

Lauri Rahikainen

MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRIT- TELY SIEMENS NX -OHJELMASSA

Teknisten tieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Joulukuu 2019

TIIVISTELMÄ

Lauri Rahikainen: Malliperustainen tuotemäärittely Siemens NX -ohjelmassa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2019

Malliperustainen tuotemäärittely on tapa määrittää tuote- ja valmistustiedot suoraan kolmiulotteisen mallin yhteydessä. Tarkoitus on päästä eroon perinteisistä teknisistä piirustuksista ja niiden tuomasta ylimääräisestä työstä. Tapa myös yksinkertaistaa ja helpottaa mallin esitystä ja siten tuo etuja teknisiin piirustuksiin verrattuna.

Tässä työssä käydään läpi mitä malliperustainen tuotemäärittelyn tuotemalli mahdollistaa, sekä tutkitaan, miten malliperustainen tuotemäärittely toimii Siemens NX -ohjelmassa. Työkaluja ja komentoja sovelletaan esimerkkikappaleen merkintöjen luontiin ja lopuksi tutkitaan, miten tuotemallin tarkastelu onnistuu Siemens NX:n ulkopuolella.

Avainsanat: malliperustainen tuotemäärittely, tuote- ja valmistettavuustiedot, Siemens NX

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY	2
2.1 Malliperustainen yritystoiminta	3
2.2 Malliperustaisen tuotemäärittelyn standardit	5
3. SOVELLUKSEN KÄYTTÖ JA TYÖKALUT	7
3.1 Käytön aloitus	7
3.2 Merkinnät	10
3.3 Merkintöjen hallinta	15
3.4 Kuvannot	18
3.5 Convert to PMI -komento	19
4. TIEDON VIENTI JA KATSELU	23
5. YHTEENVETO	28
LÄHTEET	29

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ASME	yhdysvaltalainen standardointiyhdistys
CMM	Coordinate-measuring machine, koordinaattimittauskone
ISO	kansainvälinen standardointijärjestö
MBD	Model-Based Definition, malliperustainen tuotemäärittely
MBE	Model-Based Enterprise, malliperustainen yritys
METSTA	metalliteollisuuden standardointiyhdistys
PDF	Portable Document Format, tiedostomuoto
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta
PMI	Product and Manufacturing Information, tuote- ja valmistettavuustiedot

1. JOHDANTO

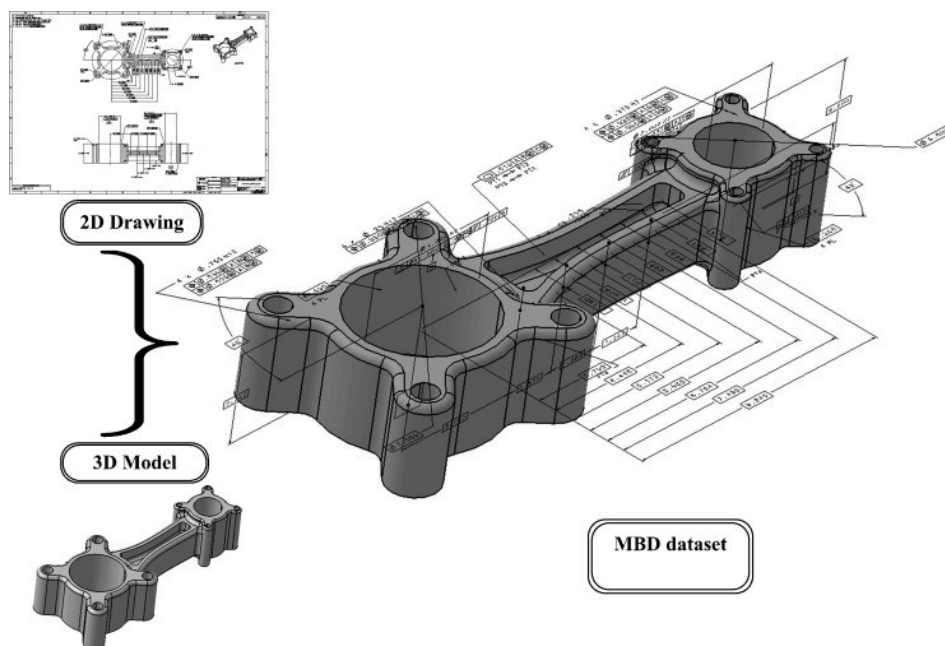
Tekniset piirustukset ovat pitkään olleet tapa, jolla suunnittelijan idea tuotteesta saadaan mahdollisimman tarkasti ja yksiselitteisesti vietyä suunnittelupöydältä tuotteen valmistukseen. Aiemmin tekniset piirustukset toteutettiin käsin paperille piirtämällä, mutta tietekniikan kehittyttyä on siirrytty sähköisiin versioihin, joita tarvittaessa tulostetaan paperiksi versioiksi. CAD-ohjelmistojen myötä suunnittelu on siirtynyt kolmiulotteiseksi tietokone mallinnukseksi, joten seuraava luonnollinen askel teknisille piirustuksille olisi siirtyä myös kolmiulotteiseen ympäristöön. Malliperustainen tuotemäärittely on tapa tuoda teknisten piirustusten sisältämä informaatio suoraan 3D-mallin yhteyteen.

Työssä selvitetään mitä malliperustainen tuotemäärittely on ja mitä se tuo mukanaan, sekä perehdytään sen toteutukseen Siemensin NX CAD-ohjelmassa. NX:n PMI työkalujen käyttöä sovelletaan esimerkkikappaleella ja lopuksi vielä tutkitaan malliperustaisen tuotemäärittelyn tuotemallin toimintaa erillisessä katseluohjelmassa.

Työn toisessa luvussa käydään läpi mitä malliperustainen tuotemäärittely tarkoittaa, mitä se mahdollistaa yritystasolla, sekä sille määriteltyjä standardeja. Kolmannessa luvussa esitellään Siemens NX:n erilaisia työkaluja ja komentoja tuotemallin luomiseksi. Luvussa neljä käsitellään tuotemallin tiedon vientiä ulos natiivialustaltaan ja sen tarkastelua erillisessä katseluohjelmassa. Viidenteen lukuun on koottu yhteenveto työstä ja sen havainnoista.

2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY

Model-based definition (MBD) eli malliperustainen tuotemäärittely tarkoittaa tuotetietojen määrittelyä täydellisinä suoraan 3D-malliin. Malliperustaisessa tuotemäärittelyssä perinteisiä teknisiä piirustuksia ei käytetä ollenkaan. MBD-tuotemalliin kuuluu 3D-malli, sitä määrittelevät 3D-merkinnät, kuten mitat, toleranssit ja muistiinpanot, sekä muu malliin liittyvä dokumentaatio. Samaan tiedostoon saadaan siis kaikki tuotteen valmistusta määrittelevä informaatio. (Rapinoja 2016, s. 6) Kuvassa 1 on esitetty teknisen piirustuksen ja 3D-mallin yhdistyminen MBD-tuotemalliksi.



Kuva 1. MBD-tuotemalli (Quintana et al. 2010, s. 499)

Malliperustainen tuotemäärittely ei ole vain työkalu, vaan se on tapa hallita tuotteen dataa. MBD-tuotemalli yhdistää kaiken tuotteeseen liittyvän tiedon yhdeksi tiedostoksi, sen sijaan, että tiedot olisivat eri muodoissa ympäri PDM-järjestelmää. (Alemanni et al. 2011, s. 3) Tämä ns. yksilähteistäminen poistaa mahdolliset eroavuudet 3D-mallin ja teknisten piirustusten väliltä, kun ei tarvitse huolehtia erikseen piirustusten päivittämisestä tai vanhojen versioiden poistamisesta. Tämä vähentää ihmisistä johtuvia virheitä ja parantaa siten toiminnan laatua. (Rapinoja 2016, s. 8)

Toinen ihmisistä johtuvia virheitä vähentävä tekijä on esitystavan tulkitsemisen helpottuminen. Teknisten piirustusten tarkoitus on olla yksiselitteisiä, mutta niiden paljouden tai monimutkaisuuden takia saattaa helposti tapahtua tulkintavirheitä. Esimerkiksi hankalaa voi olla hahmottaa, mihin elementtiin jokin mitta viittaa. Tuotemallin merkinnät näyttävät

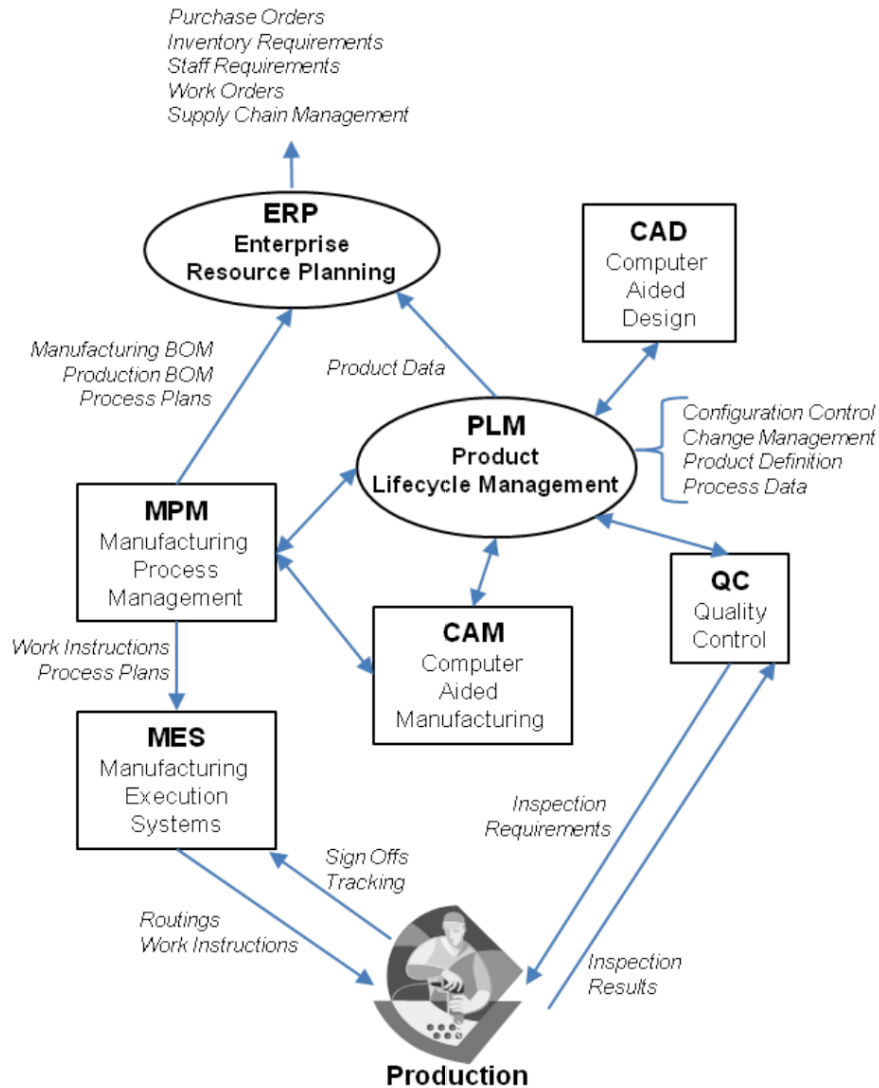
suoraan korostamalla, mihin elementtiin ne viittaavat, ja vähentävät siten tulkinnasta johtuvia virheitä. Piirustusten tulkinta on erityisen hankalaa, jos niiden tulkintaa ei ole harjoitellut. Tuotemallista saadaan helposti yksinkertaistetuilla merkinnöillä näkymiä esimerkiksi myynnin tai markkinoinnin käyttöön helposti tulkittavaksi ilman koko mallin tarkastelua CAD-ohjelmassa. Luvussa 4 käsitellään tarkemmin tiedon vientiä CAD-ohjelmasta ja sen tarkastelua ulkopuolisissa sovelluksissa.

