

Henri Särkisilta

3D-mallinnusohjelmistojen vertailu ajoneuvo- tekniikan korkeakouluympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

9.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Henri Särkisilta 3D-mallinnusohjelmistojen vertailu ajoneuvotekniikan korkeakouluympäristössä
Sivumäärä Aika	89 sivua + 2 liitettä 9.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Harri Santamala
<p>Tässä opinnäytetyössä vertaillaan kolmea eri ajoneuvoteollisuudessa käytettyä 3D-mallinnusohjelmistoa ja niiden soveltuvuutta ammattikorkeakoulukäyttöön. Vertailuun valitut ohjelmistot ovat CATIA V5, NX 10.0 ja Creo Parametric 3.0.</p> <p>Eurooppalaisten autovalmistajien CAD/CAE-markkinoita on perinteisesti hallinnut Dassault Systemesin kehittämä CATIA. Viime vuosina tätä asetelmaa ovat haastaneet kilpailijat, ja viimeisimmän versiopäivityksen yhteydessä osa autovalmistajista on siirtynyt käyttämään muiden kehittäjien ohjelmistoja. Tästä syystä myös Metropolia Ammattikorkeakoulussa on arvioitava, mitä ohjelmistoa tulisi käyttää ajoneuvotekniikan 3D-mallinnuksen opetuksessa. Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää ohjelmistojen mallinnustekniset eroavaisuudet ja se, miten ne mahdollisesti vaikuttavat ohjelmiston käyttöönottoon tutkinto-ohjelmassa.</p> <p>Työn alkuosassa on selvitetty CAD/CAE-mallintamisen tarjoamia mahdollisuuksia ja sitä, miten ne pystyvät palvelemaan tutkinto-ohjelmassa asetettuja tavoitteita. Lisäksi on kuvattu suunnittelun ja valmistuksen välistä yhteyttä sekä millaisia haasteita se on asettanut ohjelmistokehittäjille ja autovalmistajille. Lopuksi ohjelmistot ja niiden kehittäjät on esitelty lyhyesti, kuten niiden asema markkinoilla, ohjelmistojen tunnuspiirteet sekä niiden tarjoamat edut. Tämän osan tarkoituksena on osoittaa lukijalle, että mallinnusohjelmiston valinta yrityksissä ei pelkästään perustu sen mallinnusteknisiin ominaisuuksiin.</p> <p>Työn toisessa osassa ohjelmistojen mallinnusteknisiä ominaisuuksia on käyty läpi vertailemalla ja toteuttamalla käytännön mallinnuksia. Ohjelmistojen käytettävyyttä vertaillaan perusmoduuleissa, jotka ovat lähes poikkeuksetta samat kaikissa ohjelmistoissa.</p> <p>Lopuksi todetaan, että ammattikorkeakoulutasoisessa käytössä NX tarjoaa helppokäyttöisimmän mallinnusympäristön. Ohjelmistojen mallinnustekniset erot eivät perusmallintamisessa eronneet merkittävästi, joten ohjelmiston valinnassa on syytä arvioida niiden ei-tekniisiä ominaisuuksia.</p>	
Avainsanat	3D-suunnittelu, mallintaminen, ajoneuvosuunnittelu, CAD

Author(s) Title Number of Pages Date	Henri Särkisilta Comparison of the 3D Design Softwares in the Automotive College Environment 89 pages + 2 appendices 9 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, Project Manager
<p>This Bachelor's thesis compares the three main 3D design software used in the automotive industry and how they suit for the use of the automotive engineering college. The software selected for this comparison are CATIA V5, NX 10.0 and Creo Parametric 3.0.</p> <p>CATIA, developed by Dassault Systemes, has traditionally lead the CAD/CAE-markets for the European car manufacturers. For the past years, this lead has been challenged by other developers, and during the latest version upgrade, some of the manufacturers have changed their software to other developers' products. For this reason, Metropolia University of Applied Sciences shall also evaluate which software it should use in its automotive CAD/CAE -classes. The aim of this Bachelor's thesis was to find out the technical differences of the software and how they possibly affect the adoption in the degree program.</p> <p>In the beginning part of the thesis, the possibilities of CAD/CAE-designing are explored and how they can serve the goals of the degree program. Additionally, the connection between product development and manufacturing is described and what type of challenges it has cast for software developers and car manufacturers. Finally, the software and the developers have been introduced shortly such as how they position in the markets, what are the special features of the software and what benefits they can offer for the user. The purpose of this part was to demonstrate that companies do not necessary choose the software fully based on the designing properties.</p> <p>The second part of the thesis considers the technical properties of the software by comparing and implementing them to a practical design work. The use of the software is compared in the fundamental modules which are almost exclusively the same in every software.</p> <p>As an outcome of this thesis, NX offers the best ease-of-use in CAD-design. The technical differences of the software didn't differ substantially and therefore the non-technical aspects of the software should be considered.</p>	
Keywords	3D design, modeling, vehicle engineering, CAD

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-mallintaminen	3
2.1	Tietokoneavusteinen suunnittelu	3
2.2	Suunnittelun ja tuotannon välinen yhteys	4
2.3	Piirreohjainmallinnus ja parametrisuus	5
3	Vertailtavat ohjelmistot	7
3.1	Ohjelmistojen valinta	7
3.2	CATIA	8
3.3	Siemens NX	10
3.4	PTC Creo Parametric	12
4	Mallinnustekniset eroavaisuudet ja vertailu	14
4.1	Käyttöliittymä	14
4.2	Tasopiirtäminen	20
4.3	Osamallinnus	30
4.4	Kokoonpanomallinnus	43
4.5	Työpiirustuksien luonti	54
4.6	Pintamallintaminen	67
4.7	Ohutlevymallintaminen	76
5	Tulokset ja päätelmät	86
	Lähteet	88

Liitteet

Liite 1. Järjestelmävaatimukset

Liite 2. Vertailussa toteutetut työt

Lyhenteet

CAD	<i>Computer-aided design.</i> Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAE	<i>Computer-aided engineering.</i> Tietokoneavusteinen tekniikka, joka kattaa piirtämisen lisäksi myös simuloinnit.
CAM	<i>Computer-aided manufacturing.</i> Tuotannossa käytettyjen ohjelmistotyökalujen kategoria.
CATIA	<i>Computer-aided Three-dimensional Interactive Application.</i> Dassault Systemesin kehittämä 3D-mallinnusohjelmisto.
EDA	<i>Electronic Design Automation.</i> Sähkötekniikassa käytettyjen ohjelmistotyökalujen kategoria.
DPD	<i>Digital Product Development.</i> Digitaalinen tuotekehitys.
MDA	<i>Mechanical Design Automation.</i> Konetekniikassa käytettyjen ohjelmistotyökalujen kategoria.
MPM	<i>Manufacturing Process Management.</i> Valmistusprosessin hallinta.
NX	Siemens PLM Softwaren kehittämä 3D-mallinnusohjelmisto.
OEM	<i>Original equipment manufacturer.</i> Alkuperäinen laitevalmistaja.
PDM	<i>Product Data Management.</i> Tuotetiedon hallinta.
PLM	<i>Product Lifecycle Management.</i> Tuotteen elinkaaren hallinta.
PTC	<i>Parametric Technology Corporation.</i> Amerikkalainen 3D-suunnitteluohjelmistoihin erikoistunut ohjelmistoalan yritys.

1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelmaan kuuluu osana tietokoneavusteinen 3D-mallintaminen. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää markkinoilla olevien eri ohjelmistojen mallinnustekniset eroavaisuudet ja soveltuvuus ammattikorkeakoulutasoiseen käyttöön ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelmassa. Selvityksessä ilmenneitä mallinnusteknisiä eroavaisuuksia voidaan ottaa huomioon 3D-ohjelmiston valitsemisessa muiden vaikuttavien tekijöiden ohella. Työhön valittiin kolme samoilla markkinoilla toimivaa ohjelmistoa: CATIA, NX ja Creo Parametric.

Ajoneuvotekniikan ajoneuvosuunnittelun suuntautumisvaihtoehtoon Metropolia Ammattikorkeakoulussa on vuodesta 2014 lähtien sisällytynyt 5 opintopistettä CAD/CAE-suunnittelua. Euroopan unionin sisäisen standardin mukaan tämä vastaa noin 133 tunnin työpanosta (Valtioneuvoston asetus yliopistojen tutkinnoista 2004: 5 §). Tämän työmäärän puitteissa opiskelijan on määrä oppia ymmärtämään 3D-mallintamisen perusteet käyttämällä jotakin markkinoilla olevaa mallinnusohjelmaa. Perusteet opittuaan opiskelija osaa mallintaa 3D-konstruktioita ja luoda näistä kokoonpanoja, ymmärtää mallintamisen logiikka ja tietää miten valmistuksessa tarvittavat tuotedokumentit tehdään (Ajoneuvotekniikan opetussuunnitelma 2014).

3D-mallinnusohjelmistoilla on eri ominaisuuksia ja vahvuuksia toisiinsa nähden, joten siksi niiden käyttötarkoitus teollisuudessa vaihtelee. Tässä työssä keskityttiin vertailemaan ohjelmistojen perustavanlaatuisia CAD-ominaisuuksia, jotka tosin ovat vain yksi osa-alue koko tuotteen tarjoamista ominaisuuksista. Vertailtuja CAD-ominaisuuksia olivat käyttöliittymä, kaksiulotteisten piirustuksien piirtäminen, kolmiulotteisten osien mallinnus, kokoonpanomallinnus, työpiirustuksien luonti, pintamallinnus ja ohutlevymallinnus.

Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan ohjelmassa on päädytty käyttämään CATIA-mallinnusohjelmistoa pääosin paikallisen työelämän tarpeesta. Työelämä-orientoitunut tutkinto-ohjelma pyrkii valinnallaan antamaan opiskelijoille parhaimmat mahdolliset edellytykset sijoittua paikalliseen työelämään. (Santamala 2016). Suomessa CATIA-ohjelmistoa ovat käyttäneet muun muassa Valmet Automotive ja Sisu Auto.

CATIA on perinteisesti hallinnut myös suurien eurooppalaisten autoalan OEM-yrityksien markkinoita, kun taas NX:llä on ollut parempi asema kotimarkkinoillaan Yhdysvalloissa. Taulukossa 1 on esitetty suurimpien valmistajien käyttämät ohjelmistot vuonna 2010. On huomionarvoisaa se, että isot toimijat pysyttelevät pitkään saman ohjelmiston parissa, eikä ohjelmiston valinta perustu pelkästään mallinnusteknisiin ominaisuuksiin. Esimerkiksi vuonna 2014 Daimlerin siirtyessä käyttämään NX:ää, aiheutti se yli 6000 työntekijän uudelleenkouluttamisen ja huomattavia muutoksia tuotekehitykseen. NX:n yksi merkittävistä eduista onkin se, että moni valmistajista käyttää tuotetiedon hallintaan (PDM, Product Data Management) ja valmistusprosessin hallintaan (MPM, Manufacturing Process Management) saman yrityksen kehittämiä Teamcenter- ja Tecnomatix-ohjelmistoja. (Ogwell 2014.)

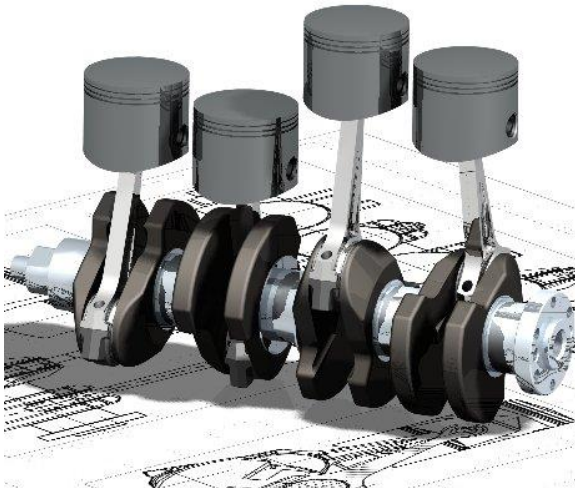
Taulukko 1. Suurimpien autoalan OEM-yrityksien käyttämät ohjelmistot vuonna 2010 (PLM World Conference 2010).

Valmistaja	CAE	PDM	MPM
Toyota	CATIA / Creo	In-house	Delmia/Tecnomatix
GM	NX	Teamcenter	Tecnomatix
Ford	CATIA	Teamcenter	Tecnomatix
VW/Audi	CATIA / Creo	Teamcenter	Tecnomatix
Hyundai	CATIA / Creo	Open/Teamcenter	Delmia/Tecnomatix
Honda	CATIA	Teamcenter/Enovia	Delmia/Tecnomatix
Nissan	NX	Teamcenter	Delmia/Tecnomatix
PSA	CATIA	Enovia	Delmia/Tecnomatix
Fiat	NX	Teamcenter	Tecnomatix
Renault	CATIA	Teamcenter/Enovia	Tecnomatix
Suzuki	NX	Teamcenter	Tecnomatix
Chrysler	NX	Teamcenter	Delmia/Tecnomatix
Daimler	CATIA	Teamcenter	Delmia/Tecnomatix
BMW	CATIA	Open/Teamcenter	Delmia/Tecnomatix
Mitsubishi	CATIA	Open/Teamcenter	Delmia
Mazda	NX	Teamcenter	Tecnomatix

2 3D-mallintaminen

2.1 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Tietokoneavusteisella suunnittelulla eli CAD-suunnittelulla (engl. Computer-aided design) tarkoitetaan tietokoneen käyttöä apuvälineenä suunnittelutyössä, kuten esimerkiksi jonkin mallin luomisessa, muokkaamisessa, analysoinnissa tai optimoinnissa. CAD-ohjelmistolla parannetaan suunnittelijan tuottavuutta, saadaan selkeämpi kuvaus mallista ja voidaan luoda tietokantoja valmistukseen. Ohjelmisto tuottaa useimmiten virtuaalisen tiedoston, jota voidaan käyttää tulostukseen, koneistukseen tai muuhun valmistusoperaatioon. (Narayan 2008: 3–4.) Kuvassa 1 on annettu esimerkki CAD-ohjelmalla luodusta mallista.



Kuva 1. NX:llä luotu kokoonpanomalli (Freeformer 2005).

