-eBook.pdf

[2] https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2016/07/mbd-implementation-10-dos-10-donts-dont-exclude-printouts.html#_ga=2.111330055.2003747172.1612378028-1d42d510-9193-11e9-a51c-e130dd7fa743

[3] <https://www.anark.com/products/web/>

[4] <https://newsroom.accenture.com/news/accenture-federal-services-named-prime-systems-integrator-for-us-navys-logistics-and-it-transformation-model-based-product-support-program.htm>

[5] <https://www.anark.com/2018/08/03/thingworx-navigation-technical-data-package-applications-release/>

[6] <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOV-PUB-C13-166ab3c2a13d97956bea232db35df8a5/pdf/GOV-PUB-C13-166ab3c2a13d97956bea232db35df8a5.pdf>

13.3 Standardeja

SFS-EN ISO 1101:2017 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Tolerances of form, orientation, location and run-out

SFS-EN ISO 129-1:2019 Technical product documentation (TPD). Presentation of dimensions and tolerances. Part 1: General principles

SFS-EN ISO 1302:2001 Geometrical Product Specifications (GPS). Indication of surface texture in technical product documentation

SFS-EN ISO 13715:2017 Technical product documentation. Edges of undefined shape. Indication and dimensioning

SFS-EN ISO 14405-1:2016 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional tolerancing. Part 1: Linear sizes

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

SFS-EN ISO 15787:2016 Technical product documentation — Heat-treated ferrous parts — Presentation and indications

SFS-EN ISO 1660:2017 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Profile tolerancing

SFS-EN ISO 22081:2021 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. General geometrical specifications and general size specifications

SFS-EN ISO 2553:2019 Welding and allied processes. Symbolic representation on drawings. Welded joints

SFS-EN ISO 5458:2018 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Pattern and combined geometrical specification

SFS-EN ISO 5459:2011 Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems

SFS-EN ISO 80000-1 Quantities and units. Part 1: General

SFS-EN ISO 8015 Geometrical product specifications (GPS). Fundamentals. Concepts, principles and rules

SFS-EN ISO 8062 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Useita osia.

SFS-EN ISO 9013:2017 Thermal cutting. Classification of thermal cuts. Geometrical product specification and quality tolerances

SFS-ISO 13444:2012 Technical product documentation (TPD) — Dimensioning and indication of knurling

SFS-ISO 16792:2021 Technical product documentation — Digital product definition data practices

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

ISO 2768-1 General tolerances — Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications

ISO 9327 Steel forgings and rolled or forged bars for pressure purposes — Technical delivery conditions. Useita osia.

DIN 2769:2020 Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Allgemeintoleranzen - Toleranzen für Längen- und Winkelmaße mit unspezifizierter Toleranzeintragung

TEKNINEN TUOTEDOKUMENTOINTI JA TOLERANSSIT

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



HALUAT ESITTÄÄ KYSYMYKSIÄ

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



HALUAT VAIKUTTA

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

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

MITÄ ON STANDARDISOINTI?

Standardisointi on vaikuttamista:

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

"Professionals have standards" - METSTA

SFS

Kasvua ja kilpailukykyä standardeilla

Suomen Standardisointiliitto

Monta tapaa tilata

Asiakaspalvelu auttaa

SFS:n asiakaspalvelusta voit tilata kaikki tarvitsemasi julkaisut. Ota yhteyttä sales@sfs.fi tai p. 09 1499 3353.

SFS-kauppa

Verkkokaupassa voit ladata useimmat standardit omalle koneellesi saman tien ja tilata julkaisuja. Astu sisään osoitteessa sales.sfs.fi.

SFS Online

SFS Online -palvelussa oma standardikokoelmanne on aina ajan tasalla internetissä. Kiinnostuitko? Kysy lisää: online@sfs.fi.

Suomen Standardisointiliitto SFS ry @standardeista



METSTA

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

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

Suomen Standardisointiliitto SFS 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 standardisoinnin keskusjärjestö Suomessa.