Vaikka tuotemallin käytöllä saavutetaan useita hyötyjä, joista kerrotaan lisää seuraavassa luvussa yrityksen näkökulmasta, ei sen käyttöönotto ole aivan ongelmaton. Quintana et al. (2010) esittävät ongelmia, jotka liittyvät MBD-tuotemallin elinkaareen ja hallintaan, sekä ongelmiin saada samat merkinnät tuotemalliin kuin teknisissä piirustuksissa. Tuotemallin datan saatavuus, sisältö, esitystapa, hallinta, turvallisuus ja säilytys ovat myös herättäneet kysymyksiä. Nämä ovat kuitenkin jo melkein kymmenen vuotta vanhoja ongelmia, joista suuri osa on saatu ratkaistua standardeilla ja kehittyneillä tietojärjestelmillä.

Fischerin (2011) mukaan usein muutos itsessään aiheuttaa ongelmia, sillä ihmisillä on taipumus vastustaa muutosta, koska vanha ja tuttu on mukavampaa. Teknisistä piirustuksista siirryttäessä malliperustaiseen tuotemäärittelyyn muuttuu usean ihmisen työskentely, mikä vaatii koulutusta uusien työkalujen ja tapojen oppimiseksi. Muutokseen tulee valmistautua levittämällä positiivista asennetta uutta asiaa kohtaan

2.1 Malliperustainen yritystoiminta

Model-based enterprise (MBE) eli malliperustainen yritystoiminta tarkoittaa yritysmallia, jossa yritys hyödyntää malliperustaisen tuotemäärittelyn tuotemallia tuotteen elinkaaren ajan määrittämään ja hallitsemaan liiketoiminnan prosesseja. Ideana on luoda tieto kerran ja käyttää sitä kaikissa jatkotoimenpiteissä. (Frechette 2011, s. 2) Kuvassa 2 on esitetty, miten tieto malliperustaisessa yrityksessä kulkee ja mihin kaikkeen sitä hyödynnetään.



Kuva 2. Malliperustaisen yritystoiminnan tiedonkulku (Frechette 2011, s. 2)

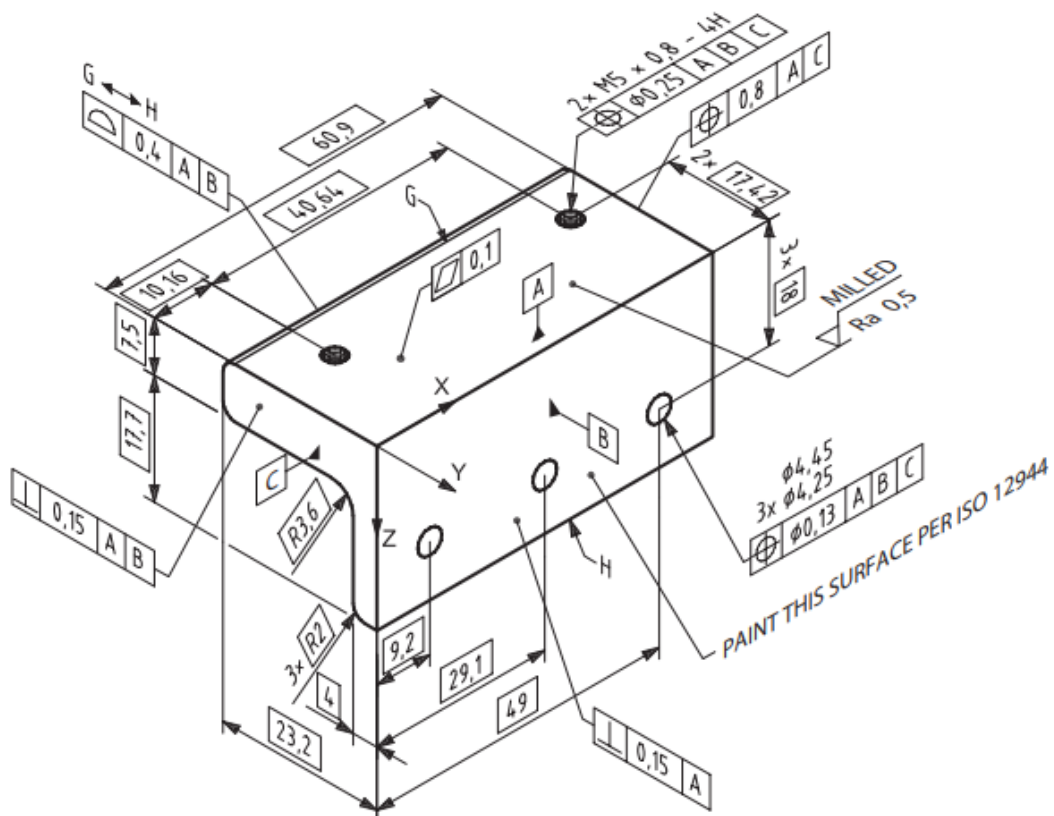
Kuvasta nähdään, että malliperustainen yritys voi hyödyntää MBD-tuotemallin tietoa useassa vaiheessa tuotteen elinkaaren aikana. Kun tieto on luotu kerran ja sitä voidaan hyödyntää helposti, vähenee turha tiedon uudelleentuottaminen, jolloin säästetään aikaa ja rahaa. Tuotesuunnittelija säästää aikaa tiedostojen ja versioidenhallinnassa, tuotanto voi hyödyntää tuotemallia automatisoimaan erilaisia valmistusprosesseja ja laadunvarmistus saa mitta- ja toleranssitiedot suoraan CMM-ohjelmaan (Rapinoja 2016, s. 8).

Prosessien tiedonhallinnalla ja teknisten piirustusten pois jättämisellä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä sekä ajassa että rahassa. Boeing käytti virtuaaliympäristöä suunnitellessaan uudelleen T-45–korkeusvakaajaa, jolloin suunnittelu, työkalut ja valmistusprosessit voitiin virtuaalisesti tarkistaa ennen valmistusta. Tämän ansiosta teknisten piirustusten tekeminen voitiin jättää kokonaan pois. Projektissa saavutettiin tuotekehityksessä 62 %:n ajallinen säästö sekä 42 %:n säästö kustannuksissa. Myös valmistukseen vaadittavat työtunnit vähenivät 45 %. (Price 1998, s. 3041)

2.2 Malliperustaisen tuotemäärittelyn standardit

Ensimmäinen malliperustaisen tuotemäärittelyn standardi luotiin vuonna 2003 Yhdysvaltojen auto- ja ilmailuteollisuuden tarpeesta käyttää tuotemallin dataa valmistuksessa (Quintana et al. 2010, s. 498). American Society of Mechanical Engineersin (ASME) julkaisema standardi (ASME Y14.41 2003) loi pohjan yhtenäisille malliperustaisen tuotemäärittelyn käytännöille. Myöhemmin kansainvälinen standardointijärjestö ISO loi oman ISO 16792 -standardin malliperustaiselle tuotemäärittelylle. Rapinon (2016 s. 18) mukaan kyseisillä ISO- ja ASME-standardeilla on osittain merkittäviä eroavuuksia, eikä ASME-standardin käyttöä suositella Suomessa. Suomessa malliperustaisen tuotemäärittelyn perusstandardi on SFS-ISO 16792 (2016), joka on saatavilla suomennettuna.

Standardi asettaa vaatimuksia malliperustaiselle tuotemäärittelylle. Uuden standardin vaatimukset usein perustuvat aiempien standardien asettamiin vaatimuksiin, ja siksi SFS-ISO 16792 (2016) viittaakin useisiin muihin standardeihin, joita ovat esimerkiksi mitatoleranssien standardi ISO 14405-1:2016 ja geometrinen toleranssien standardi ISO 1011:2012. Kuvassa 3 on standardista löytyvä mallikuva täysin määritellystä kappaleesta, jollainen työssä pyritään myös luomaan.



Kuva 3 Täysin määritelty malli, jossa kaikki merkinnät näkyvissä (SFS-ISO 16792 2016 s. 19)

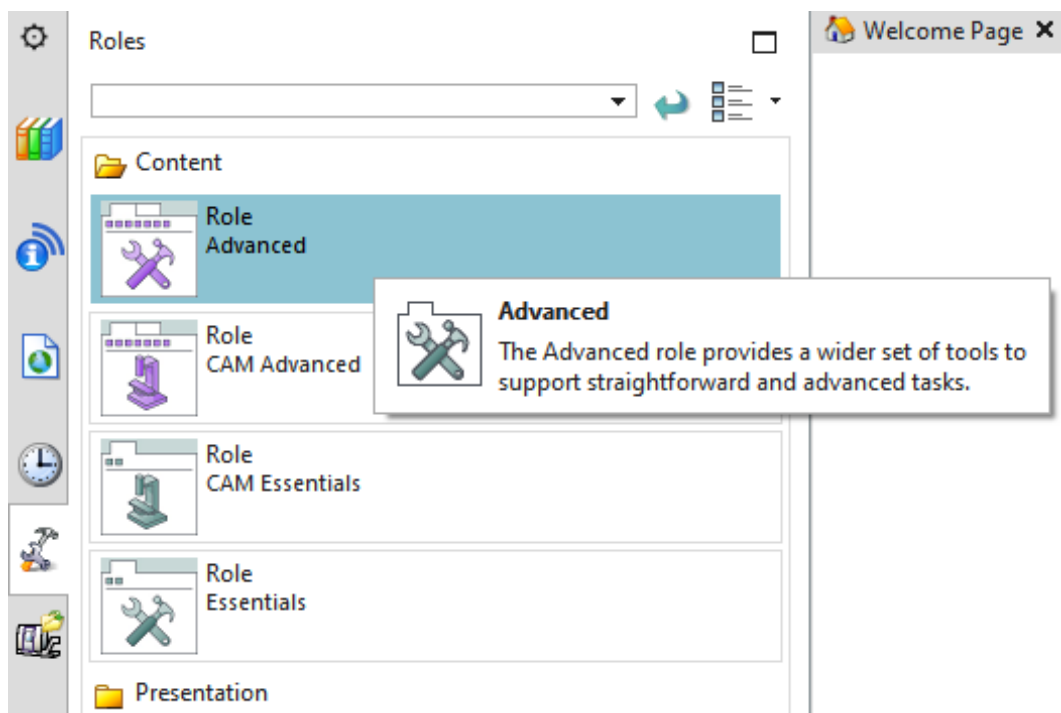
Mallinnusta aloittaessa tulee suunnittelumalliin asettaa vähintään yksi oikeakätinen koordinaatisto. Oikeakätinen koordinaatisto tarkoittaa, että kohtisuoraan Z-akselia katsottaessa positiivinen X-akseli osoittaa katsojan oikean käden puolelle ja positiivinen Y-akseli ylöspäin. Kaikki merkinnät on asetettava tasoille ja tasojen tulee pysyä paikallaan suhteessa malliin, kun mallia pyöritetään. Merkinnät on asetettava niin etteivät ne ole keskenään päällekkäin tai mallin päällä. Aksonometrisessä kuvannossa merkinnät tulee olla yhdensuuntaisesti, kohtisuoraan tai yhtenevästi pinnan kanssa. Lisäksi tulee varmistaa, että elementteihin liitettyjen merkintöjen assosiativisuus on käytettävissä esimerkiksi kyselyjä tehdessä. Tuotemallin valmistuttua tulee varmistaa, että data-aineisto sisältää täydellisen tuotemäärittelyn eli esimerkiksi suunnittelumallin, sen merkinnät ja muun dokumentaation. Seuraavassa luvussa tutkitaan miten SFS-ISO 16792 -standardin mukaiset merkinnät luodaan malliin Siemens NX ohjelmalla.

3. SOVELLUKSEN KÄYTTÖ JA TYÖKALUT

Siemens NX on Siemensin kehittämä CAD-ohjelma, jota on saatavilla useilla eri lisensitasoilla käyttäjän tarpeen mukaan. Käytössä on Tampereen yliopiston lisenssillä saatavissa oleva versio 12.0.1. Siemens NX:ssä malliperustaisen tuotemäärittelyn mahdollistava sovellus on nimeltään PMI. Se tulee sanoista ”product and manufacturing information” eli tuote- ja valmistustiedot, joka on malliperustaisen tuotemäärittelyn alakäsite, jolla tarkoitetaan vain tuotetta määritteleviä tietoja, kuten mittoja, toleransseja ja pinnan ominaisuuksia (Rapinoja 2016, s. 6).