Tietokoneavusteista mallinnusta käytetään monilla eri aloilla. Sähkötekniikassa käytetyt ohjelmistot tunnetaan paremmin nimellä EDA (Electronic Design Automation) ja valmistustekniikan ohjelmat CAM:nä (Computer-aided Manufacturing). Konetekniikassa ohjelmista käytetään nimitystä CAD tai MDA (Mechanical Design Automation). CAD on digitaalisen tuotekehityksen eli DPD:n (Digital Product Development) alakategoria osana laajempaa tuotteen elinkaaren hallinnan (PLM, Product Lifecycle Management) prosessia. Sitä käytetään yhdessä muiden työkalujen kanssa, jotka ovat joko samaan tuotteeseen integroituvia moduuleita tai erillisiä tuotteita, joita ovat muun muassa

- elementtimenetelmän analyysi (FEA, Finite Element Analysis)

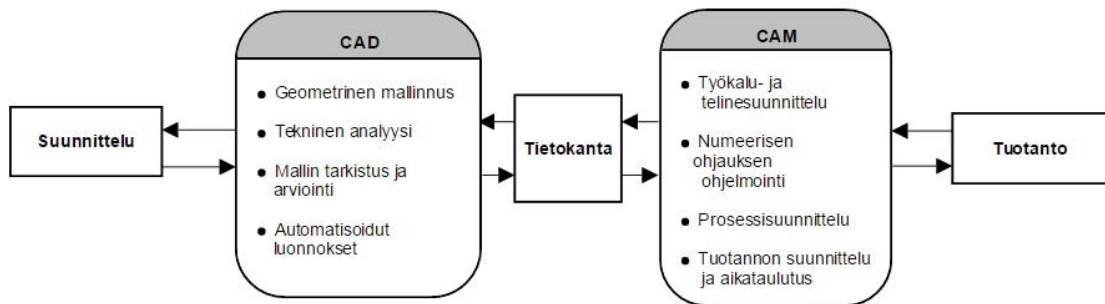
- numeerinen virtausdynamikka (CFD, Computational Fluid Dynamics)
- monikappaledynamiikka (MBD, Multibody Dynamics)
- optimointi.

Ohjelmiston sisältäessä yllämainittuja työkaluja CAD-mallinnuksen lisäksi, kutsutaan sitä yleisemmin nimellä CAE (Computer Aided Engineering). (Raphael & Smith 2003.)

2.2 Suunnittelun ja tuotannon välinen yhteys

Yksi tärkeimpiä CAD-ohjelmistolta vaadittuja ominaisuuksia on sen tarjoama mahdollisuus tietokannan luomiseen tuotteen valmistusta varten. Perinteisessä valmistusprosessissa erilliset piirtäjät valmistelivat rakennepiirustukset, joita tuotantoinsinöörit käyttivät tuotannon prosessisuunnitelman tekoon. Tuotteen suunnitteluun liittyvät toiminnot olivat selkeästi erillään valmistukseen liittyvistä toiminnoista, ja tuotteen prosessi suunnittelu-
pöydältä valmiiksi tuotteeksi oli selkeästi kaksivaiheinen. Käytännössä tämä oli aikaa vievää sekä vaati suunnittelu- ja tuotantoinsinöörejä toteuttamaan samoja operaatioita useaan kertaan.

Integroidussa CAD/CAM-järjestelmässä muodostetaan suora yhteys tuotteen suunnittelun ja tuotannon välille. CAD- ja CAM-ohjelmistojen tavoitteena ei ole vain automatisoida tiettyjä suunnitteluun ja tuotantoon liittyviä vaiheita, mutta myös helpottaa tuotteen siirtymistä suunnittelusta tuotantoon. Valmistuksessa käytetty tietokanta on integroitu CAD/CAM-tietokanta. Se sisältää kaikki suunnittelussa määritellyt tiedot tuotteelle, kuten muun muassa geometriset määrittelyt, materiaali ja kokoonpano listaukset, sekä materiaalmäärittelyt. Lisäksi se sisältää tuotteen valmistukseen liittyvän tiedon, joka pitkälti perustuu tuotteen suunnittelussa annettuihin määrittelyihin. Kuvassa 2 on esitetty miten CAD/CAM-tietokanta liittyy tuotteen suunnitteluun ja valmistukseen. (Narayan 2008: 18–19.)

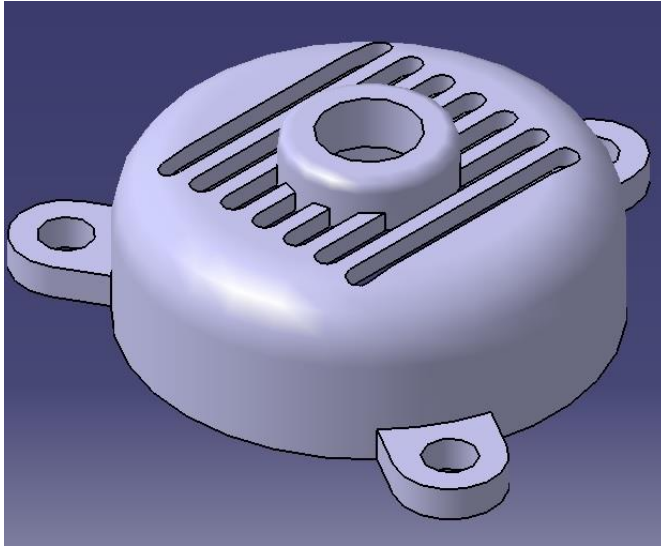


Kuva 2. CAD- ja CAM-ohjelmistojen välinen yhteys tietokannan kautta.

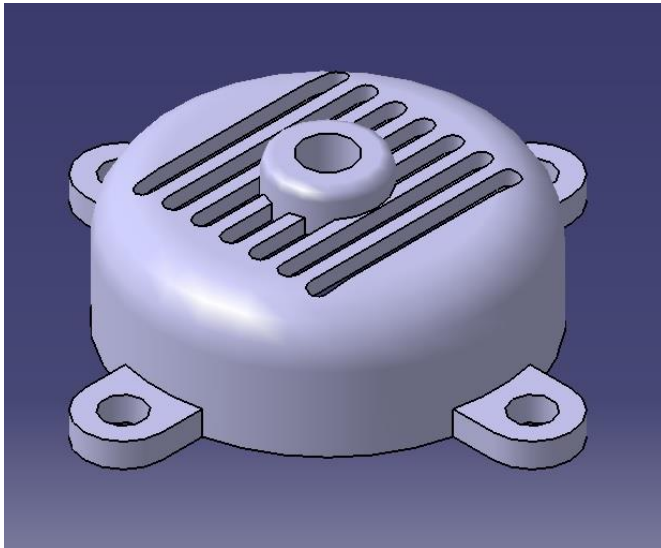
2.3 Piirreperohjainen mallinnus ja parametrisuus

Kaikki tässä työssä vertailtavat ohjelmistot ovat piirreperohjaisia. Mallinnuksessa piirteellä tarkoitetaan muokattavaa mallin rakenneosasta, jota voidaan muokata yksilökohtaisesti. Piirreperohjaisessa CAD-ohjelmistossa luotu malli perustuu lukuisiin piirteisiin joko suorasti tai epäsuorasti, ja niitä voidaan muokata missä tahansa mallinnusvaiheessa. Mikäli mallinnustyö toteutetaan oikeaoppisesti sen päämäärä huomioon ottaen, piirteet mukautuvat automaattisesti niiden ympäristössä tapahtuvien muutoksien mukaan. Esimerkki tällaisesta toiminnosta on vakiokorkuisen sylinterin pohjan pinta-alan muuttuminen sen tilavuutta muutettaessa. Jo yksinkertaisessa mallissa voi olla satoja muokattavia piirteitä. (Tickoo 2014: 6.)

Ohjelmiston parametrisuudella tarkoitetaan sen kykyä käyttää annettuja parametreja mallin geometrian määrittelyyn. Tämän ominaisuuden pääasiallinen käyttötarkoitus on muuttaa valitun geometrian kokoa tai muotoa riippumatta sen alkuperäisistä mitoista. Mallin parametreja voidaan muuttaa mallinnuksen kaikissa vaiheissa, mikä tekee mallinnusprosessista hyvin helppoa. Kuvissa 3 ja 4 on demonstroitu mallin mukauttamista parametrisesti. Kuvissa näkyvän kiinnityskohtien määrän ja keskireiän halkaisijan arvoja on muutettu.



Kuva 3. Alkuperäinen malli.

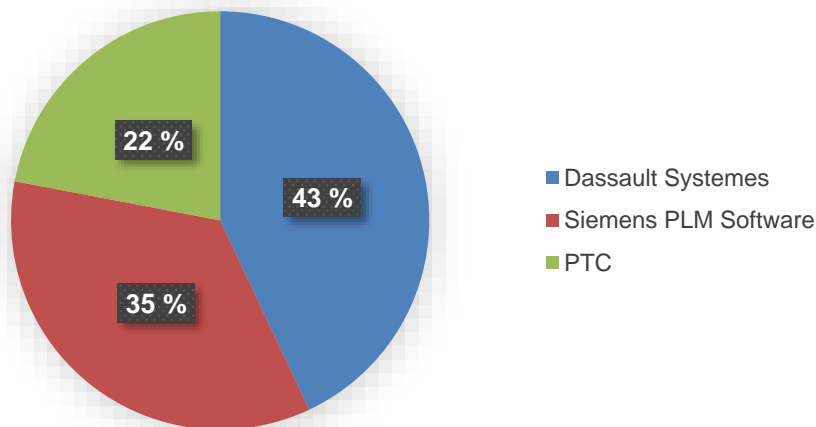


Kuva 4. Muokattu malli.

3 Vertailtavat ohjelmistot

3.1 Ohjelmistojen valinta

Vertailtavaksi valittiin kolme autoteollisuuden OEM-valmistajien käyttämää CAD-ohjelmistoa: ranskalaisen Dassault Systemesin kehittämä CATIA, Teksasissa päämajaansa pitävän Siemens PLM Softwaren NX (aikaisemmin tunnettu Unigraphics) sekä Massachusettsilaisen PTC:n (Parametric Technology Corporation) Creo. Dassault Systemesin markkinaosuus kaikkia kolmea kehittäjää vertailtaessa samoilla markkinoilla oli suurin vuonna 2011 (kuva 5). Suuret valmistajat suosivat näitä ohjelmia muun muassa siksi, että ne ovat tehokkaita käsittelemään isoja kokoonpanoja ja useat käyttäjät voivat tehdä niihin muutoksia samanaikaisesti. Lisäksi ne sisältävät erittäin korkeatasoisia simulointi- ja pintamallinnustyökaluja. Voidaankin sanoa, että mitä monimutkaisempia kokonaisuuksia halutaan mallintaa, sitä paremmin kyseisten ohjelmistojen hyödyt tulevat ilmi.



Kuva 5. Vertailtavien ohjelmistojen kehittäjien markkinaosuus toisiinsa nähden (Maher 2012).

Ajoneuvoteollisuudessa on todellisuudessa käytössä lukuisia eri CAD-ohjelmistoja. Suurin ongelma onkin ohjelmien yhteensopivuudessa: esimerkiksi ohjelmasta toiseen siirretty putkielementti saattaakin muuttua pelkäksi viivaksi. Eniten tämä aiheuttaa ongelmia suunnittelutoimistoille, koska tyypillisesti 100–200 hengen insinööritoimistossa on käytössä 5–6 erilaista ohjelmaa. Jokaisella CAD-ohjelmistolla on siis omat ominaisuutensa ja käyttötarkoituksensa, eikä esimerkiksi pienen suunnittelutoimiston ole järkevää hankkia yhtä korkean hintatason tuotetta. Suunnittelutoimistojen asiakkaat saattavat valikoida käytettävissä olevien CAD-ohjelmistojen perusteella. (Leino 2006.)

Yhteensopivuusongelmat koskevat myös korkeakouluja, kun ne valitsevat CAD-ohjelmistoa käytettäväksi 3D-mallintamisen opetuksessa. Opetukselle asetettujen tavoitteiden ja käytettävissä olevan työmäärän puitteissa useampaan kuin yhteen ohjelmistoon perehdyttäminen on käytännössä poissuljettua. Siksi ohjelmistoa valittaessa on muun muassa seuraavat tekijät otettava huomioon

- ohjelmiston tekninen toteutus
- ohjelmiston käytön oppimisnopeus
- opiskelijoiden sijoittuminen työelämässä
- paikallisten yritysten käyttämät ohjelmistot
- toimittajan antama tarjous.

Tässä työssä tullaan keskittymään kahteen ensimmäiseksi mainittuun tekijään, ja niitä tullaan vertailemaan suhteessa korkeakoulun asettamiin oppimistavoitteisiin. Vertailuun valitut ohjelmistot valittiin pääosin siksi, että kolme jälkimmäistä tekijää puoltavat niiden käyttöönottoa Metropolia Ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelmassa (Santamala 2016).

3.2 CATIA

Vuonna 1981 Ranskassa perustettu Dassault Systemes kehittää ja markkinoi PLM-ohjelmistoja teollisuuden eri prosesseihin. Yrityksen päätuotteena tunnettu CATIA kehitettiin alun perin ilmailuteollisuuden tarpeisiin, mutta alkoi saamaan huomiota myös alan ulkopuolelta eritoten ajoneuvoteollisuudesta. Menestys johtavan ilmailuteollisuuden suuryritys Boeingin kanssa sai suuret OEM-valmistajat (kuten Honda, Mercedes ja BMW) kiinnostumaan CATIAN hyödyntämisestä heidän omissa prosesseissaan. Alkoi Dassault Systemesin ja valmistajien välinen kehitystyö, joka on taannut CATIAN johtoaseman markkinoilla vuodesta 1995 lähtien. (Menezes 2010).

CATIA on Dassault Systemesin PLM-ohjelmistojen perusta. Se käsittää useimmat tuotekehityksen tasot kuten mallinnuksen (CAD), laskennan ja simuloinnit (CAE) sekä tuotannon (CAM). Näin ollen se tekee eri osastojen välisestä yhteistyöstä mahdollisimman sujuvaa, minkä lisäksi ohjelmiston vahvuuksiin kuuluvat kehittyneet pintamallinnustyö-

kalut ja parametrisointi. Piirreperustaisena ohjelmistona mallia muokkaavat arvot tallennetaan tietokantaan, jota käsitellään ohjelmiston sisäänrakennettujen moduulien (workbench) avulla. Moduulit (kuva 6) ovat erikoistuneet johonkin suunnittelun osa-alueeseen ja erilaisia moduuleita ohjelmistossa on useita kymmeniä. Ostaessaan ohjelmiston asiakas valitsee pakettiin sisällytettävät moduulit, eli ohjelmiston funktionaalisuus on mahdollisuus säätää juuri sen tasoiseksi kuin asiakas sitä tarvitsee.



Kuva 6. CATIAN eri moduuleita.

Yleisimmin käytetyt ja tässä työssä vertailtavat moduulit ovat kaksiulotteista piirteitä määrittävät tasopiirroukset (Sketcher), kolmiulotteinen osamallinnus (Part Design), kokoonpanot (Assembly Design), työpiirustukset (Drafting), pintamallinnus (Wireframe and Surface Design), ohutlevymallinnus (Generative Sheet Metal Design), kinematiikkamallinnus (DMU Kinematics) ja FreeStyle-mallinnus. On huomionarvoisaa, että CATIAan on saatavilla suuri määrä eri käyttötarkoitukseen suunnattuja työkalupaketteja, ja tässä työssä tarkastellut moduulit ovat ohjelmiston mukana tulevia perustyökaluja. Yrityksissä käytettävät moduulit saattavatkin poiketa merkittävästi tämän työn puitteissa tehdystä vertailusta.

Työssä käytetty versio on CATIA V5. Kyseinen versio on tällä hetkellä tutkinto-ohjelman käytössä, joten tätä pyritään käyttämään muiden ohjelmien vertailukohtana. CATIAsta on myös julkaistu uudempi V6-versio, mutta monet yritykset suosivat edelleen vanhempaa V5-versiota tai vielä vanhempaa V4:ää. V6:n eroa V5:een on kritisoitu liian radikaalina ja sitä kautta versiopäivitys on toistaiseksi jätetty tekemättä kustannussyihin vedoten. Uusimmassa versiossa on myös pyritty suosimaan Dassault Systemesin Enovia PDM-tuotetta, mikä on osaltaan aiheuttanut ristiriitoja OEM-valmistajien käyttämien ohjelmistojen kanssa (taulukko 1). Jotkin Dassault Systemesin asiakkaista (esim. Daimler,

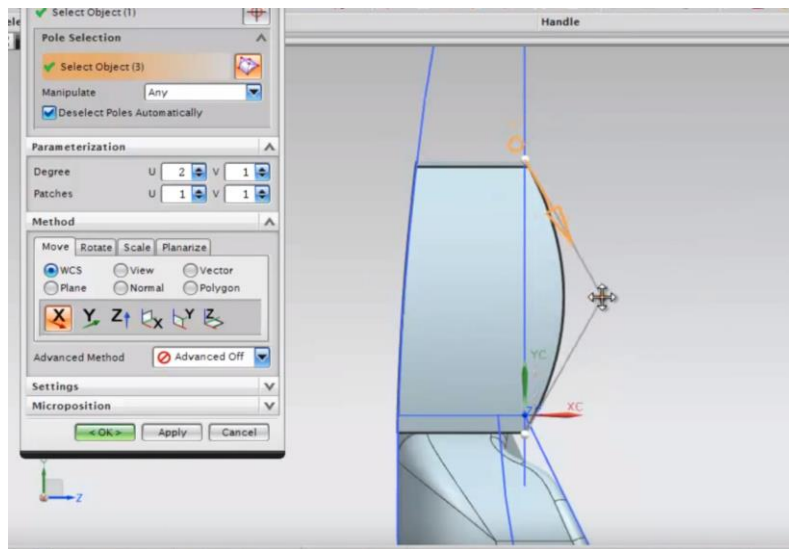
Chrysler) ovat ohjelmistopäivityksessään päätyneet vaihtamaan kokonaan Siemens NX:n tai muiden ohjelmistojen käyttöön. Vaikka CATIA V6:n ensimmäinen versio on julkaistu jo vuonna 2008 ja ohjelma sisältää lukuisia paranneltuja ominaisuuksia, yhteensopivuusongelmat hidastavat edelleen teollisuuden siirtymistä uudempaan versioon. (Wolfe 2012). Näistä syistä myös Metropolia Ammattikorkeakoulussa versiopäivitys on toistaiseksi jätetty tekemättä (Santamala 2016).

Ohjelmiston järjestelmävaatimukset on esitetty liitteessä 1. CATIA-ohjelmistoa Suomessa toimittavat Dassault Systemes, Rand Finland ja Technia (CAD/CAM/PLM/BIM-alan yritykset Suomessa 2015).

3.3 Siemens NX

Siemens PLM Software (aikaisemmin UGS) on Siemens AG:n strateginen liiketoimintayksikkö Texasissa, Yhdysvalloissa, ja se on maailman johtava tuotteen elinkaaren hallintaohjelmistojen tuottava yritys. Yrityksen tuoteportfolioon kuuluvat muun muassa CAD/CAM/CAE-ohjelmistopaketti NX (tunnetaan myös nimellä NX Unigraphics tai UG), tuotteen elinkaaren hallintaan keskittyvä Teamcenter, MPM-ohjelmisto Tecnomatix sekä keskitason markkinoille suunnattu 3D-mallinnusohjelmisto Solid Edge. (Siemens PLM Software 2016.)

NX:n vahvuus on sen käyttämässä suoran (Direct Modeling) ja piirrepohjaisen (Feature-based Modeling) mallintamisen yhdistävässä tekniikassa, jota kutsutaan myös synkronisena tekniikkana (Synchronous Technology). Suora mallintaminen tarkoittaa mallin muuttamista siten, että sen piirre- tai muokkaushistoriaa ei tunneta. Mallia voidaan muokata puhtaasti sen hetkiseen geometriaan perustuen, eikä esimerkiksi rajoitteita (constraints) tai hierarkiasuhteita tarvitse ottaa huomioon (kuva 7). Tällä tavoin monet operaatioista tulevat huomattavasti nopeammiksi ja muutoksia voidaan tehdä välittämättä miten malli oli alun perin suunniteltu. Erityisesti tämä vähentää yhteensopivuusongelmia kun esimerkiksi toisella CAD-ohjelmistolla suunniteltu malli tuodaan NX-ympäristöön tai suunnittelija joutuu työskentelemään mallin, jonka suunnittelulogiikkaa hän ei tiedä, parissa. Piirrepohjainen mallinnus toimii kumminkin edelleen mallintamisen perustana, mutta suoralla mallintamisella voidaan ratkoa monia käytännön ongelmia. (Siemens PLM Software 2016.)



Kuva 7. Kuvan geometriaa voidaan yksinkertaisesti mukauttaa yhdellä hiiren vedolla.

NX on muiden vertailtavien CAD-ohjelmistojen tavoin modulaarinen, eli se koostuu useista eri käyttötarkoituksiin tarkoitetuista työympäristöistä (environment). Tässä työssä tarkasteltuja työympäristöjä ovat mallinnusympäristö (Modeling Environment), piirustusympäristö (Sketching Environment), kokoonpanoympäristö (Assembly Environment), pintamallinnusympäristö (Surface Modeling), työpiirustuksen laatimisympäristö (Drafting Environment) ja ohutlevymallinnusympäristö (Sheet Metal Environment).

Tässä työssä käytetty versio on vuonna 2014 julkaistu NX 10.0, joka on myös kirjoitus-
hetkellä ohjelmiston uusin versio. Merkittävimmät uudistukset on tehty tuotesuunnittelun alkupäässä tapahtuvaan konseptisuunnitteluun uusilla NX Layout ja NX Realize Shape -työympäristöillä. Lisäksi esiteltiin uusi kosketusnäyttöliittymä, jolla suunnittelutyötä saadaan tehtyä monipuolisempaa ja helppokäyttöisempää. Uudet simulointimahdollisuudet ovat parantaneet erityisesti lentokoneiden moottori- ja rakennesuunnittelua. NX 10.0 tukee vanhoja versioita UG V18-versioon saakka. (Siemens PLM Software 2016.)

Ohjelmiston järjestelmävaatimukset on esitetty liitteessä 1. NX-ohjelmistoa Suomessa toimittaa Ideal Product Data (CAD/CAM/PLM/BIM-alan yritykset Suomessa 2015).

3.4 PTC Creo Parametric

PTC, Inc. (aikaisemmin Parametric Technology Corporation) on Yhdysvaltojen Massachusettsissa päämajaa pitävä ohjelmistoalan yritys. Vuonna 1985 perustettu yritys on erikoistunut kehittämään 2D- ja 3D-mallinnusohjelmistoja, tuotteen elinkaaren hallinta (PLM) -tuotteita sekä palvelunhallintaratkaisuja. Sen päätuotteita ovat CAE-ohjelmisto Creo, PLM-ohjelmisto Windchill, laskentaohjelmisto Mathcad, sovelluksen elinkaaren hallintaohjelmisto Integrity, serverin elinkaaren hallintaohjelmisto Sevigistics ja tekniseen dokumentaatioon tarkoitettu Arbortext. Liikevaihdon (1,4 miljardia USD, 2014) ja markkinaosuuden (kuvat 1 ja 5) perusteella kyseessä on vertailun pienin yritys (Financial Statements for PTC Inc. 2016).

Yritys julkaisi vuonna 2011 Creo-nimisen ohjelmistopakettin, joka on suunnattu erityisesti diskreetin tuotannon (valmistettavat tuotteet ovat erotettavissa toisistaan) tuotekehitykseen, kuten esimerkiksi ajoneuvojen, lentokoneiden, huonekalujen tai älypuhelimien suunnitteluun. Ohjelmisto on suora seuraaja yrityksen aikaisemmin kehittämälle Pro/ENGINEER -3D-mallinnusohjelmistolle, joka oli yksi ensimmäinen koneteollisuudessa käytetty parametreihin perustuva CAD-ohjelmisto. Ohjelmistopaketti sisältää applikaatioita tuotekehityksen ja -valmistuksen eri vaiheisiin, kuten muun muassa kaksiulotteiseen mallintamiseen (Creo Layout, Creo Sketch ja Creo Schematics), parametriseen mallintamiseen (Creo Parametric), suoraan mallintamiseen (Creo Direct), analyysiin ja laskentaan (Creo Simulate) sekä visualisointiin (Creo View MCAD/ECAD ja Creo Illustrate). Suunniteltavaa tuotetta voidaan joustavasti mallintaa samanaikaisesti eri applikaatioissa, mikä suoraviivaistaa suunnitteluprosessia. Tässä työssä on keskitytty 3D CAD-mallintamiseen suunnattuun PTC Creo Parametric -applikaatioon, josta on käytetty kirjoitushetkellä uusinta vuonna 2014 julkaistua PTC Creo Parametric 3.0 -versiota. Ohjelmiston kehittäjä on julkaissut uusia versioita tiheään tahtiin (taulukko 8), ja uudemman 4.0-version odotetaan julkistettavan marraskuussa 2016. (PTC Creo 2016.)

Taulukko 2. PRO/Engineer ja Creo Parametric -ohjelmiston versiohistoria (PTC History 2016).

Pro-E / Creo Parametric Versiohistoria				
Tuote	Versio	Julkaisupäivä	Aika edellisestä julkaisusta	
			Päiviä	Vuosia
Pro/ENGINEER	Wildfire 2.0	28. huhtikuuta 2004		
Pro/ENGINEER	Wildfire 3.0	17. maaliskuuta 2006	688	1.9
Pro/ENGINEER	Wildfire 4.0	21. tammikuuta 2008	675	1.8
Pro/ENGINEER	Wildfire 5.0	16. syyskuuta 2009	604	1.7
Creo Parametric	1.0	13. kesäkuuta 2011	635	1.7
Creo Parametric	2.0	27. maaliskuuta 2012	288	0.8
Creo Parametric	3.0	15. kesäkuuta 2014	810	2.2
Creo Parametric	4.0	22. marraskuuta 2016	891	2.4
Keskiarvo			617	1.7

Creo Parametric käyttää Unite Technology -nimistä multi-CAD-tekniikkaa, jonka avulla suunnittelija voi avata muilla ohjelmilla tuotettua mallinnusdataa suoraan mallinnusympäristössä ilman tarvetta muuttaa niitä Creon omaan tiedostomuotoon tai suorittaa muitakaan integrointitoimenpiteitä. Kehittäjän mukaan mallinnusdataa voidaan tuoda esimerkiksi CATIA-, NX- ja SolidWorks-ohjelmistoista, joihin voidaan tehdä muutoksia joko suoraan tai parametrisesti, minkä jälkeen ne voidaan edelleen tallentaa muiden ohjelmistojen tukemiin tallennusmuotoihin. Multi-CAD-tekniikkaan kannattaa kumminkin tois- taiseksi suhtautua hieman skeptisesti, ja sen tutkiminen voisikin olla hyvä insinööriyön aihe. Parantuneet yhteensopivuusmahdollisuudet ovat kumminkin lisänneet Creo Parametricin käyttöä erityisesti keskisuurissa yrityksissä. (PTC Creo Parametric 2016.)

PTC Creon paikka CAD-maailmassa ei aina ole ollut ihan selkeä. Se on hinnaltaan halvempi kuin NX tai CATIA, mutta sen funktionaalisuus ei ole aivan yhtä kattava. Esimerkiksi pintamallintaminen ei ole yhtä edistyksellistä kuin edellä mainituissa ohjelmissa ja tarjolla olevia moduuleita on vähemmän. Toisaalta Creon vahvuudet tulevat ilmi solidmallinnuksessa ja se kykenee hallitsemaan erittäin suuria kokoonpanoja. Voidaankin sanoa, että Creo sijoittuu ominaisuuksiltaan korkean hintatason (CATIA, NX) ja keskitason (SolidWorks, Solid Edge) välimaastoon. (Jackson 2014.)

Ohjelmiston järjestelmävaatimukset on esitetty liitteessä 1. Creo-ohjelmistoa Suomessa toimittavat Econocap ja Convia (CAD/CAM/PLM/BIM-alan yritykset Suomessa 2015).

4 Mallinnustekniset eroavaisuudet ja vertailu

Mallinnusteknisten eroavaisuuksien havainnollistamiseksi ohjelmistot pisteytettiin seitsemässä eri kategoriassa (taulukko 3). Yksittäinen kategoria arvosteltiin asteikolla 1–5, joten kokonaispistemäärän maksimi on 35. Kategoriat on arvioitu työn alkuosassa määritellyn käyttökohteen mukaan, eli miten ne soveltuvat 3D-mallintamisen peruskurssin opiskelijoiden käyttöön. On siis huomionarvoisaa, että jossakin toisessa käyttöympäristössä painotetut ominaisuudet ja tarpeet voivat olla huomattavasti erilaisia kuin tässä työssä, jolloin pisteytys ei ole relevanttia. Pisteytyksen perustelut on esitetty luvuissa 4.1–4.7 ja lopputuloksia on käsitelty luvussa 5.

Käytännössä tämä vertailu toteutettiin perehtymällä CAD/CIM Technologies -kustantajan julkaisemiin käyttöoppaisiin jokaisesta vertailuun valitusta mallinnusohjelmasta. Nämä käyttöopaskirjat on mainittu lähdeluettelossa Sham Tickoon kirjoittamina. Käyttöoppaissa ohjelmistoihin perehdytetään koneteknisen suunnittelun näkökulmasta, ja ne käsittelevät kaikkia tässä työssä vertailtuja kategorioita. Kirjat sisältävät yhteensä yli 120 erilaista teollisuus pohjaista harjoitustyötä, joiden pohjalta tämä vertailu toteutettiin. Toteutetut harjoitustyöt on listattu liitteessä 2.

Taulukko 3. Toteutetun vertailun pisteytyskategoriat.