3.1 Käytön aloitus

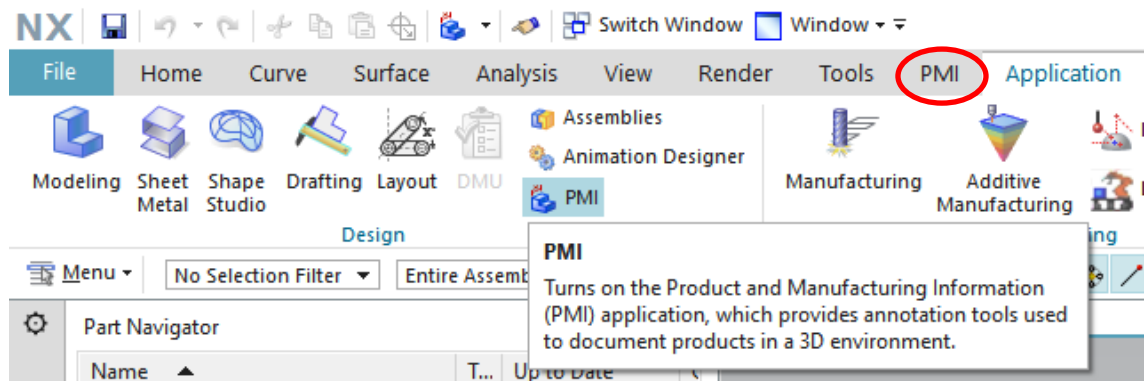
Jotta ohjelmassa saadaan täydet ominaisuudet käyttöön, on syytä aloittaa siirtymällä vasemman laidan valikkoon Roles, jossa valitaan käyttöön Advanced-rooli. Advanced-rooli tuo työkaluvalikoihin lisää ominaisuuksia ja vaihtoehtoja, jotka helpottavat työkalujen käyttöä. Kuvassa 4 nähdään valikon sijainti ja valittavissa olevat roolit.



Kuva 4 Roles-valikko, jossa valittuna Advanced-rooli

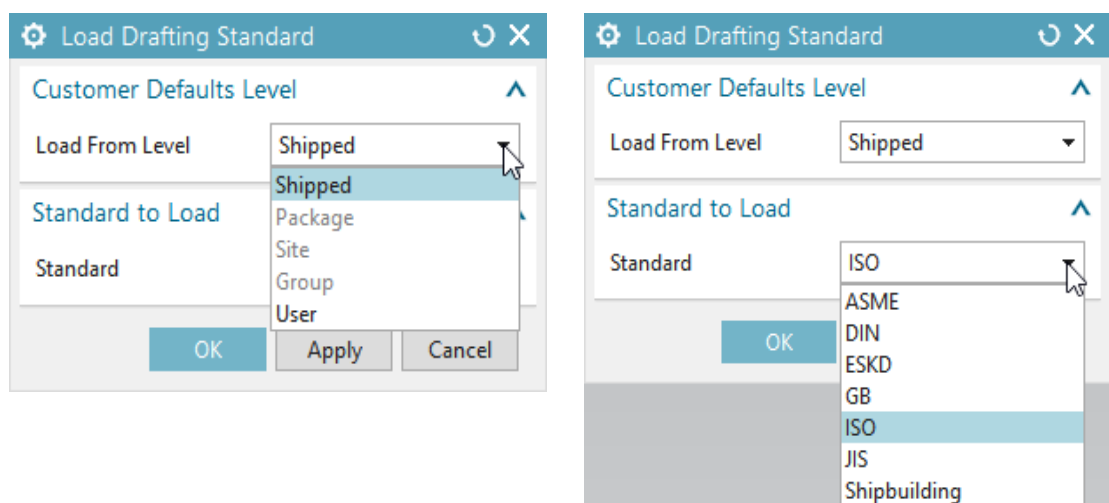
Seuraavaksi voitaisiin aloittaa kappaleen mallinnus, mutta koska se ei ole työn kannalta oleellista, käytetään SFS-ISO 16792 (2016) sivulta 19 löytyvän kappaleen mukaan mallinnettua kappaletta ja pyritään luomaan siihen standardissa esitetyt merkinnät. Kun malli

on ladattuna ohjelmaan, käyttöön aukeaa useita uusia valikoita. Tässä vaiheessa voidaan käydä ottamassa käyttöön Application välilehdestä löytyvä PMI-sovellus, jolloin se ilmestyy käytettäväksi välilehtiin. Kuvassa 5 näkyy välilehdet ja PMI:n valinta.



Kuva 5 Application välilehti, jossa valinta ottaa PMI käyttöön ja punaisella ympyröitynä PMI-sovellus

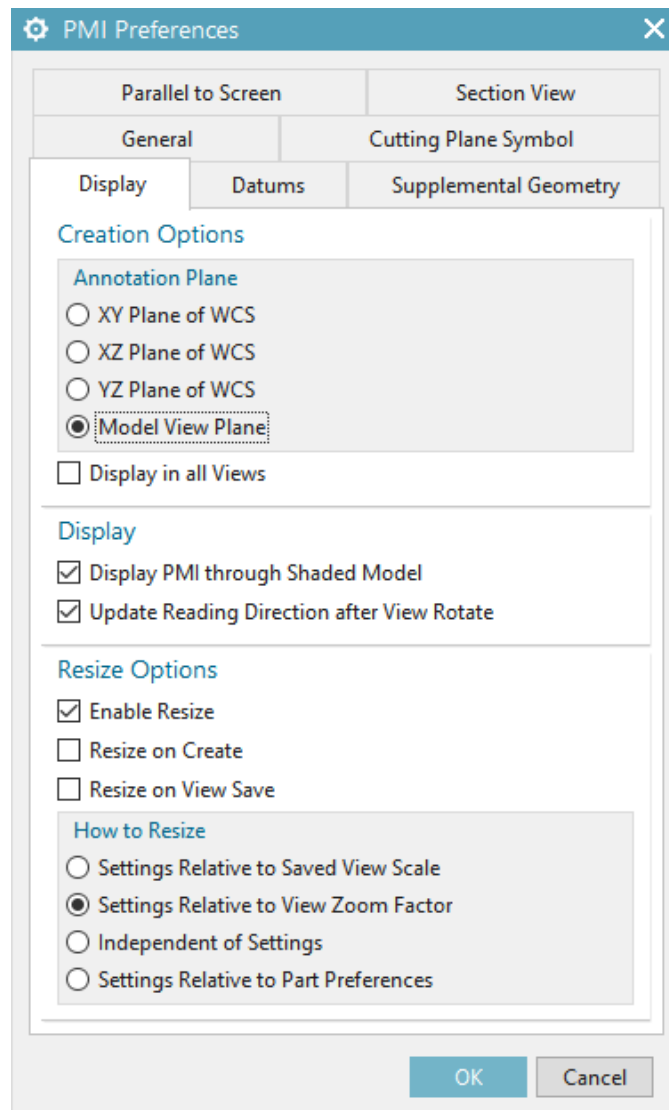
Koska Siemens NX on kansainvälisesti tarjolla oleva ohjelma, on syytä tarkastaa tiettyjä asetuksia, jotta ne vastaavat käyttöympäristön tarkoituksia ja standardeja. Aloitetaan tarkastamalla piirustusten standardit, sillä ne vaikuttavat myös PMI:n luomiin merkintöihin. Oletuksena tämä asetus on piilotettuna valikoista, joten se täytyy etsiä oikean yläkulman hakupalkilla. Hakupalkki on erittäin kätevä etsittäessä komentoja, joiden nimi tai nimen osa tiedetään, mutta ei tiedetä missä valikossa kyseinen komento sijaitsee. Haetaan nyt "drafting standard" ja ohjelma palauttaa kaikki hakua vastaavat komennot. Tässä tapauksessa hakua vastaa yksi komento ja samalla haku näyttää missä valikossa komento sijaitsee. Mikäli komento on piilotettuna, voi hiiren oikealla painikkeella avautuvasta valikosta valita haluaako sen näkyvän jatkossa valikossa omalla paikallaan. Avataan haun löytämä Drafting Standard, jolloin aukeaa kuvan 6 mukainen ikkuna.



Kuva 6 Piirustusten standardien asetukset

Shipped-asetukset ovat NX:n asennuksen mukana tulevat oletusasetukset. Mikäli käyttäjällä olisi omat määrytykset piirustusten asetuksiin voitaisiin valita vaihtoehto User ja ladata ne käyttöön. Standardeille on määritetty valmiiksi useita vaihtoehtoja, joista käyttäjä voi valita noudattamansa standardin. Valitaan käyttöön Shipped asetukset ja standardiksi suomessa käytössä oleva ISO.

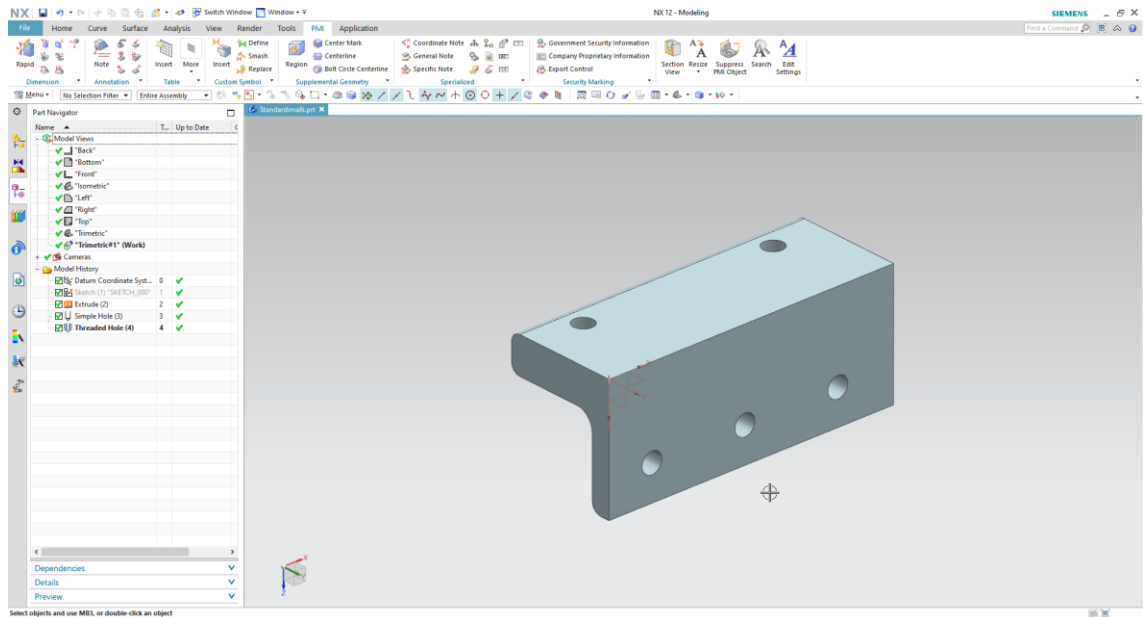
Navigoidaan seuraavaksi File -> Preferences -> PMI, josta löytyy asetukset PMI:lle ja toleranssien standardeille. Toleranssien standardien asetuksista löytyy taas useita eri vaihtoehtoja eri standardeille, mutta valitaan käyttöön "ISO 1101 – 1983", jonka uudistettuun versioon myös SFS-ISO 16792 (2016) viittaa. PMI:n asetuksista löytyy paljon erilaisia oletusasetuksia, joita esimerkiksi komennot käyttävät oletuksinaan. Käyttäjä voi halutessaan muokata niitä räätälöidäkseen käyttökokemustaan mukavammaksi, mutta käytämme nyt asennettuna tulevia asetuksia. Kuvassa 7 näkyy PMI-oletusasetusten ikkuna.