Kategoria
Käyttöliittymä
Tasopiirtäminen
Osamallinnus
Kokoonpanomallinnus
Työpiirustuksien luonti
Pintamallinnus
Ohutlevymallinnus
Yhteensä

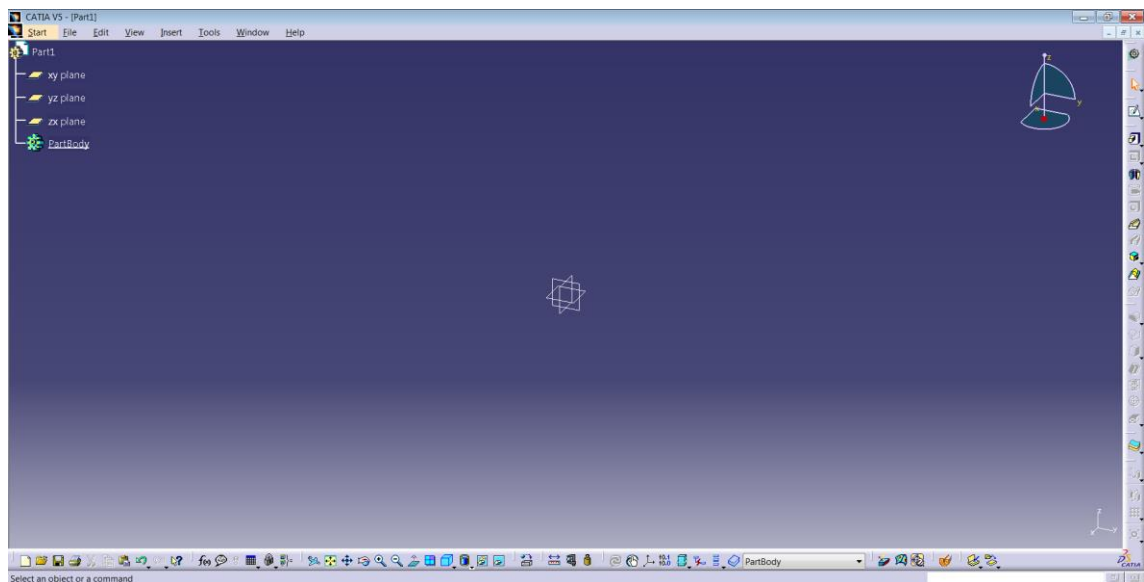
4.1 Käyttöliittymä

Käyttöliittymällä tarkoitetaan sitä näkymää, jossa ohjelmiston käyttäjä suorittaa varsinaisen mallinnustyön. CAD-ohjelmistossa käyttöliittymästä tyypillisesti löytyvät seuraavat toiminnot: tiedoston hallinta, navigointi, työkalurivit ja/tai -nauha sekä tilarivi. Näkymästä suurimman tilan vie mallinnusnäkyvä, jonka ympärille toiminnot on jaettu. Toimintoja käytetään pääasiallisesti hiirellä, mutta myös pikanäppäinyhdistelmiä voidaan käyttää.

Tässä työssä on vertailtu ohjelmistojen vakionäkymiä, koska sitä ne luultavimmin ovat korkeakouluympäristössä. Yrityskäytössä ohjelmistot sisältävät usein vahvasti muokattuja ominaisuuksia, joten tässä vertailussa todetut erot tai haitat ovat mitä luultavimmin jollakin tapaa korjattavissa.

CATIA V5

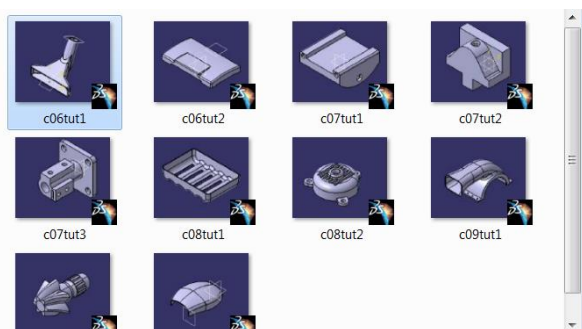
CATIA V5:n käyttöliittymä on yleisilmeeltään ”vanhanaikaisin”, koska kyseisen version ensijulkaisusta on jo toista kymmentä vuotta aikaa. Mallinnusnäkyvä on tehty mahdollisimman laajaksi ja työkalurivien viemä tila on pyritty minimoimaan (kuva 8). Työkalurivit on yleisestä tavasta poiketen sijoitettu näkymän oikealle ja alimmaiselle laidalle, ja ne ovat aina moduulikohtaisia. Koska työkalurivien tila on hyvin rajattu, ovat kaikki kuvakkeet saman kokoisia ja tärkeimpiä työkaluja ei ole sen enempää korostettu. Työkalut on pyritty näyttämään yhdellä sivulla ja niitä ei ole jaettu esimerkiksi välilehtiin, jolloin työkalunauhan täytyessä osa työkaluista jää näkymättömiin. Työkalurivejä ei ole kiinteästi istutettu johonkin määrättyyn kohtaan, vaan niiden paikkaa ja näkyvyyttä voidaan nopeasti muuttaa muutamalla hiiren klikkauksella. Laaja kustomointi ja työkalujen määrä lisäävät ohjelmiston opetteluun vaatimaa aikaa, eikä käyttöliittymä ole uudelle käyttäjälle kaikista helppokäyttöisin.



Kuva 8. CATIA V5 -käyttöliittymä.

Mallinnusnäkyä voidaan zoomata, kääntää ja panoroida pelkällä hiirellä, mikä vapauttaa toisen käden lähes kokonaan kun mallia tarkastellaan perusnäkyssä. Lisäksi hiiren keskimmaisella painikkeella voidaan samanaikaisesti selata mallin määrittelypuuta (Specification Tree), jolloin isojenkin geometrinen sarjojen selaamisesta on saatu tehtyä helppokäyttöistä. Määrittelypuussa on esitetty kaikki mallille toteutetut toiminnot ja määrittelyt historiaperustaisesti. Näppäimistöä ja täten myös toista kättä tarvitaan vasta kun malliin halutaan tehdä muutoksia. Yleisimmät pikanäppäinyhdistelmät löytyvät, kuten tallennus (CTRL+S), kumoaminen (CTRL+Z), jne. mutta niitä soisi olevan enemmänkin. Käyttäjä voi toki luoda itsekin makroja, mutta niiden opettelu ei uudelle käyttäjälle ole kovin yksinkertaista.

Moduulit käynnistetään ylärivin Start-valikosta tai seurauksena jossakin toisessa moduulissa tehdystä toiminnosta. Moduulit luovat joko CATPart (Sketcher, Part Design, Generative Sheetmetal Design ja Wireframe and Surface Design -moduulit), CATProduct (Assembly-moduuli) tai CATDrawing (Drafting-moduuli) -tiedostoja, joita on erityisen helppo selata Windows-järjestelmän selaimessa näkyvien esikatselukuvakkeiden johdosta (kuva 9). CATIAN sisällä avattujen osien selaaminen ei tosin ole aivan yhtä visuaalisesti toteutettu: käytännössä tiedostosta toiseen vaihdetaan Window-valikkopalkin takaa (tai Ctrl+Tab -pikanäppäinyhdistelmällä), joka ei tarjoa muita tietoja kuin tiedostonimen.



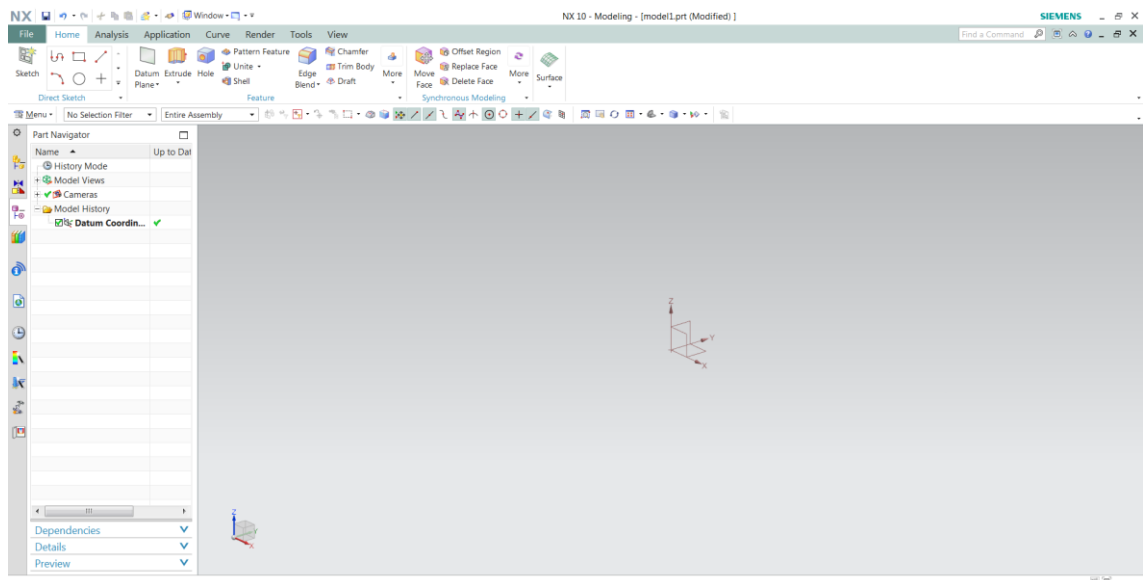
Kuva 9. Tiedostojen esikatselukuvakkeet helpottavat niiden selaamista Windows-selaimessa.

Kokonaisuudessaan CATIAN käyttöliittymä on melko pelkistetty ja työkaluihin tutustumisen jälkeen työskentely on hyvin suoraviivaista. Hiiren funktiot on hyvin toteutettu, ja mallinnusalueeseen integroitu määrittelypuu tekee parametrien ja mallin geometrisen muodon välisestä yhteydestä hyvin intuitiivista. CATIAN suurin ongelma uusien käyttäjien kannalta on työkalujen suuri määrä ja niiden kustomoitavuus. Tarpeellisten työkalujen etsimiseen kuluu aikaa, eikä työkalujen valitsemista ole helpotettu selkeällä käyttö-

tarkoituksen mukaisella kategorisoinnilla. Työkalut eivät myös itsessään ole helppokäyttöisiä, vaan käyttäjän on tiedettävä missä järjestyksessä jokin klikkaussarja on suoritettava halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Näistä syistä CATIAn käyttöliittymä saa 4 pistettä.

NX 10.0

NX 10.0 käyttöliittymä muistuttaa huomattavasti Microsoft Office -ohjelmia, joten moni käyttäjä voi mieltää tiettyjä piirteitä tutuiksi. Kaikki työkalut löytyvät työskentelyikkunan ylälaidasta jaoteltuina käyttötarkoituksen mukaisille välilehdilleen ja omiin kategorioihinsa. Tärkeimpien työkalujen kuvakkeet on suurennettu ja niiden paikka on lukittu, joten ne on helppo löytää työkaluriviltä. Lisäksi moni työkalu on vakiona yhdistetty johonkin pikanäppäinyhdistelmään, jolloin ne pysyvät samoina vaikka työpiste vaihtuisikin (tyypillistä korkeakouluympäristössä). Mallinnusnäkyvä ei ole aivan yhtä laaja kuin esimerkiksi CATIAssa johtuen suuresta työkalurivistä ja resurssipalkin navigaattorista (vasemmalla, kuva 10). Ylävirin työkalurivi on mahdollista minimoida kohtuullisen kätevään muotoon, mutta navigaattorin on pääosin tarkoitus olla auki mallinnustyön aikana. Mallinnusalue ei siis ole täysin symmetrinen näytön keskipisteen suhteen, mikä saattaa häiritä joitakin suunnittelijoita.



Kuva 10. NX 10.0 -käyttöliittymä.

Työkalut ovat melko helppoja käyttää, koska useimmissa työkaluissa ohjelmisto antaa valikkoikkunan, joka opastaa käyttäjää määrittämään tarvittavat tiedot. Valikkoikkunassa

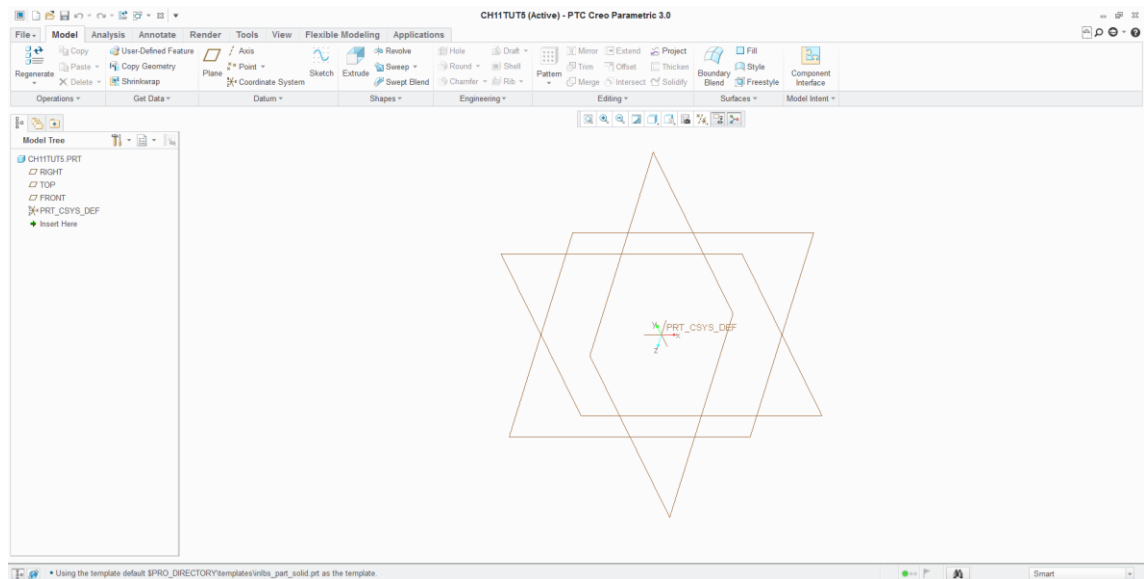
osa toiminnoista on tekstin lisäksi varustettu ikoneilla, jotka osoittautuivat yllättävänkin käteviksi ymmärtämään työkalun toimintaa. Kun käyttäjä rutinoituu työkalun käytössä, on mahdollista nopeuttaa sen käyttöä esimerkiksi näppäinyhdistelmillä. Myös hiiren painikkeet on toteutettu hyvin: mallia voi helposti tarkastella pelkällä hiirellä ja kahta kättä ei tarvita. Myös monia työkaluja voi vakiona käyttää yksikäsitsesti.

NX käyttää *.prt-päätteisiä tiedostomuotoja kaikissa ohjelmistolla luoduissa tiedostoissa (Modeling, Assembly, Sheet Metal ja Drafting -ympäristöt). Tiedostoja voi selata Windowsissa, joka myös näyttää tiedostojen esikatseluvat (kirjoitushetkellä tämä toiminto hidasteli jostain syystä). Ohjelmistossa avoinna olevien mallien ikkunoita pystyi ainoastaan vaihtamaan window-valikosta, joka ei antanut tiedostosta nimen lisäksi muita tietoja.

Käyttöliittymä on NX:ssä erinomainen muutamia pieniä yllä mainittuja häiriötekijöitä lukuun ottamatta. Uuden käyttäjän on helppo löytää ja oppia työkaluja, sekä kokeneen käyttäjän on mahdollisuus kustomoida työkaluriviä. NX:n pisteet käyttöliittymän osalta ovat 5 pistettä.

Creo Parametric 3.0

Käyttöliittymä Creo Parametric 3.0 -ohjelmistossa on myös hyvin Microsoft Office -ohjelmia muistuttava (kuva 11). Työkalurivi löytyy ohjelmiston ylälaidasta, joka on jaettu käyttötarkoituksen mukaisille välilehdilleen ja kategorioihin. Tärkeimmät työkalut on kuvitettu suurilla ikoneilla, jolloin olennaisimmat työkalut on helppo löytää. Mallinnusikkuna on laaja, ja vasemmalle sijoitetun määrittelypuun ja ylälaidan työkalurivin saa piilotettua yhdellä klikkauksella.



Kuva 11. Creo Parametric 3.0 -käyttöliittymä.

Creo Parametric -ympäristössä luodut mallit voidaan tallentaa lukuisiin eri muotoihin. Vakiona ohjelmisto käyttää *.prt (osamallinnus), *.drw (työpiirustukset) ja *.asm (kokoontalonmallinnus) -tiedostomuotoja Windows-selaimella osia selatessa ei osien esikatselukuvia näe, mikä osaltaan haittaa tiedostonhallintaa korkeakouluympäristössä, jossa tyypillisesti yksittäisiä tiedostoja siirrellään ohjelmiston ulkopuolella. Vain ohjelmiston sisällä Open-toimintoa käyttämällä esikuvakatselu oli mahdollista saada näkyviin. Useita tiedostoja samaan aikaan käsiteltäessä osat eivät avaudu ohjelmiston sisällä vaan luovut Windowsiin tehtäväpalkkiin aina uuden Creo Parametric -ikkunan. Tällainen menettely onkin hieman poikkeava ja tiedostonhallinta Windowsin tehtäväpalkin kautta ei käytännön kannalta välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu.

Hiiren käyttö Creo Parametricissa on huomattavasti erilainen kuin muissa ohjelmistoissa. Käytännössä ohjelmiston käyttäjän molemmat kädet on oltava sidottuina tietokoneeseen, koska näkymää hallitaan näppäimistön ja hiiren erilaisilla näppäinyhdistelmillä kuten esimerkiksi panoroitaessa on painettava samanaikaisesti Shift- ja hiiren kolmoispainikkeita. Pikanäppäinyhdistelmiä ohjelmistona ei vakiona perustoimintojen, kuten kumoaminen (Ctrl+Z) tai tallentaminen (Ctrl+S), lisäksi löytynyt. Onkin siis hieman outo ratkaisu sitoa mallintajan molemmat kädet tietokoneeseen, mutta samalla ei ole muilla keinoilla pyritty helpottamaan näppäimistön käyttöönottoa mallinnustyössä.

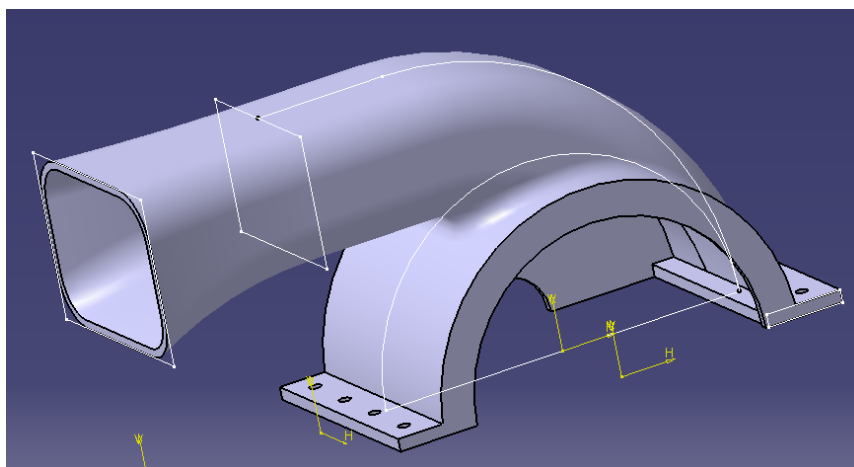
Yhtenä mielenkiintoisena lisätoimintona oli PTC Learning Connector -painike, jota painamalla ohjelmisto avaa videotutoriaalin kyseisellä hetkellä valitusta työkalusta. Toiminto

käyttää Internet Explorer -selainta, joten selain oli ensin päivitettävä ja muutamia selainasetuksia oli laitettava kuntoon. Kun nämä toimenpiteet saatiin tehtyä, Learning Connector saatiin toimimaan, mutta videotutoriaaleja olikin tarjolla vain hyvin harvaan työkaluun. Tämä toiminto olikin pettymys, vaikka toimintoa oli suuresti mainostettu kehittäjän kotisivuilla.

Creo Parametric -käyttöliittymä on hyvin samankaltainen kuin esimerkiksi NX:llä. Työkalut ovat selkeästi jaoteltu työkaluriville ja mallinnustilaa on runsaasti. Suurimmat kompastuskivet muihin ohjelmiin verrattuna liittyvät kömpelöön mallinnusnäkyvän hallintaan ja tiedostojen hallintaan, jotka koettiin vertailun käyttöympäristön kannalta sen verran haitallisiksi, että käyttöliittymä saa vertailussa 3 pistettä.

4.2 Tasopiirtäminen

Useimmat 3D-mallinnusohjelmissa suunnitelluista komponenteista ovat yhdistelmä useita erilaisia tasopiirroksia (kuva 12). Tasopiirroksilla määritetään kappaleen piirteet, ja niitä manipuloimalla mille tahansa kaksikulotteiselle piirrokselle voidaan antaa kolmiulotteinen ulkomuoto. Tasopiirtäminen onkin pohjimmiltaan kuin perinteistä teknistä piirtämistä: kappaleen muoto kuvataan valitusta projektiosuunnasta mahdollisimman yksikäsitteisesti mitoitettuna.

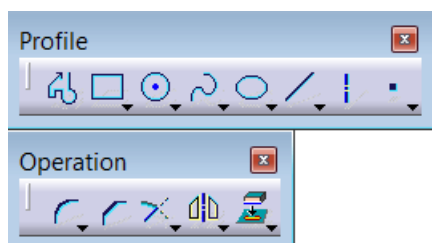


Kuva 12. Esimerkki usean tasopiirroksen pohjalta luodusta osasta.

CATIA V5

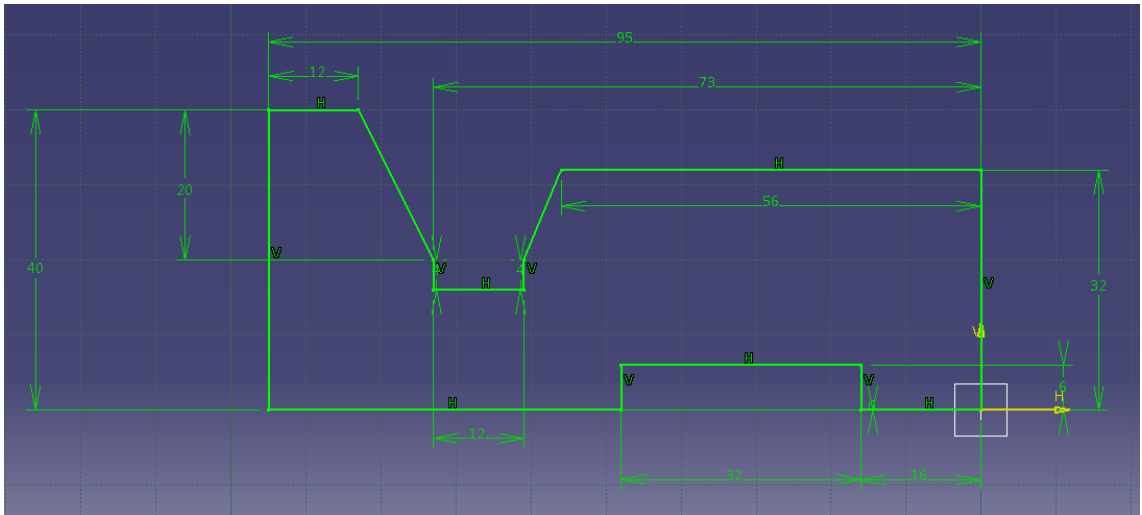
Tasopiirtäminen (Sketcher workbench) tapahtuu CATIAssa pääosin integroituna osasuunnittelumoduulissa. Piirtomoduli aloitetaan valitsemalla osasuunnittelumoduulin työkaluriviltä pikapiirrostyökalu (Sketch), jonka jälkeen valitaan taso johon piirros piirretään. Tasoksi voidaan valita esimerkiksi vakiosuuntainen taso (xy-, xz- tai yz-tasot), osan tahko tai taso voidaan tarvittaessa luoda erillisellä työkalulla (Plane). Tasojen luonti on nopeaa ja työkalu osaa useimmiten olettaa käyttäjän haluaman sijoittelun. Piirroksen origo sijoitetaan kohdakkain osan origon kanssa, jolloin mitoittaminen nopeutuu. Tarpeen vaatiessa on myös valittavissa käyttäjän vaatimien määrityksien mukaan sijoitettu tasopiirros (Positioned sketch).

Piirtämisen osalta työkalut on mahdutettu kompakteihin työkaluriveihin (kuva 13). Osan muoto on hahmoteltavissa erittäin nopeasti tiettyjä perusoletuksia tekevällä Profile-työkalulla, jonka käyttö vaatii hyvin vähän klikkauksia ja on täten käyttömukavuudeltaan erinomainen työkalu. Kun profiilityökalun tekemät perusoletukset eivät enää riitä haluttujen muotojen piirtämiseen, on tarjolla noin parikymmentä erilaista työkalua eri käyttötarkoituksen mukaisille alityökaluriveille jaoteltuina. Piirtotyökalut CATIAssa riittävät hyvin perusmallinnukseen ja piirros on selkeästi erotettavissa mallinnusnäkyvän muusta geometriasta.

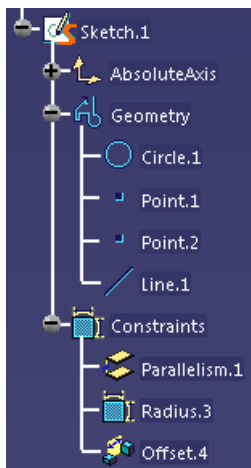


Kuva 13. CATIAN tasopiirtämisen perustyökalut. Alityökalurivit avautuvat ikonin vieressä näkyvää nuolta klikkaamalla.

Kun tasopiirros saadaan piirrettyä, on aika mitoittaa se. Mitoittaminen tapahtuu valitsemalla työkaluriviltä mitoitustyökalu, jonka jälkeen klikataan joko yhtä tai useampaa geometriaa mallinnusnäkyvässä. Mitta asetetaan vapaasti mallinnusalueelle mitoitettavan piirroksen viereen ja mitoitettu geometria muuttuu vihreäksi (kuva 14). Lisäksi annetut mitat ilmestyvät määrittelypuuhun, josta niiden selaaminen ja mukauttaminen on helppoa (kuva 15).



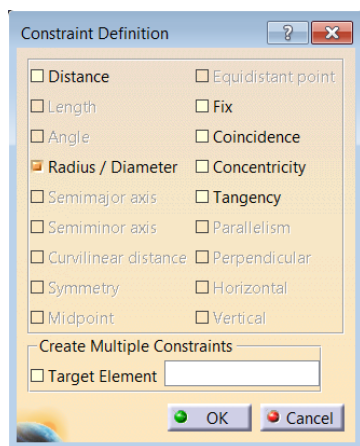
Kuva 14. Kokonaan mitoitettu tasopiirros.



Kuva 15. Piirroksen geometria ja mitoitukset näkyvät määrittelypuussa.

Toisinaan mallintajalle ei ole täysin selvää, miten piirros kuuluisi mitoittaa, eikä CATIA tarjoa siihen apua esimerkiksi pehmeiden mittojen avulla. Mikäli piirrokselle halutaan antaa numeeristen mittojen sijaan geometrisia määrittäksiä, on mitoitus muuten samantyyppistä, mutta annettava määrittäys valitaan työkalun yhteydessä avautuvasta valintaikkunasta (kuva 16). Hankalan tämän työkalun käytöstä tekee se, että määritettävät geometriat on ensin valittava mallinnusnäkyvästä ennen kuin koko työkalun saa ylipäätään käyttöön. Käyttäjän on aina erikseen valittava geometriat mallinnusnäkyvästä ja tämän jälkeen tarkistettava työkalun valintaikkunan avaamalla onko kyseinen määrittäys ylipäätään mahdollinen. Määrittäykset on aina tehtävä erikseen jokaiselle geometriaparille, eikä

työkalua voi lukita jatkuvaan käyttöön, mikä osaltaan hidastaa niiden tekoa. Lisäksi mahdollisten geometrinen määrityksien valikoima on suppea, josta puuttuu esimerkiksi Equal- ja snap-to-point-tyyppisiä työkaluja.

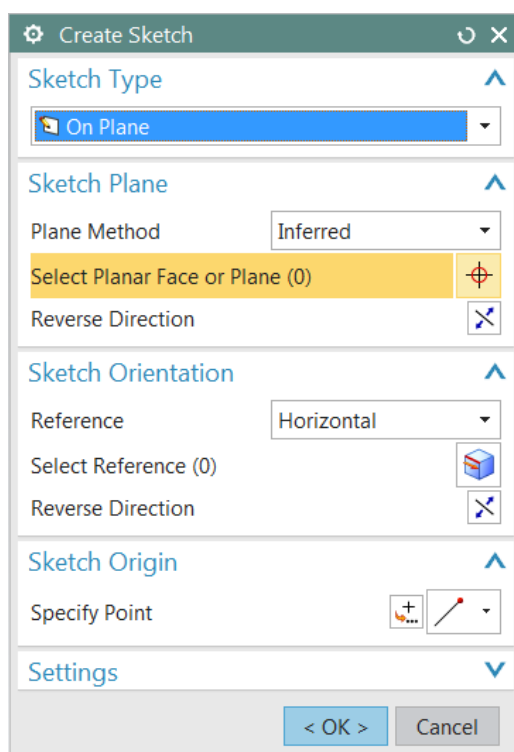


Kuva 16. Valintaikkuna näyttää valituille geometrioille mahdolliset määritteet.

Mitoitus CATIAssa edellyttää käyttäjältä erittäin selkeää ymmärrystä valmiin osan geometriasta ja niiden keskinäisistä suhteista. Käyttäjän on mitoitettava piirros kokonaan itse, ja suppea geometrinen määritysten valikoima lisää tämän työn haastavuutta. Selkeät ja helppokäyttöiset piirtotyökalut ja -näkyvät tekevät kumminkin tasopiirroksien teosta erittäin nopeaa ja sujuvaa, joten näistä syistä CATIA saa tasopiirtämisen osalta 4 pistettä.