Kuva 7 PMI oletusasetuksia

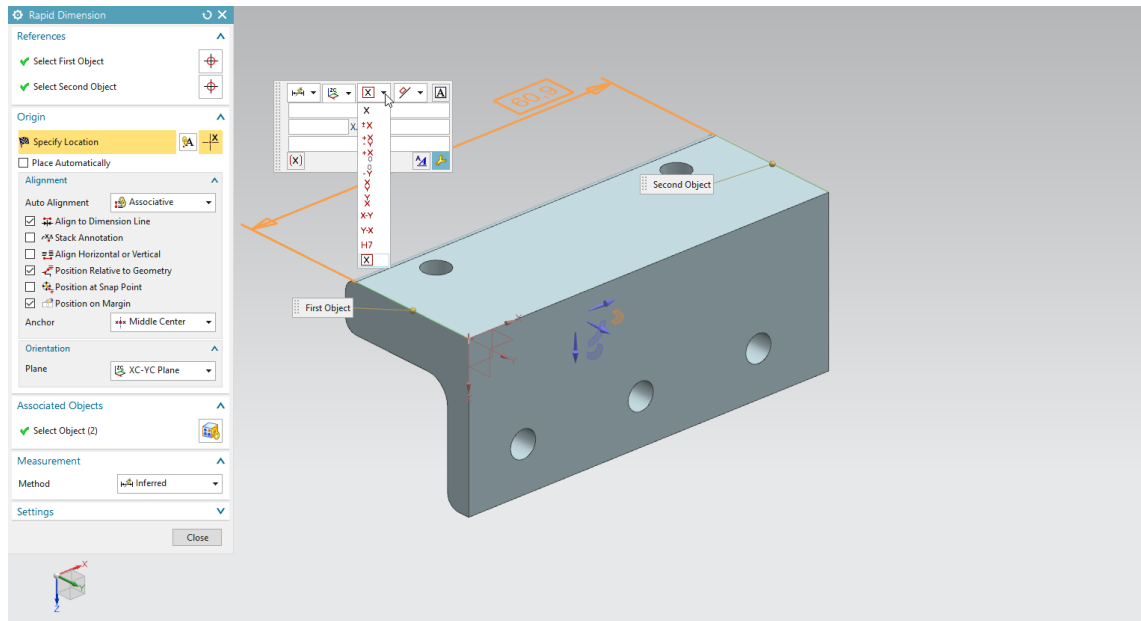
3.2 Merkinnät

Kun halutut asetukset on määritetty, voidaan aloittaa merkintöjen sijoittaminen. Kappaleen ollessa yksinkertainen, on järkevää luoda uusi kuvaus, johon sijoitetaan kaikki merkinnät. Uusi kuvaus voidaan luoda kääntämällä kappale haluttuun asentoon ja sitten painamalla hiiren oikealla napilla Part Navigatorin kohtaan Model Views, josta valitaan Add View. Valitaan luotu kuvaus työkuvaukseksi tuplaklikkaamalla sitä. Kuvassa 8 nähdään työssä käytettävä malli, PMI-sovelluksen välilehti ja Part Navigator.



Kuva 8 Mallikappale ennen merkintöjä

PMI välilehdestä löytyvät kaikki tarvittavat komennot merkintöjen luomiseen, vasemmalta ensimmäiseksi löytyvät erilaiset mitat. Rapid-komento on pikatyökalu mitoitukseen ja se ehdottaa mittatyyppiä valittujen elementtien tai kursorin sijainnin perusteella. Lisäksi löytyy komennot mm. pituus-, säde-, kulma-, ja paksuusmitoille. Aloitetaan sijoittamalla malliin pituusmittoja käyttäen Rapid-komentoa, joka nähdään kuvassa 9. Komento pyytää kahta valintaa, jolloin osoitetaan sille leveysmittaa halutessa yläpinnan reunat. Mikäli mitta ei oletuksena asetu halutulle tasolle, voidaan sille valita koordinaattisysteemin mukaisia tasoja tai muu käyttäjän mallista osoittama taso tai pinta, jolloin mitta voidaan sijoittaa standardin mukaisesti myös kaltevalle pinnalle. Samalla aukeaa mitan toleranssien ikkuna. Pudotusvalikosta voidaan valita haluttu toleranssityyppi ja syöttää tiedot kenttiin.

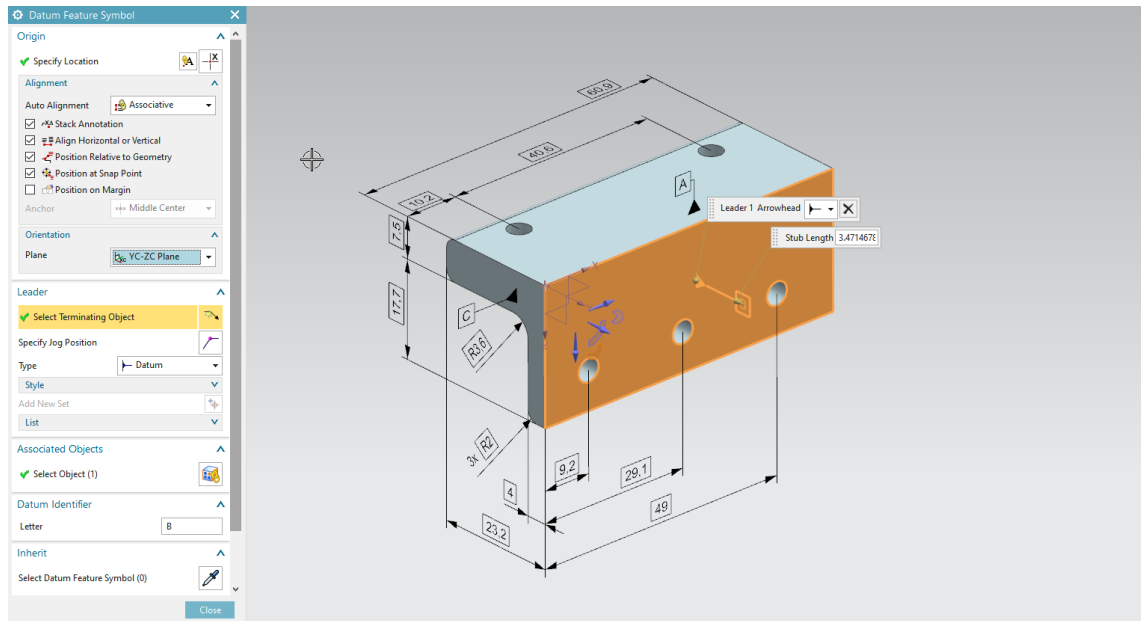


Kuva 9 Rapid-komennon valikko ja toleranssin valinta

Sijoitetaan malliin loput pituusmitat edellä kuvatulla tavalla. Mitä pidemmälle mitoituksessa päästään sitä enemmän mittoja mallissa alkaa olla. Mikäli merkinnät ovat liian isoja ja vievät tilaa liikaa ruudulta, löytyy yläpalkista Resize-komento, joka muuttaa merkintöjen kokoa riippuen zoomauksen etäisyydestä.

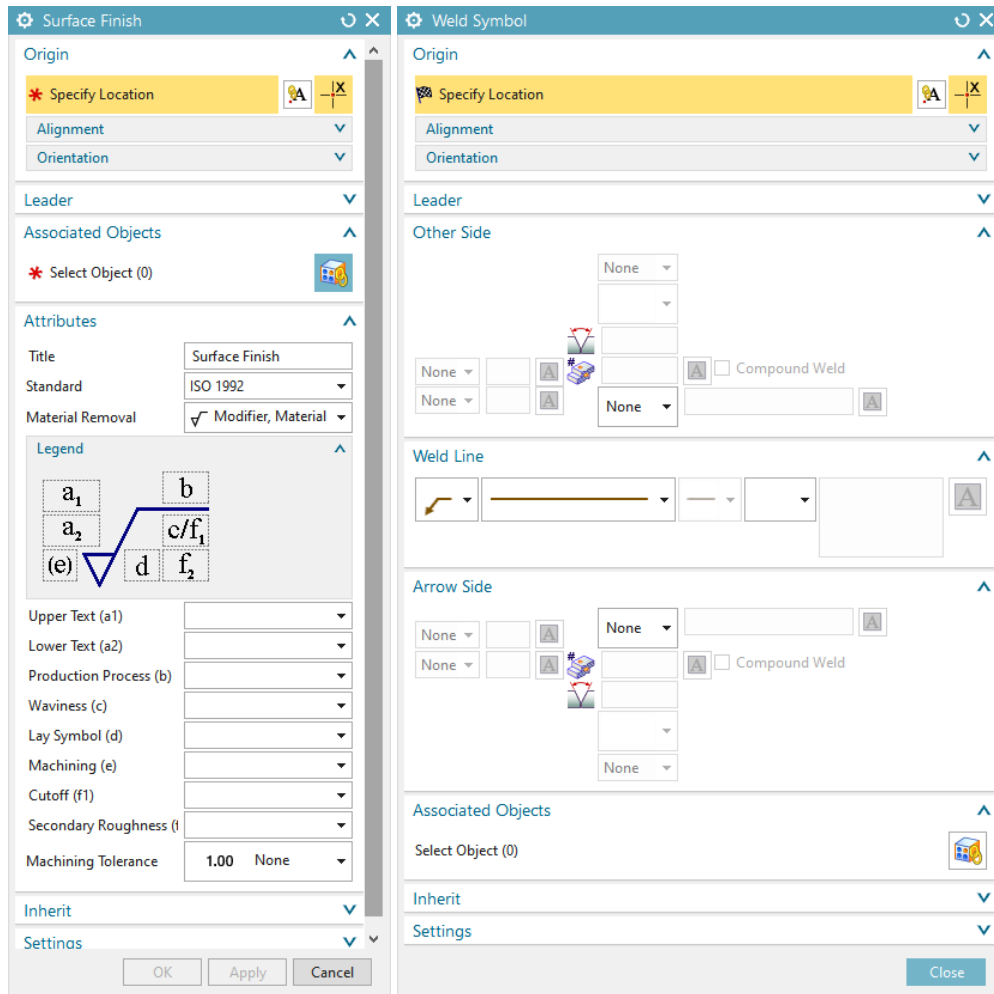
Lisätään seuraavaksi reunojen pyöristysten mitat käyttäen sädemitan komentoa. Komennon valikkoikkuna on samanlainen kuin Rapid-komennolla. Sädemitta pyytää yhtä pyöreää piirrettä, jolle se sitten luo säde- tai halkaisijamitan käyttäjän määrittäessä. Alareunan pyöristyksen toleranssimerkintä on yhteinen myös yläreunan pyöristysten kanssa, joten luodaan siihen oikea merkintä. Toleranssien tietoja syötettäessä X.XX kuvaa mitta-arvon sijaintia toleranssimerkinnässä. Nyt halutaan sijoittaa tieto "3x" mitta-arvon eteen, joten syötetään se X.XX:n vasemmanpuoleiseen kenttään.

Siirrytään seuraavaksi geometrisiin toleransseihin. Jotta geometrisia toleransseja voidaan määrittää, tulee ensin malliin asettaa peruselementtien merkinnät. Peruselementin komento Datum Feature Symbol löytyy Annotation osiosta. Komennon valikko näyttää hyvin samalta, kuin aiempienkin komentojen valikot, sisältäen ensin merkinnän sijoituksen ja sitten merkinnän tiedot. Valitaan ensin kohta Select Terminating Object ja osoitetaan sitten pinta, jolle peruselementti halutaan asettaa. Hiirellä voidaan asettaa merkintä halutulle paikalle ja sitten valita taso, jonka suuntaisesti merkintä asettuu. Kuvassa 10 nähdään peruselementtien valikko ja malliin asetetut mitat.