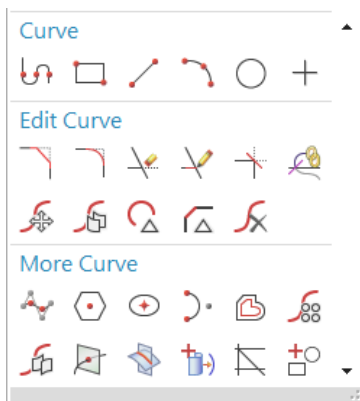
NX 10.0

NX:ssä tasopiirroksia luodaan muiden ohjelmistojen tapaan osasuunnittelumoduuliin integroituna. Tasopiirroksen luonti aloitetaan valitsemalla Sketch-työkalu, jonka jälkeen valintaikkunassa on mahdollisuus määrittellä monia määrittelyjä piirustustasoon liittyen (kuva 17). Suurimmaksi osaksi perusmallinuksessa näihin asetuksiin ei tarvitse koskea, joten näinkin kattavan valintaikkunan näyttäminen jokaisella luontikerralla on jokseenkin tarpeetonta ja vaikuttaa monimutkaiselta. Oletuksena työkalu pyytää (oranssi valintapalkki) valitsemaan mallinnusalueelta tason, johon piirustus luodaan. Tämän jälkeen riittää OK-painikkeen painaminen. Tasopiirustuksen origoksi valikoituu klikkauskohtaa lähimpänä oleva piste kyseisellä tasolla.



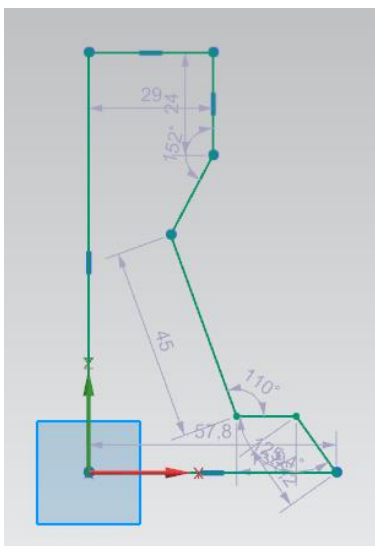
Kuva 17. Piirustuksen luonti-ikkuna.

Piirtotyökaluksi useimmiten riittää Profile-työkalu, jolla voidaan piirtää sarja viivoja ja kaaria ilman työkalun toistuvaa vaihtamista. Muita tarjolla olevia työkaluja ei ole tarjolla aivan yhtä kattavasti kuin esimerkiksi CATIAssa, vaan toisinaan joitakin geometrioita on piirrettävä perustyökaluja käyttäen. Perustyökaluvalikosta (kuva 18) löytyvät tarpeelliset piirtotyökalut ja useimmat niistä ovat vakiona yhdistetty johonkin pikanäppäimeen kuten esimerkiksi Profile (P), Rectangle (R), Circle (O), Quick Trim (T), ja niin edelleen. Piirto-tilassa ohjelmisto tarjoaa lukuisia erilaisia automaattisia määrytyksiä geometrialle, kuten esimerkiksi viivan vaaka- ja pystysuuntaisuus, kohtisuoruus, sekä pisteen tartunta (snap-to-midpoint, snap-to-endpoint). Tämä helpottaa myöhemmin tapahtuvaa geometristen määrytyksien antamista kuviolle, mutta tarvittaessa nämä toiminnot voidaan helposti kytkeä pois mallinnusnäkyvän rajapalkista.



Kuva 18. NX:n perustyökaluvalikko.

Piirtämisen yhteydessä NX antaa automaattisesti piirrokselle niin sanotut ”pehmeät mitat” (kuva 19). Tämä tarkoittaa sitä, että piirros on välittömästi yksikäsitteisesti mitoitettu, ja käyttäjä voi nämä mitat hyväksyessään muokata niitä kaksoisklikkaamalla tai tarvittaessa lisätä kuvioon omia mittoja, jolloin pehmeät mitat poistuvat sitä mukaa kun ne muuttuvat tarpeettomiksi. Käyttäjän itse asettamat mitat eivät kumminkaan voi poistua, vaan ohjelma ilmoittaa kun käyttäjän asettamat mitat ovat keskenään ristiriidassa.



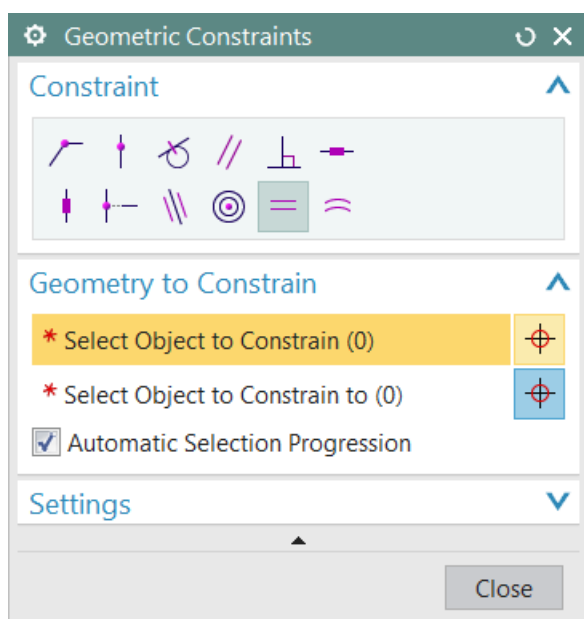
Kuva 19. Ohjelmisto mitoittaa piirroksen välittömästi.

Kuvio mitoitetaan pääosin Rapid Dimension ja Geometric Constraints -työkaluja käyttäen (kuva 20). Rapid Dimension -työkalulla viivat, kaaret ja etäisyydet voidaan mitoittaa muuttamalla klikkauksella ja mitta-arvon syöttämisellä. Mitoittamisen yhteydessä ohjelma avaa jälleen jättimäisen valintaikkunan, jonka asetuksiin ei pääsääntöisesti tarvitse koskea. Geometriset määrittelyt kuviolle annetaan Geometric Constraints -työkalulla, jonka

määritykset (kuva 21) ovat hyvin käyttökelpoiset muihin ohjelmistoihin verrattuna. Esimerkiksi yhtäsuuruisuus (Equal) ja kohdistus keskipisteen suhteen (Midpoint alignment) määritykset mahdollistavat sen, että kuviolle annettavien mittojen määrä voidaan minimoida.



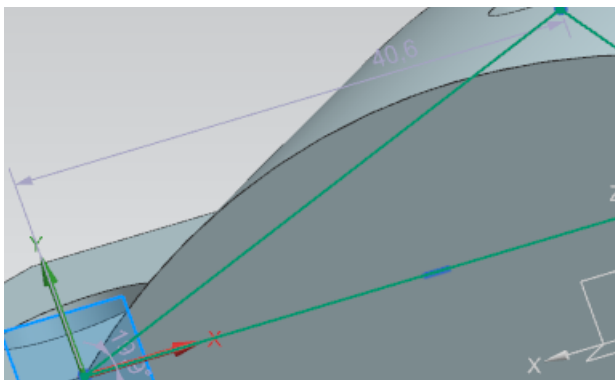
Kuva 20. Mitoittaminen tehdään pääosin kahta kuvan työkalua käyttäen.



Kuva 21. Geometrinen määrityksen valintaikkuna.

NX:llä on helppo luoda selkeitä tasopiirroksia nopeasti: pehmeät mitat ja käyttökelpoiset geometriset määritykset mahdollistavat piirroksen helpon yksikäsitteisen mitoittamisen. Piirtotyökalujen määrä on hieman rajallinen, mutta automaattiset määritykset helpottavat myöhemmin tapahtuvaa mitoitustyötä. Useiden toimintojen yhteydessä avautuva valintaikkuna todettiin usein tarpeettomaksi, ja sen huomattiin jopa aiheuttavan suorituskyvyn laskua, vaikka vertailussa käytettiin täysin tyypillistä korkeakouluympäristössä tapahtuvaan mallinnustyöhön tarkoitettua tietokonetta, joka vastasi ohjelmiston laitevaatimuksia. Tasopiirtotilan visuaalinen toteutus ei myöskään ollut kovin hyvin toteutettu: piirtotilan

värit eivät aina erottuneet riittävän selkeästi taustasta (kuva 22) sekä keskenään ristiriidassa olevien geometristen määrityksiensä ja mittojen havainnointi oli vaikeaa. Näistä syistä NX saa tasopiirtämisen osalta 4 pistettä.



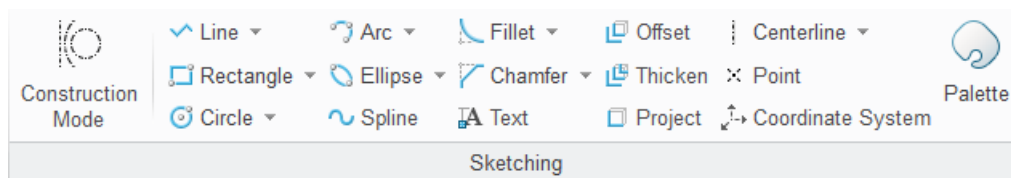
Kuva 22. Tasopiirroksset eivät aina erotu selkeästi taustasta.

Creo Parametric 3.0

Creo Parametric -ohjelmassa tasopiirros voidaan luoda erillisellä Sketch-työkalulla osana osamallinnusmoduulia, mutta useimmiten tasopiirros luodaan esimerkiksi purstus (Extrude) tai kiepautus (Revolve) työkalujen sisällä. Piirtotasoa valitaan joko mallinnusnäköistä tai vasemmalla olevasta määrittelypuusta. Piirtotasot on oletuksena nimetty etu- (Front), oikea- (Right) ja ylä- (Top) suuntaisten näkösuorien tasoihin. Tasojen suunta mallinnusnäköisessä on jokseenkin vaikea erottaa (kuva 11), koska ne ovat huomattavasti suurempia kuin x-, y- ja z-suunnan ilmoittavat vakioakselit. Lisäksi näkösuuntaa kiertäessä tasot ja akselit katoavat hetkellisesti, joka ei ainakaan helpota näkösuunnan havainnollistamista, joten siksi piirtotasoa on helpointa valita määrittelypuusta näkösuorien nimettyjen tasojen mukaan. Jos piirros piirretään johonkin muuhun kuin vakiotasoon, piirroksen origo sijoittuu kohdakkain mallinnettavan osan origon kanssa, jolloin mittaaminen on nopeampaa.

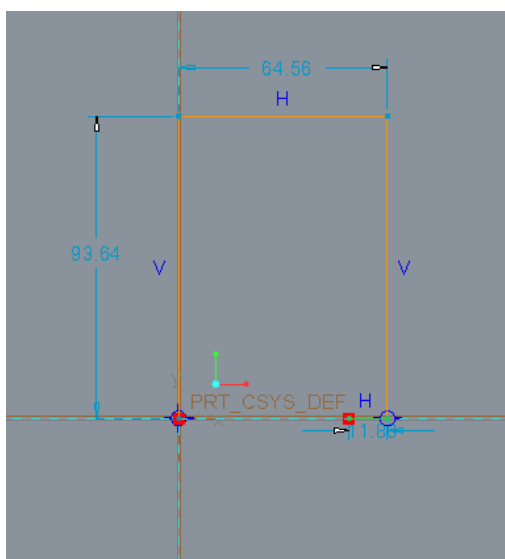
Muiden ohjelmistojen kaltaista profiilin piirtotyökalua ei ole, vaan kaarien ja viivojen tekoon on aina erikseen valittava oma työkalunsa piirtotyökaluriviltä (kuva 23). Tämä edellyttää jatkuvaa hiiren liikuttamista piirtotyökalurivin ja mallinnusnäköisen välillä, koska pikanäppäimiäkään ei vakiona ohjelmassa ole. Piirtotyökaluja on riittävästi perusmallinnukseen ja niiden käyttäminen on toteutettu hyvin: geometriat saa piirrettyä nopeasti ja ohjelmisto osaa olettaa, mitä käyttäjä haluaa työkalun tekevän. Työkaluja on myös mah-

dollista käyttöä yhdellä kädellä, koska työkalun saa suljettua hiiren keskimmaisella näppäimellä. Lisäksi ohjelma mitoittaa piirretyn kuvion välittömästi pehmeitä mittoja käyttäen, ja geometrisia määrittämiä voidaan antaa piirtämisen yhteydessä, joskin niiden asettaminen piirtotason ulkopuolisiin geometrioihin ei onnistunut.

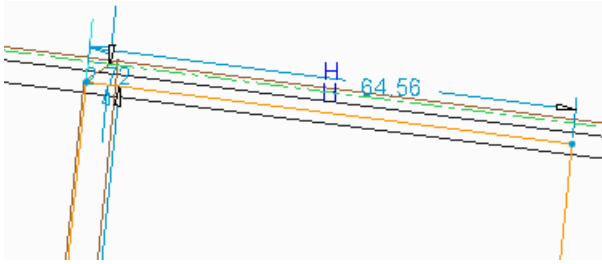


Kuva 23. Piirtotyökalurivi Creo Parametric 3.0:ssa.

Visuaalisesti piirtotila Creo Parametricissa ei ole parhaimmasta päästä. Piirretyt viivat ja mitat ovat aivan liian kapeita ja samanvärisiä taustalla olevien elementtien kanssa, jolloin niiden erottaminen on vaikeaa (kuvat 24 ja 25). Käyttäjän on jatkuvasti tehtävä töitä sen eteen, että näkymän visualisointi pysyy hyvänä ja piirroksen voi erottaa muista merkinöistä ja kuvioista.

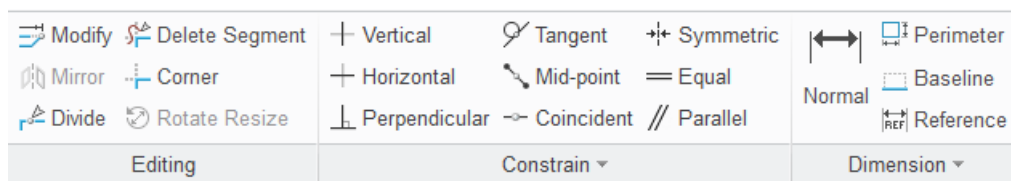


Kuva 24. Tasopiirroksiset eivät erotu selkeästi piirtoalueelta.

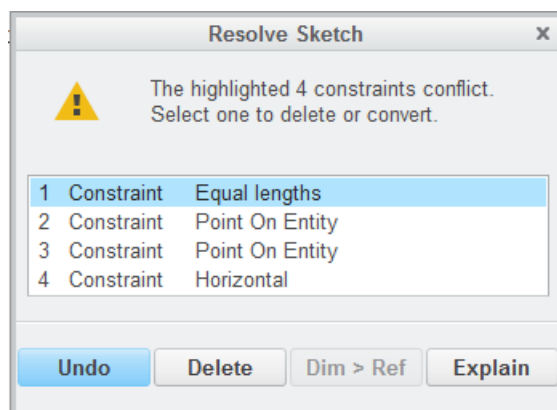


Kuva 25. Tasopiirroksen viivat sekoittuvat helposti muiden viivojen kanssa.