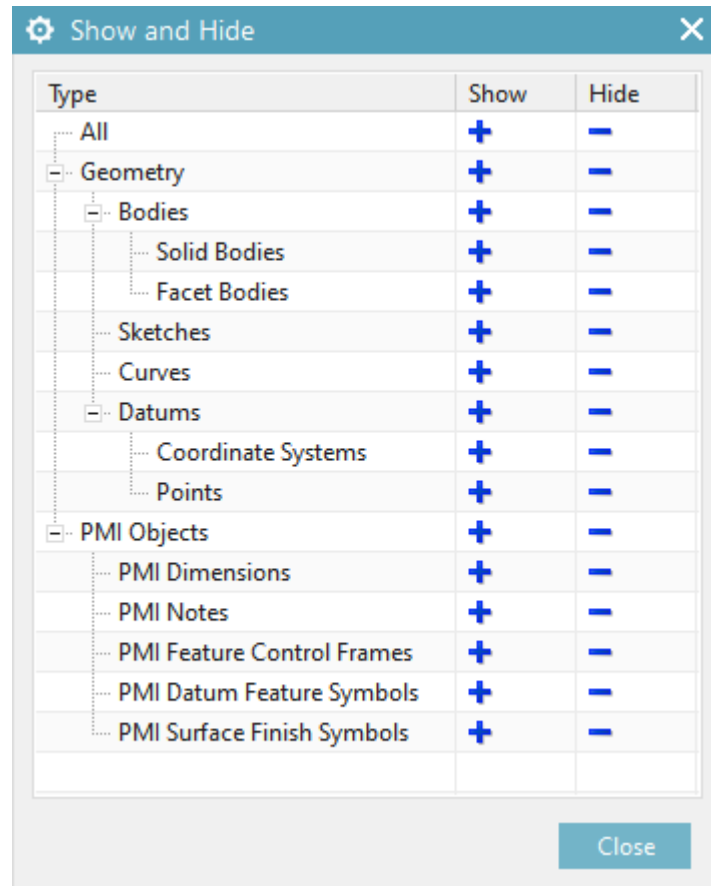
Kuva 10 Peruselementtien valikko ja mitat mallissa

Seuraavaksi voidaan alkaa asettaa geometrisiä toleranssimerkintöjä paikalleen Feature Control Frame -komennolla. Luodaan nyt merkintä etusivun kolmelle reiälle. Luodaan ensin reunimmaiselle reiälle halkaisijamitta toleransseineen ja asetetaan kohtaan Associated Objects kaksi muutakin reikää. Seuraavaksi voidaan valita Feature Control Frame -komento ja asettaa sen luoma merkintä halkaisijamittan yhteyteen. Oikean sijainnin merkintöjen yhdistymiselle ohjelma osoittaa reunustamalla merkinnät katkoviivalla. Sitten voidaan asettaa oikeat parametrit toleranssille. Pudotusvalikosta löytyy erilaisia geometristen toleranssien tyyppejä. Valitaan tyypiksi Position ja asetetaan sille halkaisijatoleranssi 0,13. Valitaan vielä Primary, Secondary ja Tertiary Datum Referenceiksi A, B ja C. Merkintä perii reikien assosiatiivisuudet halkaisijamitalta ja viittaa itse vielä kaikkiin kolmeen peruselementtiin. Kuva 11 esittää oikeat assosiaatiot luodulle merkinnälle. Samalla nähdään, kuinka aiemmin mainittu kysely toimii malliperustaisen tuotemäärittelyn mallissa. Valittaessa jokin merkintä, ohjelma näyttää ne elementit korostettuina joihin merkintä viittaa.



Kuva 12 Valikot pintaviimeistelymerkinnän ja hitsausmerkinnän luomiseen

PMI:stä löytyy vielä useita muita komentoja, joita tämän mallikappaleen merkintöihin ei tarvita. Mainitsemisen arvoisia niistä on ainakin apugeometriat, josta löytyy komennot alueiden rajaamiseen, keskipistemerkinnälle, keskiviivamerkinnälle ja pulttireikien keskiviivalle. Alueiden rajaus voi tulla tarpeeseen, mikäli halutaan määrittää esimerkiksi jokin pintaviimeistely koskemaan vain rajattua aluetta pinnasta. Keskipiste ja -viivamerkinnät ovat apuna pyörähdyskappaleiden ja pyöreitä elementtejä käsittävien kappaleiden kanssa, jolloin niitä voidaan käyttää visuaalisena apuna, sekä apuelementteinä mittojen määrittämisessä. Lisäksi löytyy vielä erikoistyökaluja, sekä erilaisia turvallisuuteen liittyviä merkintöjä, jolle saattaa löytyä yritystasolla enemmän tarvetta. Kuvassa 13 nähdään valmis tuotemalli, josta löytyy samat merkinnät kuin standardin mallikuvassa.



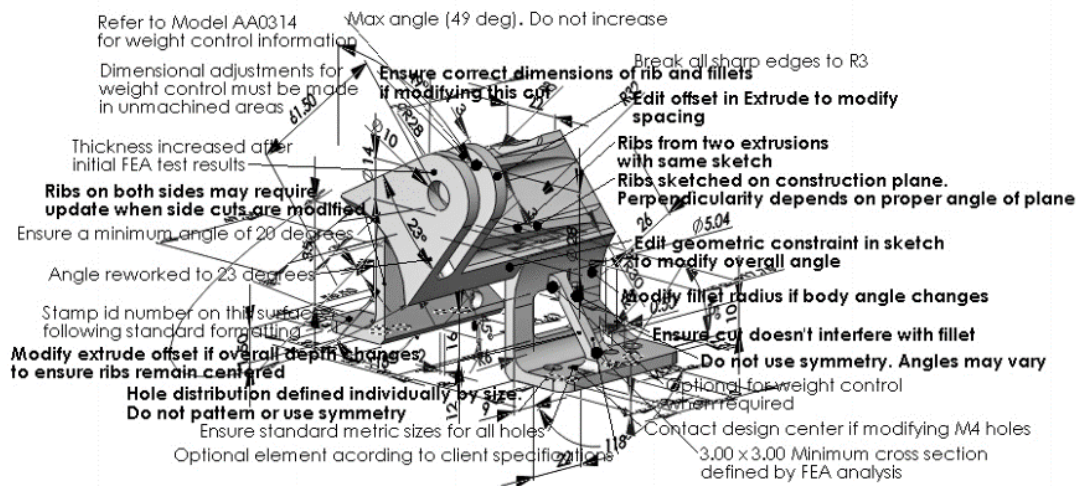
Kuva 14 Show and Hide valikko tietyn tyyppisten merkintöjen piilottamiseksi

Merkinnöistä voidaan luoda myös itse ryhmiä, joilla voidaan helpottaa piilottamista ja näyttämistä, sekä seuraavassa luvussa käsiteltävää kuvantojen luomista. Jos käyttäjällä on useita merkintöjä, joita tarvitsee piilottaa, mutta ne kaikki eivät ole kaikki samaa tyyppiä, voi olla järkevää luoda niistä ryhmä, johon voi itse valita halutut merkinnät. Ryhmän luontiin navigoidaan Menu -> Format -> Group -> New Group. Nyt voidaan valita kaikki halutut merkinnät ryhmään ja nimetä se. Painettaessa OK, tulee ryhmä näkyviin Part Navigatoriin ja valitessa ryhmä, korostuvat kaikki siihen kuuluvat merkinnät. Valintaruutua painamalla saadaan piilotettua ryhmä, jolloin sen merkinnät piilottuvat näkyvistä.

Käydään seuraavaksi läpi kuinka valmiista merkitystä mallista löytää haluamiansa merkintöjä helposti. Tähän hyvä komento on Find PMI Associated to Geometry, jolla voidaan etsiä kaikkia merkintöjä, jotka on liitetty mallin johonkin elementtiin. Komento löytyy oikeaa hiiren nappia painamalla, kun jokin elementti on valittuna. Elementtejä voi valita suoraan Part Navigatorista tai voi käyttää Menu valikon vierestä löytyvää valintasuodatinta, jolla saa valittua mallista suodattimen mukaisia elementtejä. Käytettäessä komentoa aukeaa valikko ja valittu elementti näkyy korostettuna. Painetaan OK, jolloin ohjelma luo väliaikaisen näkymän näyttäen vain ne merkinnät, jotka liittyvät valittuun elementtiin.

PMI välilehdestä löytyy Search-komento, jolla voidaan etsiä mallista hakuehtoja vastaavia merkintöjä. Tarjolla on todella suuri määrä erilaisia vaihtoehtoja, joiden perusteella merkintöjä voidaan hakea. Esimerkiksi merkinnän tyyppiin lisäksi voidaan hakea myös merkinnän sisällön perusteella pituuksia, jotka ovat yli 50mm. Hakuun voidaan lisätä useita kriteereitä, jolloin voidaan hakea useaa erilaista merkintää samalla haulla. Haun tulokset voidaan nappia painamalla tallentaa omaksi näkymäkseen.

Tehokkaan käytön kannalta merkintöjen hallinta on tärkeää. Camba et al. (2014) tutkivat erilaisten työkalujen vaikutusta nopeuteen selvittää tietoa malliin tehtävistä muutoksista, kun ohjeet muutoksiin olivat sanallisina merkintöinä osoitettuna mallin elementteihin. Vertailuryhmä joutui tutkimaan kuvassa 15 näkyvää sotkua ilman mitään aputyökaluja.



Kuva 15 Mahdollinen merkintöjen aiheuttama visuaalinen sotku (Camba et al. 2014, s. 408)

Ryhmälle 2 oli luotu kuusi ryhmää, joihin merkinnät oli jaoteltu. Ryhmällä 3 oli käytössään hakutyökalu, jolla pystyi suodattamaan haluttuja merkintöjä. Neljäs ryhmä käytti työkalua, jolla pystyi hakemaan mallipuusta merkintöjä tiettyyn elementtiin liittyen. Tutkimuksessa selvisi kaikilla aputyökaluilla huomattava, lähes 50 % ajansäästö kokonaisajassa vastattaessa neljään merkintöjä koskevaan kysymykseen. (Camba et al. 2014, s. 408) On mukava huomata, että hakutoimintoihin on keskitytty Siemens NX:ssä, sillä siitä löytyvät kaikki kolme vastaavaa hakutyökalua, joita tutkimuksessa käytettiin. Useat vaihtoehdot auttavat jokaista käyttäjää löytämään merkintöjä parhaaksi näkemällään tavalla ja usean eri vaihtoehdon ollessa saatavilla voidaan päästä vielä parempiin tuloksiin kuin edellä mainitussa tutkimuksessa vain yksi työkalu kerrallaan.

3.4 Kuvannot

Teknisissä piirustuksissa kappale täytyi aina esittää useampana 2D-kuvauksena, jotta kokonaisuus voitiin hahmottaa. Mallipohjainen tuotemäärittely ei vaadi useampia kuvantoja, sillä mallia voidaan pyörittää sitä tarkasteltaessa. Kuvantoja voidaan kuitenkin hyödyntää yhä esimerkiksi mallin leikkauksen esittämiseen. Kuvantoja voidaan luoda myös erilaisiin tarpeisiin, jolloin vain halutut mitat on esitetty kuvannossa. Esimerkkinä valmistettaessa kappaletta useassa työvaiheessa, voidaan kullekin työvaiheelle luoda oma kuvanto, jossa esitetään vain tiedot, joita kyseinen työvaihe tarvitsee.

Uutta mallia aloittaessa ohjelma luo aina valmiiksi kuvaukset jokaiselta sivulta koordinaatistoon nähden nimeten ne katselusuunnan mukaan eli oikea, vasen, etu, taka, ylä ja ala. Kappale olisi hyvä mallintaa niin, että kuvausten nimet pitävä paikkansa valmiin mallin kohdalla, jotta niitä voisi käyttää suoraan pohjina omille kuvannoille. Mikäli automaattikuvannot eivät kuitenkaan miellytä, halutaan nimetä kuvanto itse tai tarvitaan lisää kuvantoja, voidaan niitä luoda lisää.

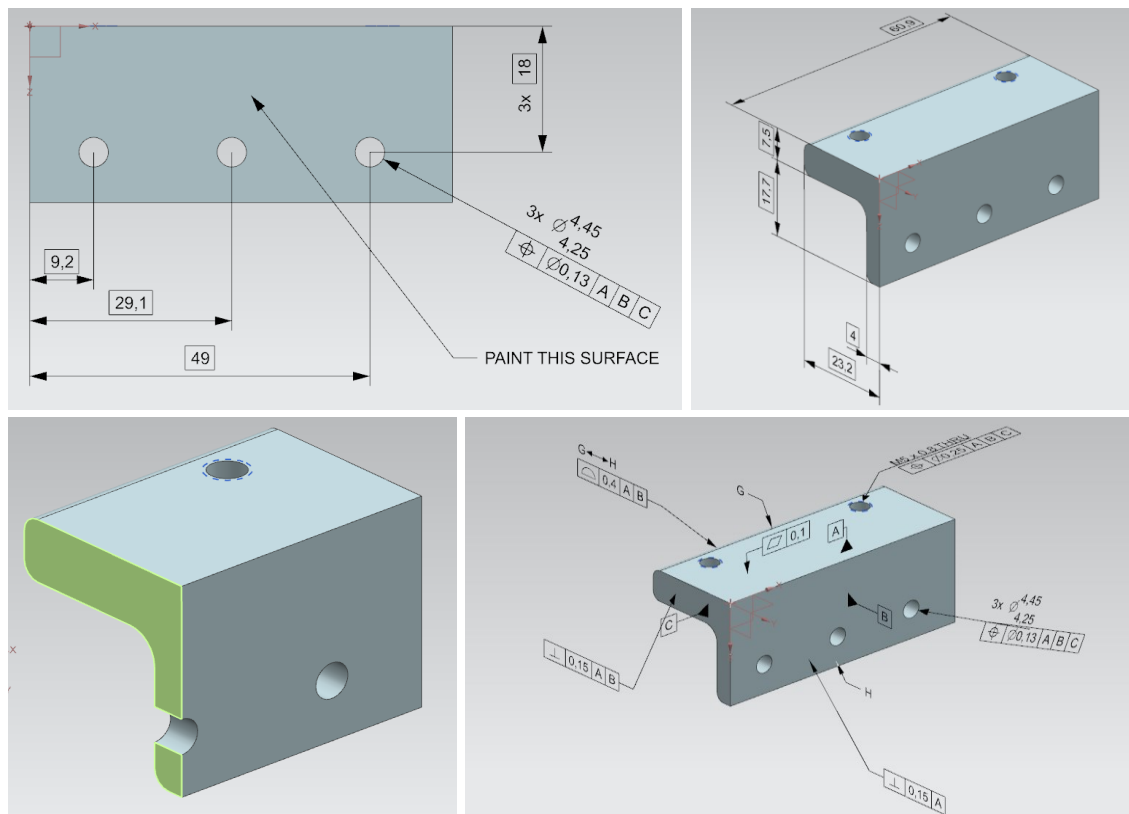
Uuden kuvannon luominen löytyy napauttamalla hiiren oikealla napilla kohtaa Model Views, joka löytyy Part Navigatorista. Valitaan Add View, jolloin ohjelma luo heti uuden kuvannon siitä asennosta, jossa kappale on näytöllä. Kuvannon muokkaus onnistuu hiiren oikean napin valikosta, josta voidaan tallentaa kuvauksen asento näytöllä olevaksi, palauttaa alkuperäinen asento ja nimetä kuvanto uudelleen. Yhden kuvannon sijaan voidaan myös luoda alkuperäisten kuvantojen kaltainen kuvantosarja komennolla Add View Set. Komento pyytää ensin yhtä suuntaa pohjaksi, minkä perusteella se luo muut käyttäjän valitsemat suunnat. Nyt luodussa kuvantosarjassa pohjakuvannon asentoa muuttamalla muuttuvat myös sarjan muut kuvannot.

Leikkauskuvantoja voidaan luoda PMI välilehden Section View -komennolla tai vaihtoehtoisesti se löytyy myös kuvannon muokkauksen valikosta. Komennon valikosta löytyy vaihtoehdot yhden tai kahden samansuuntaisen tason leikkaukselle, sekä kuutioleikkaukselle, jolla voidaan leikata kappaletta kuudesta suunnasta kohti keskipistettä. Kun leikkaustasot ovat kohdallaan ja leikkaus nimetty, OK napista painamalla siitä luodaan uusi kuvanto.

Uusiin kuvantoihin halutaan lisätä myös merkintöjä. Päänäkymään luotuja merkintöjä voi lisätä näkyviin myös muihin kuvantoihin valitsemalla merkinnän tai useita merkintöjä, ja valitsemalla hiiren oikean näppäimen valikosta Display -> in Views. Aukeavasta valikosta voidaan valita kaikki kuvannot, joihin kyseinen mitta halutaan asettaa näkyville. Jos ai-

kaisemmin esiteltyä merkintöjen ryhmittelyä on käytetty ryhmittelemään esimerkiksi geometrisiä toleransseja, on nyt helppo löytää ja valita ryhmän merkinnät esitettäväksi kuvaukseen.

Kuvassa 16 on koottu edellä mainittujen kuvausten toteutuksia. Ensimmäisenä on kappaleen etupinta ja sitä koskevat merkinnät. Toisena on esitetty yksinkertaistettu yleiskuvaus, jossa nähdään vain muutama kappaleen tärkein päämitta, tällaista kuvausta voitaisiin käyttää esimerkiksi ensimmäisen karkean muotoilun työstövaiheen ohjeena. Seuraavana nähdään yksinkertainen poikkileikkaus kappaleesta ja viimeisenä geometrinen toleranssien ryhmästä luotu kuvaus.

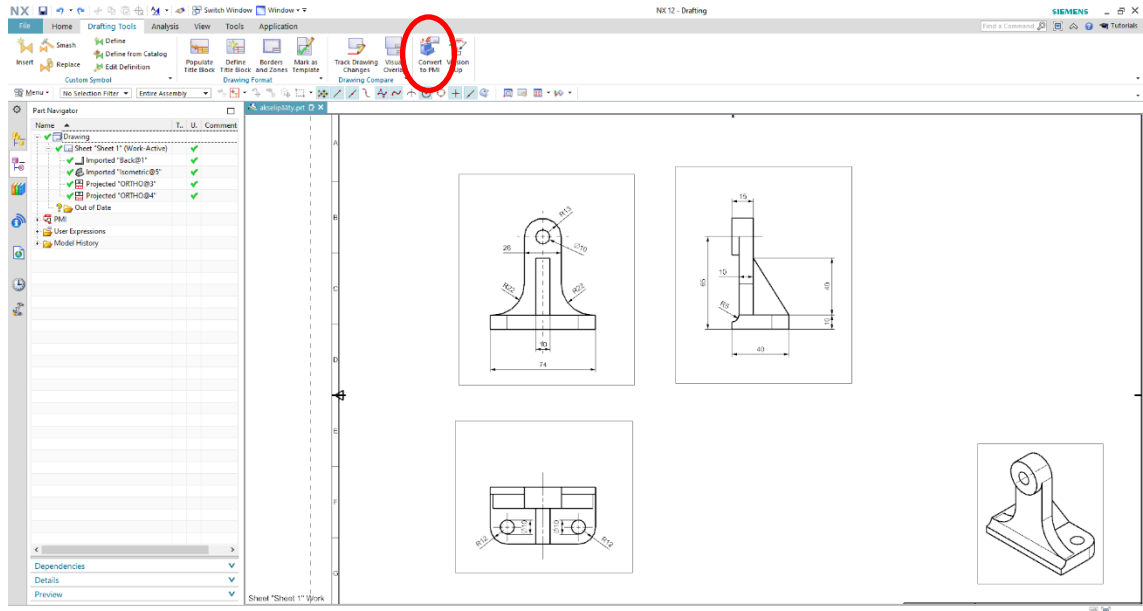


Kuva 16 Erilaisia kuvantoja mallista

3.5 Convert to PMI -komento

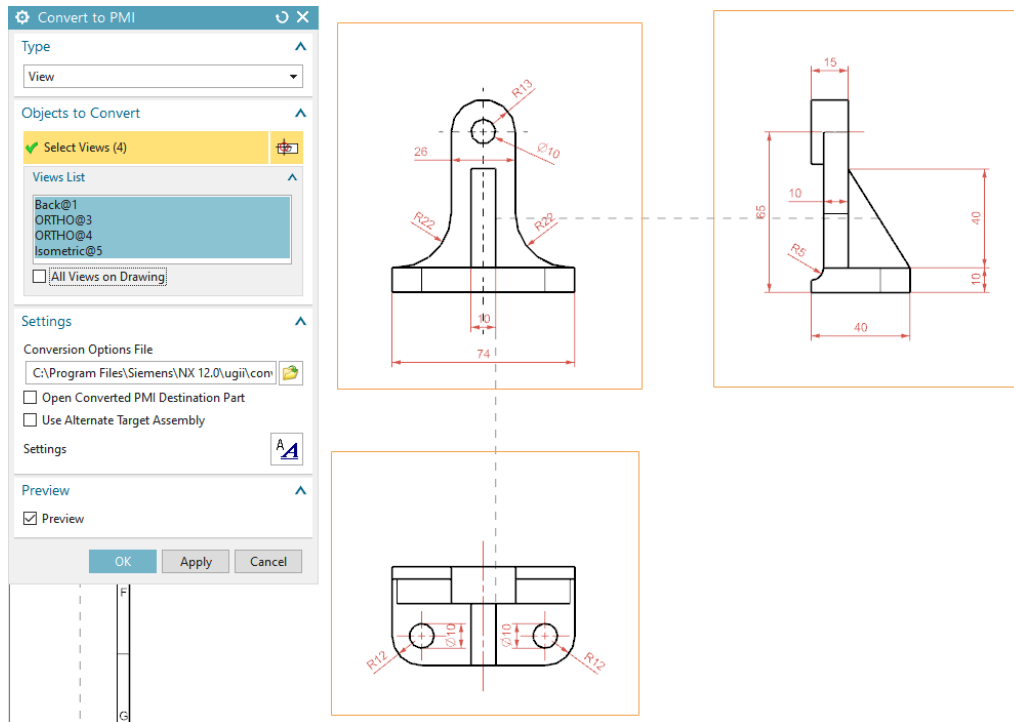
Vaikka siirtymä malliperustaiseen tuotemäärittelyyn toteutettaisiinkin kokonaan uuden projektin kautta, saattaa tulla tarve käyttää vanhaa mallia, josta on luotuna vain tekniset piirustukset. Tällöin jouduttaisiin käyttämään täysi aika merkintöjen luomiseen malliperustaisen tuotemäärittelyn mukaisesti. Siemens NX:stä löytyy kuitenkin erittäin hyödyllinen komento, jolla voidaan kääntää vanhat piirustusmerkinnät muutamalla painalluksella PMI-merkinnöiksi.

Komennon käyttämiseksi on ohjelmaan avattu uusi malli, josta on aiemmin luotu tekniset piirustukset ja nyt halutaan muuntaa ne vastaamaan malliperustaista tuotemäärittelyä. Kuvassa 17 nähdään tekniset piirustukset, sekä Convert to PMI -komennon sijainti Drafting Tools -sovelluksen Drafting Tools välilehdellä.