Creo Parametricin tasopiirtämisen vahvuus löytyykin sen mitoittamisesta. Kaikki geometristen määrityksiä asetamiseen vaaditut työkalut löytyvät vakionäkymän työkaluriviltä (kuva 26), eli niitä ei CATIA:n tai NX:n tapaan tarvinnut hakea erillisten valintaikkunoiden takaa. Määrityksiä ei ole yhtä laajasti saatavilla kuin NX:ssä, mutta piirustuksien yksikäsitteinen mitoitus on hyvin helppoa. Mikäli asetettu mitta tai määrittäminen aiheuttaa konfliktin jonkin aikaisemmin asetetun määrittäksen tai mitan kanssa, erillinen varoitusikkuna estää ylimittauksen ja pyytää poistamaan ylimittauksen aiheuttavia mittoja.



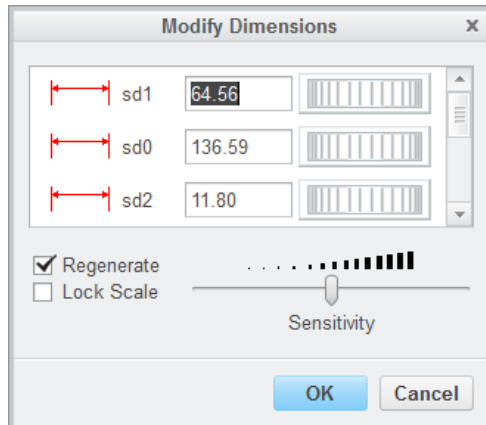
Kuva 26. Tarvittavat mitoitus työkalut löytyvät ylärivin nauhalta.



Kuva 27. Varoitusikkuna estää ylimittauksen ja pyytää poistamaan tarpeettomia mittoja.

Toinen mitoituksen kannalta kätevä toiminto on Modify-työkalu. Kaikki piirroksen mitat valitaan ensin Ctrl+Alt+A-näppäinyhdistelmällä, jonka jälkeen työkalu avataan ylärivin Editing-kategoriasta (kuva 26). Työkalu avaa valintaikkunan (kuva 28), jossa piirroksen

mitoille voidaan antaa arvoja ja päivittää ne samanaikaisesti. Tämä ominaisuus on kätevä siitä syystä, että mittoihin tehdyt muutokset eivät välittömästi vaikuta piirtoalueella, jolloin suuret skaalaerot eivät täysin sekoita kuvion muotoa: useimmiten piirroksissa on etäisyysmittoja, jotka eivät ota pisteiden keskinäistä asemaa huomioon, jolloin niiden mukauttaminen ilman kyseisenlaista toimintoa on vaikeaa.



Kuva 28. Modify-työkalulla voidaan mukauttaa useita mittoja samanaikaisesti skaalauksesta johtuvien ongelmien välttämiseksi.

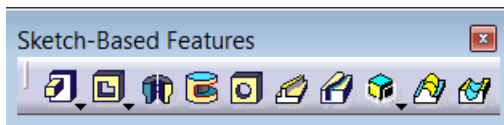
Creo Parametric 3.0:n työkalut piirtämisen ja mitoittamisen osalta ovat hyvät muutamia yllämainittuja puutteita lukuun ottamatta. Suurin ongelma on piirtotilan visuaalisuudessa, jota on jatkuvasti muutettava, jotta piirros on erotettavissa muista mallinnusalueen merkinnöistä. Näistä syistä Creo Parametricin saa tasopiirtämisestä 4 pistettä.

4.3 Osamallinnus

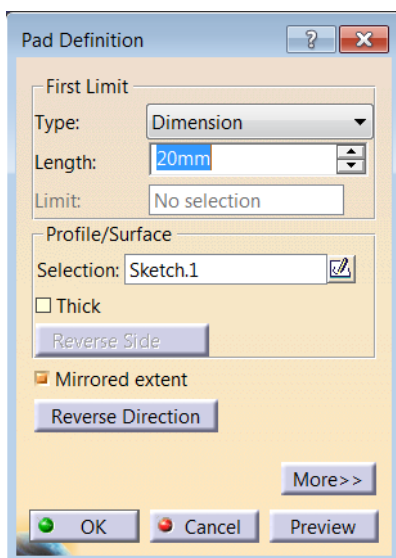
Osamallintaminen on tasopiirtämisen ohella yksi perustavanlaatuisimmista toimenpiteistä kolmiulotteista mallia luodessa. Se on vahvasti sidoksissa tasopiirroksiin, ja useimmissa tapauksissa osamallintamisen operaatioissa on kyse kaksiulotteisten piirroksien manipuloimisesta. Operaatioilla mallit saavat lukuisia uusia parametreja, joista tärkeimpiä ovat tilavuus ja massa. Piirrepohjaisessa mallintamisessa kiinteän mallin luonti aloitetaan mallin perustuksen luomisella, joka määrittää pitkälti osan raja-arvoja. Tämän jälkeen perustusta muokataan pääsääntöisesti materiaalia poistamalla ja osan piirteiden määrä kasvaa. Mallinnusprosessi on siis hyvin samankaltainen kuin todellinen koneistusprosessi. Tämä on tärkeä ominaisuus luvussa 2.2 käsitellyn suunnittelun ja tuotannon välisen yhteyden kannalta.

CATIA V5

CATIAssa mallin perustuksien luomiseen varten tarkoitetut työkalut on sijoitettu Sketch-Based Features -työkaluriville (kuva 29). Käytännössä mallin perustus luodaan valitun tasopiirustuksen pohjalta joko pursottamalla (Pad) tai kiepauttamalla (Shaft). Näiden työkalujen käyttäminen oli hyvin intuitiivista, ja käytännön mallinnustyössä perustus saadaan luotua vain muutamalla klikkauksella. Työkalun yhteydessä avautuvassa valintaikkunassa (kuva 30) on mahdollisuus antaa tarkempia määrittämiä luodulle piirteelle.



Kuva 29. Tasopiirustuksiin perustuvien piirteiden luomiseen tarkoitettu työkalurivi.



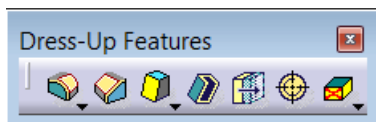
Kuva 30. Työkalun valinnan yhteydessä avautuu valintaikkuna, johon määrittäykset syötetään.

Samalta työkaluriviltä löytyvät myös materiaalin poistamiseen tarkoitetut työkalut, kuten esimerkiksi taskujen (Pocket), urien (Groove) ja reikien (Hole) luomiseen tarkoitetut toiminnot. Käytännössä näiden työkalujen käyttäminen on yhtä suoraviivaista kuin perustuksienkin luominen: valitaan vain tasopiirros, jonka pohjalta toiminto halutaan toteuttaa, sekä määritetään tarpeelliset rajoitukset piirteen syvyydelle. Ainoastaan reikien luontiin tarkoitettu toiminto todettiin alkuun hieman hankalaksi sisäistää, koska määrittäykset on jaettu useammalle eri välilehdelle ja reiän sijainti määritetään automaattisesti luodulla

tasopiirroksella, jolloin käyttäjän on suoritettava muutamia tarpeettomilta tuntuvia työtilan vaihtoja ja klikkauksia.

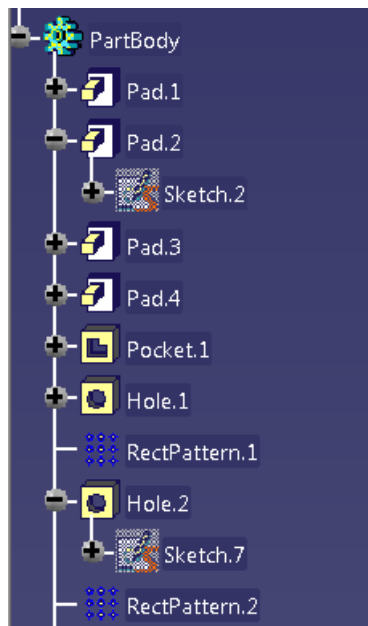
Perustoimintojen lisäksi CATIAssa on lukuisia mallinnustyökaluja, jotka tekevät tiettyjä perusoletuksia piirteen geometriasta. Käytännössä yllä mainittu reikien luontityökalu voidaan laskea tällaiseksi, koska erona materiaalin poistamiseen pelkästään pursottamalla voidaan olettaa, että piirre luodaan poraamalla. Tällöin voidaan myös olettaa, että piirteellä on tiettyjä porausteknisiä ominaisuuksia. Nämä perusoletukset piirteen geometriasta vähentävät huomattavasti mallintamiseen kuluvaa aikaa.

Kun mallin karkea geometria on luotu tasopiirustuksiin perustuvilla työkaluilla, mallin tarkempi geometria voidaan määrittellä niin kutsutuilla hienosäätöpiirteillä (Dress-Up Features, kuva 31). Näitä työkaluja ovat muun muassa kulmien pyöristykset (Fillet), viisteet (Chamfer), päästökulma (Draft Angle) ja onton mallin luonti (Shell). Kaikki työkalut olivat muiden osamallinnuksen perustyökalujen tapaan intuitiivisia: piirre luodaan vain muutamalla klikkauksella ja parametrin syöttämisellä. Vertailussa toteutettujen mallinnustöiden aikana työkalujen käytössä ei todettu vaikeuksia tai mallinnustyötä merkittävästi hidastavia toimintoja.



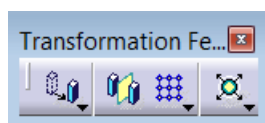
Kuva 31. Työkalut mallin geometrian hienosäätöä varten.

Piirteiden muokkaaminen on CATIAssa tehty helpoksi. Kun määrittelypuussa piirteet on esitetty hierarkiassa (kuva 32), on hyvin helppoa ymmärtää piirteiden välinen yhteys. Kun piirrehierarkian yläpäähän tehdään muutoksia, tiedetään mihin kaikkeen se voi vaikuttaa. Piirrettä voidaan nopeasti muokata kaksoisklikkaamalla niitä määrittelypuussa tai mallinnusnäkyvässä, jolloin piirteen muokkaamiseen tarkoitettu työkalu avautuu ja uudet määrittelyt voidaan tehdä.



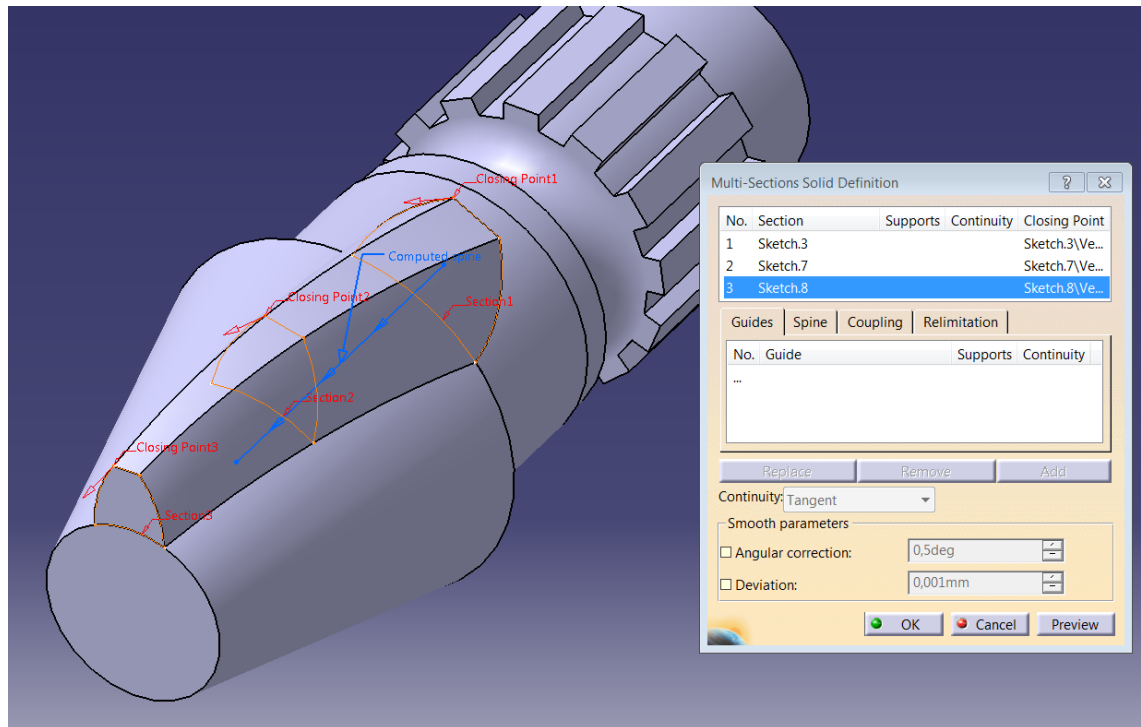
Kuva 32. Piirteet on esitetty historia- ja perustapohjaisesti määrittelypuussa.

Mallinnustyötä merkittävästi helpottavat muuntopiirteet on sisällytetty erilliselle Transformation Features -työkaluriville (kuva 33). Muuntopiirteillä voidaan liikuttaa, kääntää, peilata (Mirror), kaavoittaa (Pattern) ja skaalata jo olemassa olevia piirteitä ja kokonaisuuksia. Tämä vähentää mallinnustyössä tapahtuvaa toistoa, koska samoja ominaisuuksia omaavia piirteitä voidaan luoda nopeasti pelkästään muuntopiirteitä luomalla. Käytännön mallinuksissa todettiin, että näistä kaksi usein toistuvaa työkalua ovat peilaus (Mirror) ja kaavoitus (Pattern). Molemmista työkalut toimivat niiden yhteydessä avautuvien valintaikkunoiden kautta ja niiden käyttö oli erittäin suoraviivaista ja helppoa.



Kuva 33. Muuntopiirteitä luovat työkalut.

Muita käytännön mallinnustyössä usein hyödynnettäviä työkaluja ovat Sketch-Based Features -työkaluriviltä (kuva 29) löytyvät Rib ja Multi-sections Solid -pursotustyökalut. Erona tavallisiin pursotustyökaluihin näissä työkaluissa pursotus ei tapahdu kohtisuoraan piirtotasoon nähden, eikä osan profiili pysy välttämättä samana. Näidenkin työkalujen käyttäminen on kohtuullisen yksinkertaista, kunhan tasopiirrokset on piirretty asianmukaisesti. Kuvassa 34 esiintyvä pursotus tehtiin vain viidellä klikkauksella.



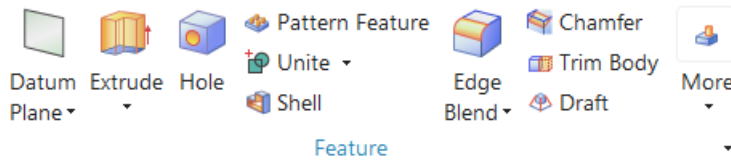
Kuva 34. Usean eri profiilin perusteella pursotettu piirre.