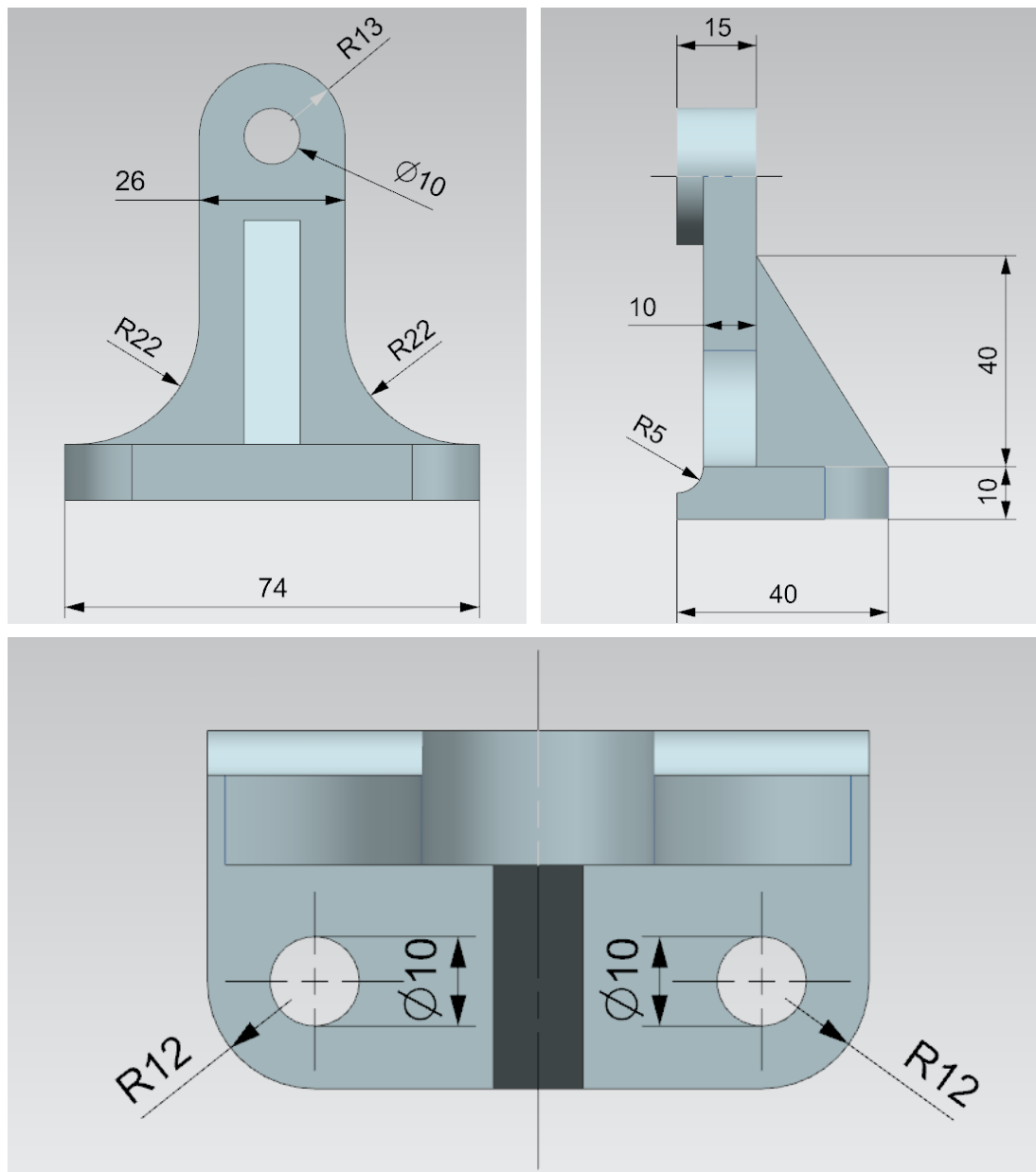
Kuva 17 Drafting-sovelluksen näkymä ohjelmassa

Komennolla aukeaa kuvan 18 valikko, josta voidaan valita mitä halutaan muuntaa PMI:ksi. Vaihtoehtoina on muuntaa koko piirustus, yksittäinen arkki, yksittäisiä kuvauksia arkilta tai yksittäisiä merkintöjä. Muunnetaan nyt pääarkin kaikki neljä kuvausta valitsemalla tyypiksi View ja valitaan listasta kaikki kuvaukset. Asetusvalinnoissa on mahdollista vaihtaa tiedostoa, jonka asetusten mukaan muunnos tapahtuu, mutta käytetään oletusasetuksia. Lopuksi kannattaa valita Preview-ruutu, jolloin ohjelma näyttää punaisella, mitkä kaikki mitat ovat siirtymässä PMI-merkinnöiksi. Mikäli jokin mitta jää mustaksi, kannattaa palata tarkistamaan, että mittaan valitut elementit ovat varmasti asetettu oikein. Hyväksytään komento painamalla OK ja siirrytään Modeling-sovellukseen tarkastelemaan tuloksia.



Kuva 18 Convert to PMI -valikko ja muunnettavat kuvaukset ja mitat

Kuvassa 19 nähdään komennon luomat kuvaukset. Kuten voidaan huomata, sivukuvauksesta puuttuu 65mm pystymitta, joka johtui siitä, että piirustuksessa mitta oli epähuomiossa asetettu alkamaan piirustussovelluksen apuviivasta, jota ei löydy mallinnuspuolella ja siten merkinnän luonti epäonnistui. Osa merkinnöistä saattaa myös sijoittua erikoisesti, kun kappaletta pyöritetään. Merkinnät kannattaakin käydä manuaalisesti läpi ja korjata oikeiksi. Mitä huolellisemmin mitat on asetettu piirustuksessa, sitä paremmin ne muuntuvat suoraan PMI-merkinnöiksi. Työkalussa on potentiaalia suureksikin avuksi vanhojen piirustuksien kääntämisessä, mutta vaatii silti manuaalista tarkastusta ja työtä oikeellisuuden varmistamiseksi.



Kuva 19 Modeling-sovelluksen kuvannot ja PMI-merkinnät

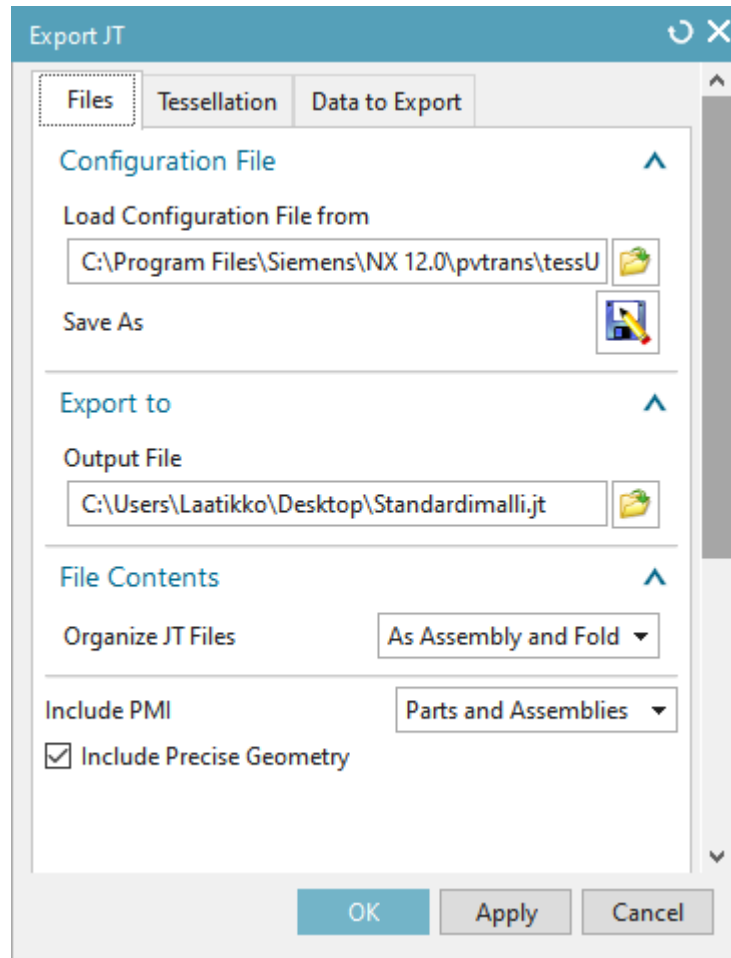
4. TIEDON VIENTI JA KATSELU

Tehokkain tapa jakaa malliperustaisen tuotemäärittelyn tuotemallia on käyttää CAD-ohjelmiston natiiviformaattia, sillä se säilyttää aina kaiken alkuperäisen datan. Joissain tapauksissa, kuten datan hallintaan tai tietoturvaan liittyvissä tapauksissa natiiviformaattia ei voida käyttää, sillä se saattaa käytettäväksi täydellisen mallin ja mahdollistaa myös mallin muokkaamisen.

Siemens NX:n tukemia vaihtoehtoisia tiedonsiirtoformaatteja ovat STEP 242 ja JT. STEP 242 on standardoitu tiedonsiirtoformaatti, jota useimmat CAD-ohjelmit tukevat. Se soveltuu hyvin tapauksiin, joissa PMI-merkintöjä on tarkoitus siirtää CAD-ohjelmistosta toiseen. Se sisältää kuitenkin mallin tarkan geometrian ja mahdollistaa muokkaamisen, joten se ei sovellu arkaluontoisen mallitiedon jakoon. STEP 242 ei kuitenkaan tue tallennettujen kuvantojen, eikä leikkaus- tai räjäytyskuvantojen vientiä, joten ne joudutaan kohdeohjelmassa luomaan uudestaan. (Rapinoja 2016, s. 11)

Tiedonsiirtoon ja visualisointiin Siemens PLM:n kehittämä JT-formaatissa voidaan määritellä, halutaanko mukana siirtyvän mallin tarkka geometria, pintamalli vai molemmat. JT-formaatissa siirtyy lähes kaikki sama data kuin natiiviformaatissa osaluettelo ja mahdollista videoliitettä lukuun ottamatta. (Rapinoja 2016, s. 12) JT on kevyt formaatti, joka voidaan avata ilmaisella katseluohjelmalla, sitä tukevalla CAD-ohjelmalla tai PDM-järjestelmän esikatselussa (Siemens PLM 2011).

Tiedoston vienti NX:ssä tapahtuu valitsemalla File -> Export. Valikosta löytyy useita vaihtoehtoja muillekin tiedostoformaateille, sekä kätevä kuvien tallennus nykyisestä näkymästä, jota tässäkin työssä on hyödynnetty. Valitaan vietäväksi formaatiksi JT, jolloin ohjelmassa aukeaa kuvassa 20 näkyvä valikko. Valikosta löytyy ensin asetustiedoston valinta ja tiedostosijainnin valinta luotavalle JT-tiedostolle. Seuraavana löytyy valinta tiedostojen järjestelylle ja halutaanko sisällyttää PMI osatasolla vai kokoonpanotasolla. Viimeisenä löytyy valinta tarkan geometrian sisällyttämiseksi. Tessellation välilehdeltä voidaan halutessa muuttaa mallin tessellaation asetuksia ja Data to Export välilehdeltä valinnat datan luomiseksi osatasolla tai kokoonpanotasolla, sekä vaihtoehto sisällyttää rautalankamalli.



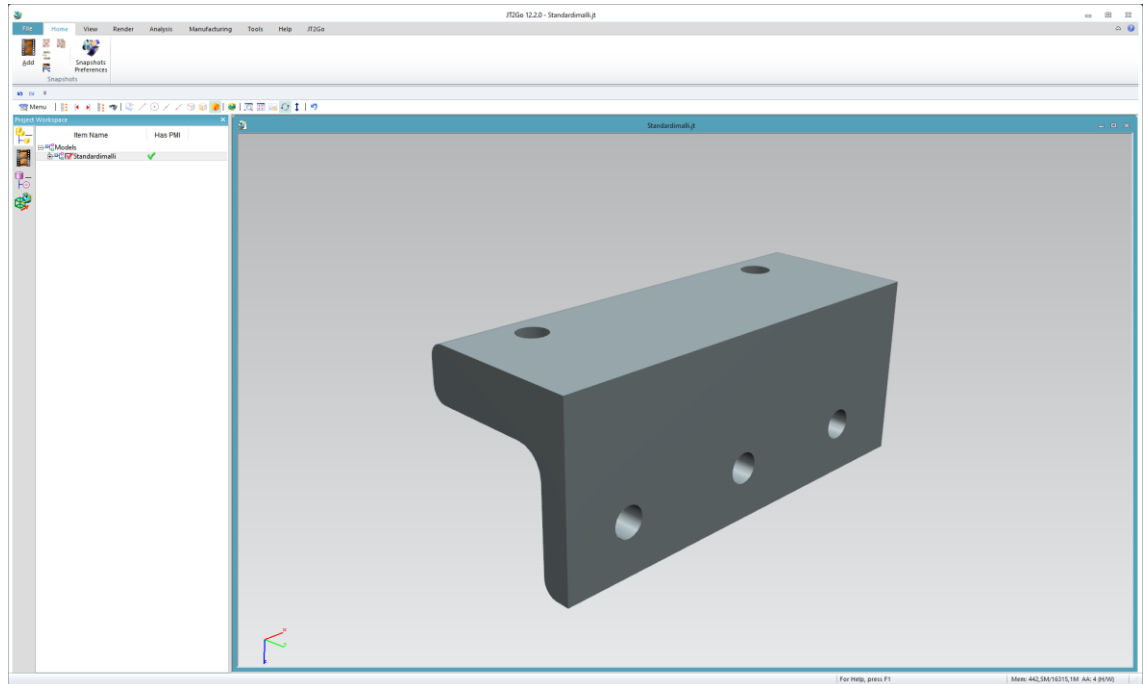
Kuva 20 JT-formaattiin viennin valikko

JT-formaattiin viedyn mallin tiedostokokoaa tarkasteltaessa huomataan, että Siemens ei turhaan mainosta formaattiaan kevyeksi, sillä JT-tiedoston koko on vain 65KB verrattuna alkuperäiseen Siemens Part Fileen, jonka koko on 2485KB eli noin 38-kertainen.

Tarkasteltaessa JT-tiedostoa Siemens NX:llä, huomataan sen sisältävän kaikki samat merkinnät ja kuvannot kuin alkuperäinen kappale, ainoa huomattava muutos on mallipuun historian puuttuminen, eli vaikka tiedostoon sisällytettiin tarkka geometria, ei se sisällä mallin luontihistoriaa.

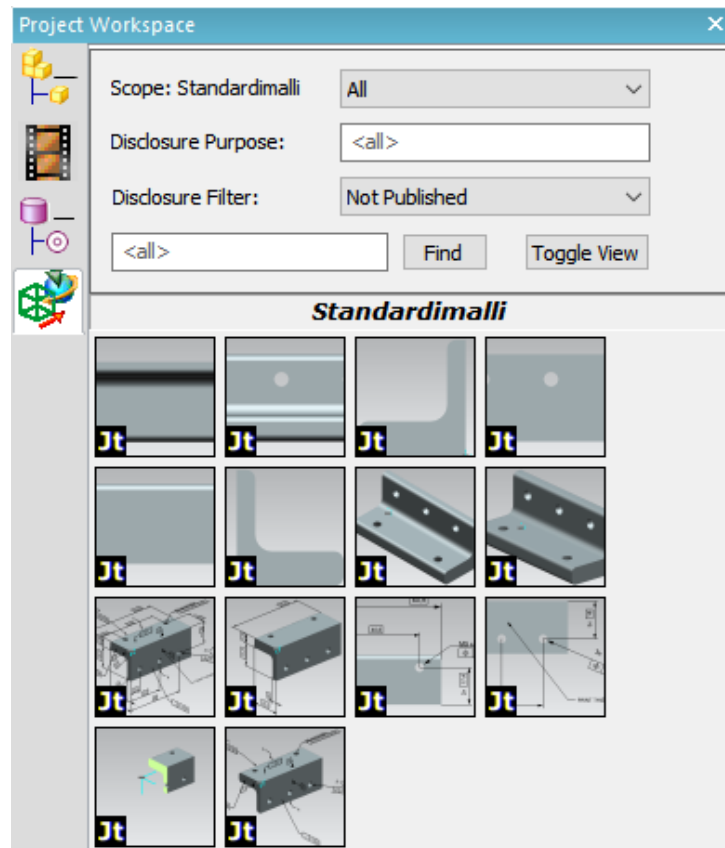
Testataan seuraavaksi mallin toimintaa erillisessä JT-formaatille kehitetyssä katseluohjelmassa nimeltä JT2Go. Ohjelma on saatavilla ilmaiseksi Windowsille, Androidille ja iOSille Siemensin verkkosivuilta (Siemens PLM 2019). Sivustolla on myös tarjolla lisäosa Adoben Acrobat Readerilla, jolla voidaan avata samanaikaisesti tarkasteltavaksi PDF-tiedosto ja siihen liitetty JT-tiedosto. Windows version asennustiedosto on kooltaan 230MB ja latautuu tietokoneelle ripeästi. Asennus on vaivatonta ja Siemens tarjoaa sivuillaan ”hiljaisen asennuksen”-skriptiä helpottamaan suuremman volyymin asennusta.

Avataan mallista luotu JT-tiedosto JT2Go-ohjelmalla. Kuvassa 21 nähdään oletusnäkyvä tiedoston avauksen jälkeen.



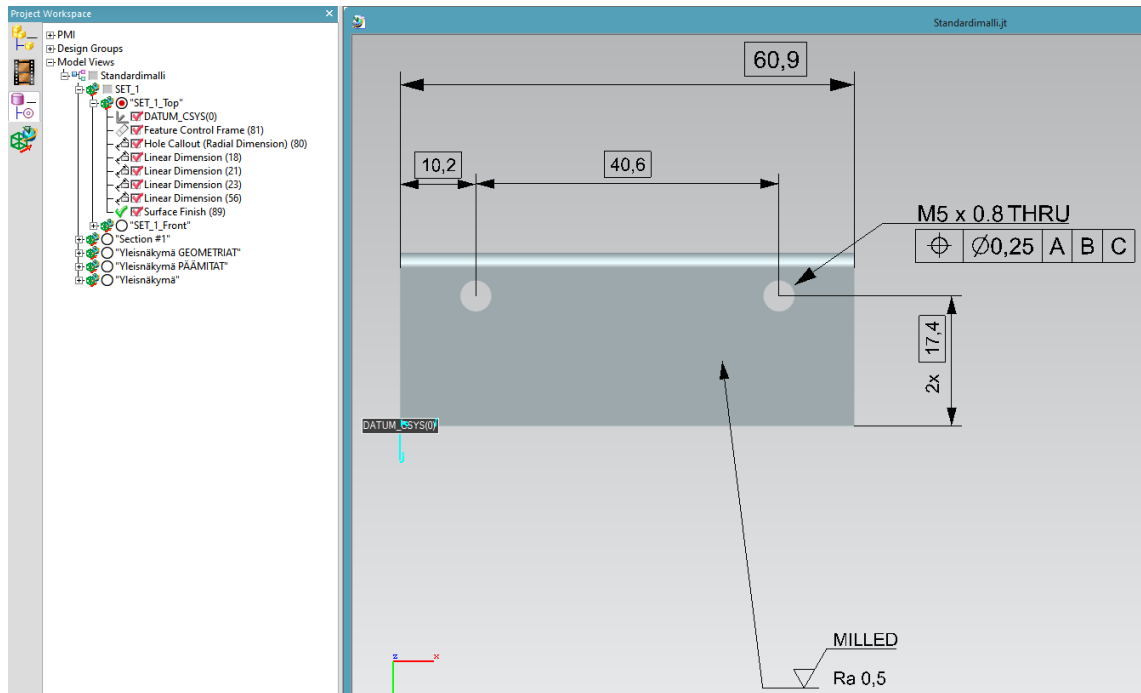
Kuva 21 Malli avattuna JT2Go-ohjelmassa

Aluksi mallissa ei ole näkyvissä kuin runko, mutta ohjelma näyttää, että malli sisältää PMI-dataa vihreällä oikeinmerkillä. Jotta mallin kuvannot ja siten PMI-data saadaan merkintöinä näkyviin, täytyy kuvannot käydä hakemassa manuaalisesti vasemman laidan Model Views valikosta. Valikosta voidaan valita, kuinka laajalta kuvantoja halutaan hakea. Haetaan kaikki mahdolliset kuvannot valitsemalla vaihtoehto All ilman suodatuksia. Ohjelma hakee kuvannot ja listaa ne hakukentän alle. Kuvassa 22 nähdään haun tulokset.



Kuva 22 Mallista haulla löytyneet kuvannot

Kuvannoista 6 alinta tunnistetaan CAD:ssä luoduiksi kuvannoiksi, jotka sisältävät merkintöjä. Hiiren oikealla painikkeella voidaan valita pääkuvauksesta Show in PMI Tree, jolloin ohjelma siirtää käyttäjän PMI välilehdelle ja näyttää samanlaisen näkymän kuvannoista kuin Siemens NX:ssä, jossa nähdään kaikki kuvannot ja niiden sisältämät PMI-merkinnät. Kuvauksia voidaan aktivoida painamalla tyhjää ympyrää kuvauksen nimen vieressä. Kuvassa 23 nähdään Top-kuvaus valittuna ja sen sisältämät merkinnät ja näkymä ohjelmassa.



Kuva 23 Kuvannot PMI välilehdessä, Top-kuvaus valittuna

Mallia voidaan käsitellä ohjelmassa vapaasti pyörittäen ja zoomaten, mutta näkyvissä olevat PMI-merkinnät eivät automaattisesti käänny oikein katsontasuuntaa kohti. Manufacturing välilehdeltä löytyy komento Text, jolla voidaan kääntää tekstit luettavaksi katsontasuunnasta. Sieltä löytyy myös työkaluja merkintöjen valintaan ja lista suodattaa tietyn tyyppin merkintöjen näkyvyyttä. Analysis välilehdeltä löytyy työkaluja mallin mittaamiseen, kuten pituus-, kulma- ja sädemittauksille. Mallista voidaan myös tarkastella päätasojen suuntaisia leikkauksia 3D Section -työkalulla. Katseluohjelman toimivuus yleisesti on hyvää ja sulavaa, sekä sillä saa tarkasteltua mallia hyvin.

5. YHTEENVETO

Malliperustainen tuotemäärittely ei uutuutensa vuoksi ole toistaiseksi laajassa käytössä. Ottaen kuitenkin huomioon sen herättämän kiinnostuksen ja nopean kehityksen auto- ja ilmailuteollisuudessa on kuitenkin odotettavaa, että se alkaa vakiintua käyttöön ajan kuluessa. Yhteensopivilla ohjelmistoilla voidaan lieventää kynnystä siirtyä malliperustaiseen tuotemäärittelyyn ja Siemens NX onnistuu hyvin tuottamaan standardien vaatimat merkinnät malleihin.

Työkalut PMI-merkintöjen luomiseksi ovat selkeitä ja helppokäyttöisiä. Vaikka merkintöjen asettelu on hieman työläämpää, voidaan kokonaisuutena säästää kustannuksissa malliperustaiseen tuotemäärittelyyn siirtymällä. Isona lisänä on mahdollisuus jatkokäyttää tuotemallin sisältämää dataa useissa eri vaiheissa tuotteen elinkaaren aikana, millä vähennetään uudelleen tuottamisen hukkaa.

Tuotemallien jakaminen ja tarkastelu on tehty helpoksi erillisten katseluohjelmien ansiosta. Ilmaisilla ohjelmilla malleja voidaan pyörittää ja zoomata vapaasti kuin CAD-ohjelmassa, joka helpottaa tulkintaa ja ymmärtämistä etenkin asian ollessa uutta. Myös assosiatiiviset merkinnät auttavat ymmärtämään merkintöjä paremmin korostamalla merkintään liittyvät elementit värein.

LÄHTEET

Alemanni, M., Destefanis, F. & Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.52(1–4), pp.1–14.

ASME Y14.41 (2003). *Digital Product Definition Data Practices*, ASME, American Society of Mechanical Engineers, New York.

Camba J., Contero M., Johnson M. (2014). Management of Visual Clutter in Annotated 3D CAD Models: A Comparative Study. *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Diverse Interaction Platforms and Environments. DUXU 2014*. pp. 405–416

Fischer, B.R. (2011). The changing face of CAD annotation. Cleveland: Informa, Vol.83(5), pp. 46–49.

Frechette, S. (2011). Model Based Enterprise for Manufacturing. 44th CIRP international conference on manufacturing systems.

Price, A.M. (1998). Virtual Product Development - Case Study of the T-45 Horizontal Stabilator, *AIAA*, Vol.4, pp.3041–3051.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F. & Kheddouci, F. (2010). Will Model-Based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry, *Computers in Industry*, Vol. 61(5), pp. 497–508.

Rapinoja, J. (2016). Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet, METSTA, Saatavissa (viitattu 18.9.2019) http://www.metsta.fi/ajankohtaista/Utisia/MBD_Raportti_2016.pdf

SFS-ISO 16792 (2016). Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt, Suomen standardoimisliitto, Helsinki

Siemens PLM 2011, Product and Manufacturing Information (PMI), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.9.2019) https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9645_tcm1023-4581.pdf

Siemens PLM 2019, JT2Go, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.10.2019) <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/plm-components/jt2go.html>