CATIAn osamallinnustyökaluista on vaikea löytää mitään moitittavaa. Monien työkalujen käyttäminen vaatii vain muutaman klikkauksen sekä parametrin syöttämisen, ja niiden käyttö on pyritty tekemään helppokäyttöiseksi. Vaikka työkalujen määrä on laaja, on ne toteutettu hyvin simppeleiksi ja niiden käyttö korkeakouluopetuksen puitteissa vaikuttaisi olevan hyvin soveltuvaa. Käyttäjä pystyy hyvinkin lyhyen aikana oppimaan lukuisia työkaluja ja luomaan vaikeasti määriteltäviä geometrioita. Mallinnusalueeseen integroitu määrittelypuu helpottaa piirteiden keskinäisten merkitysten ymmärtämistä. Oppimisnopeuden kannalta haastavinta on piirteiden hahmottaminen avaruudessa, mutta CATI-Assa tämän ei havaittu olevan merkittävästi vaikeampaa kuin muissa vertailun ohjelmistoissa. Osamallinnus osoittautui CATIAssa edukseen ja saa täten 5 pistettä.

NX 10.0

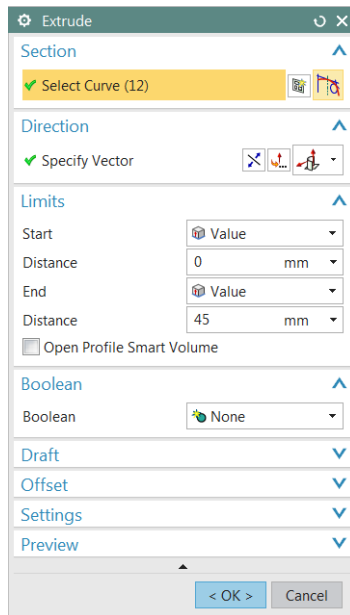
NX:n piirteitä luovat työkalut on sijoitettu mallinnusnäkökuvan yläpuolisen työkalurivin Feature-kategorian sisälle (kuva 34). Työkaluja ei ensisilmäyksellä näytä olevan kovinkaan paljoa, mutta tarjolla olevat työkalut ovat hyvin monikäyttöisiä. Yksittäisellä NX:n työkalulla on mahdollista toteuttaa sellaisia piirteitä, jotka muissa ohjelmistoissa saattavat tar-

vita useamman työkalun käyttöä. Työkaluriville on myös mahdollista lisätä sellaisia työkaluja, joiden toimintaperiaate saattaa vastata enemmän muiden ohjelmistojen tapaa piirteiden luomisessa.



Kuva 35. Piirteiden luontityökalut työkalurivillä.

Osan perustus luodaan NX:n osasuunnittelumoduulissa tasopiirroksen pohjalta joko pursotus- (Extrude) tai kiepautustyökalulla (Revolve). Työkalu avaa valintaikkunan (kuva 36), jossa perusasetukset kuten suunta ja raja-arvot asetetaan niihin kuuluviin kenttiin. Raja-arvoja säätämällä pursotuksen aloitus- ja lopetustasoja voidaan kätevästi säätää siten, että uusia piirtotasoa ei välttämättä ole tarpeellista luoda. Valintaikkuna vaikuttaa alkuun hieman sekavalle lukuisine valikoineen, mutta työkalu on itseasiassa hyvin simpeli suhteessa sen monikäyttöisyyteen. Työkalulla pystyy tekemään monia sellaisia toimintoja, jotka muissa mallinnusohjelmissa on jaettu useiden eri työkalujen tehtäviksi. Esimerkiksi samalla työkalulla voidaan joko lisätä tai poistaa materiaalia Boolean-valikon takaa, tai pursotetulle piirteelle voidaan suoraan antaa viistetty sivuprofiili. Samasta valikosta on tosin muistettava tehdä Unite-valinta, jos uusi pursotettava piirre halutaan liittää jo olemassa olevaan perustukseen. Tämän toiminnon jatkuva toistaminen tuntui jokseenkin turhalta, ja mikäli sen unohtaa tehdä, saattaa se aiheuttaa ongelmia myöhemässä mallinnusvaiheessa.

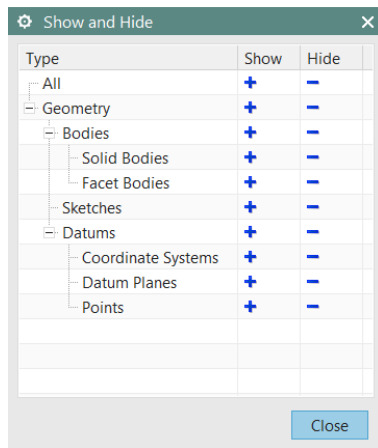


Kuva 36. Pursotustyökalun valintaikkuna.

Mallinnusnäkömön visuaalisuutta hallitaan pääasiallisesti näkömön ylärajapalkin (Top Border Bar, kuva 37) View-kategoriasta tai niihin asetetuista pikanäppäinyhdistelmistä. Pikanäppäimien omaksumisen jälkeen rajapalkin käyttö vähenee toistuvien toimintojen osalta, mutta riville tulee toisinaan tarve palata kun tiettyjä visuaalisuus- tai valinta-asetuksia tarvitaan. Yksi kätevä rajapalkilta käynnistettävä toiminto on Show and Hide (käynnistyy myös pikanäppäinyhdistelmällä Ctrl+W), jonka valintaikkunasta (kuva 38) voidaan helposti piilottaa kerralla tietyt mallin suunnitteluun käytetyt elementit. Ylärajapalkilta voidaan lisäksi asettaa pisteiden valintaa helpottavia toimintoja, joissa hiiri saadaan muun muassa tarrautumaan risteys- tai keskipisteisiin. Ylärajapalkkia pääsee modifioimaan muutamalla klikkauksella, jolloin käyttäjä voi lisätä valikoimaan tarvittavia työkaluja, joista Orient to Sketch View -toiminnon lisääminen rajapalkille koettiin tarpeelliseksi. Ylärajapalkin todettiin käytännössä olevan intuitiivinen tapa tuoda tärkeät mallinnustyössä tarvittavat visuaalisuustyökalut käyttäjän saataville.

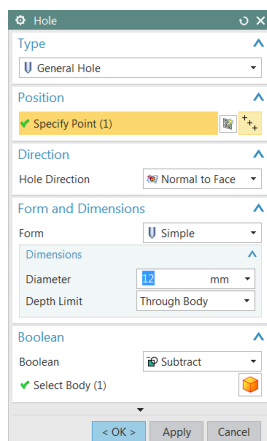


Kuva 37. Ylärajapalkki.



Kuva 38. Show and Hide -toiminnon valintaikkuna, josta mallinnuksessa käytettyjä elementtien näkyvyyttä voidaan muuttaa.

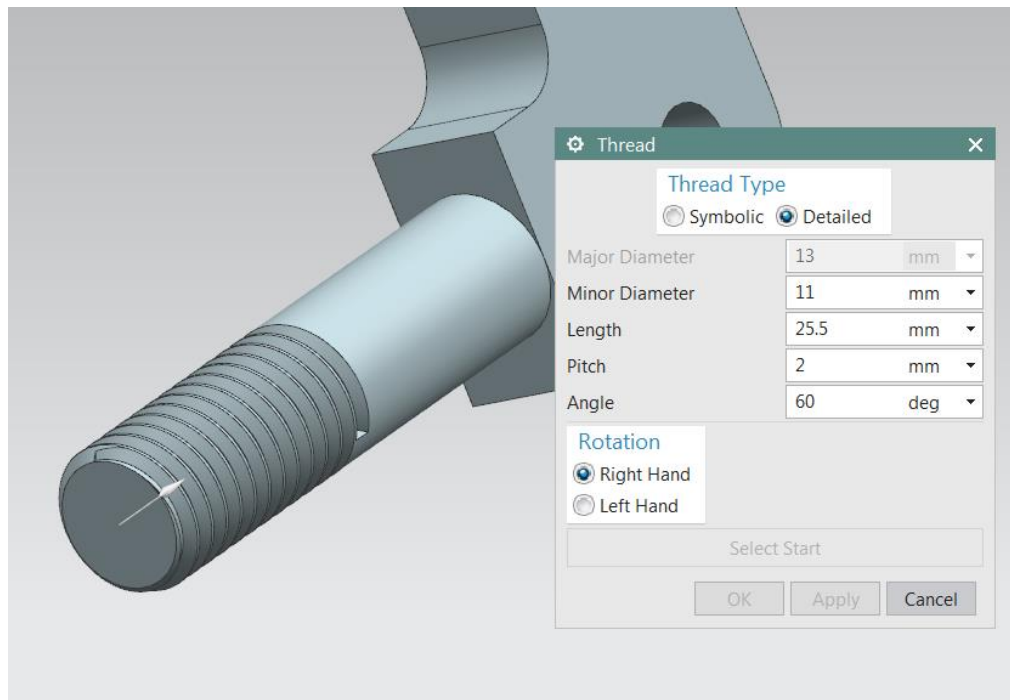
Tiettyjä perusoletuksia piirteestä tekeviä työkaluja NX:stä löytyy lukuisia, mutta yleisimmin käytetyt niistä ovat reiät (Hole) ja pyöristykset (Edge Blend), jotka on myös työkalurivillä (kuva 35) selkeästi tuotu käyttäjän saataville. Reikien luonti NX:ssä oli vertailussa helpoiten toteutettu: ohjelmisto käynnistää automaattisesti tasopiirustusmoduulin reiän sijoittamista varten, jonka jälkeen tarvittavat tiedot syötetään valintaikkunassa. Reikien luonti on huomattavasti suoraviivaisempaa kuin muissa vertailuissa ohjelmistoissa. Tässä huomattiin myös se, että silloin kun piirteiden tarkka määrittely on tärkeää, on NX:n laajoista valintaikkunoista selkeästi hyötyä eikä lisäasetuksia tarvitse ”kaivella”.



Kuva 39. Reiän luonti -valintaikkuna.

Muita Feature-kategorian alta löytyviä usein tarvittuja piirteiden luontia nopeuttavia toimintoja ovat kaavoitus (Pattern), peilaus (Mirror Feature/Body), pyyhkäisy (Sweep), putki (Tube), kierteet (Thread) ja ontton kappaleen luonti (Shell). Suurin osa näistä työkaluista

on hyvin helppokäyttöisiä ja niiden käyttö ei välttämättä edellytä edes niiden erillistä opettelua. Kierteitä luovan Thread-työkalun valintaikkuna osoittautui hieman ohjelmiston yleisestä linjasta poikkeavaksi, joten sen käyttö aiheutti alkuun pientä hämmennystä. Siitä huolimatta, kierteiden luonti on NX:ssä toteutettu huomattavasti helpommin kuin muissa ohjelmistoissa ja sen voidaan olettaa soveltuvan NX:n käytön peruskurssille mainiosti. Thread-työkalun parametri-ikkuna on esitetty kuvassa 40.

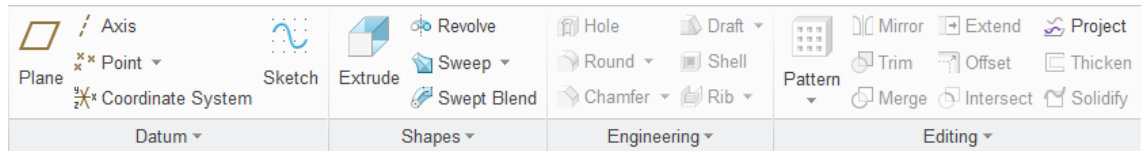


Kuva 40. Kierteiden luonti NX:ssä.

NX:n perustyökaluvalikoima vaikuttaa kumminkin jokseenkin rajoitetulle. Monimutkaisempien, kuten muuttuvaprofiilisten tai paljon kaarevia piirteitä sisältävien osien mallintaminen ei osamallinnusmoduulin puitteissa ollut tarjolla soveltuvia työkaluja. Vaikuttaisi siltä, että NX:n osamallinnuksen perustyökaluilla ei peruskurssin puitteissa päästä luomaan aivan yhtä monimutkaisia osia kuin esimerkiksi CATIAssa, vaan painotus on enemmän yksinkertaisten mekaanisten rakenteiden luomisessa. Voikin olla, että vaikeamuotoisten osien mallintamistyökaluja on siirretty pintamallinnusmoduuliin, jota on käsitelty luvussa 4.6. Täten NX saa osamallinnuksen osalta 4 pistettä.

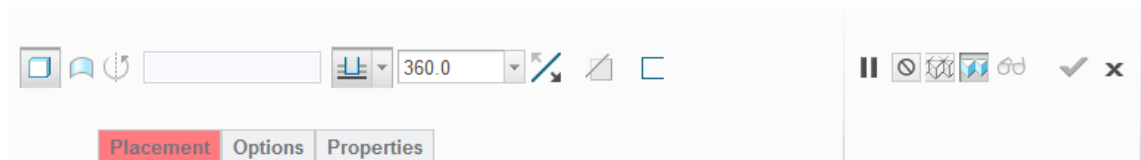
Creo Parametric 3.0

Perustuksien luonnissa tarvittavien tasopiirroksien piirtäminen on yleensä sisällytetty edellisessä kappaleessa kuvatun tavan mukaisesti työkalurivillä olevien piirteiden luontityökalujen sisään. Osamallinnuksessa yleisimmin käytettyjen työkalujen kategoriat on esitetty kuvassa 41.



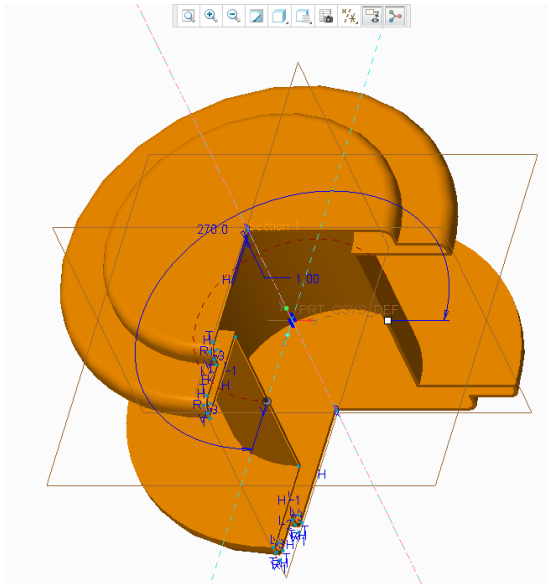
Kuva 41. Osamallinnuksessa yleisimmin käytetyt työkalut löytyvät ylärivin välilehdeltä.

Perustus luodaan valitsemalla ylätyökaluriviltä joko Extrude tai Revolve -työkalu, jonka jälkeen piirtotaso valitaan joko mallinnusnäkyvästä tai vasemmalla sijaitsevasta määrittelypuusta. Tämän jälkeen ylärivi vaihtuu työkalun mukaiseksi hallintapaneeliksi (kuva 42), josta voidaan määrittää piirteiden ominaisuudet. Vain yleisimmin käytetyt määrittelyt on asetettu näkyviksi, joka tekee hallintapaneelista selkeän näköisen ja helppokäyttöisen. Mikäli työkalun käytössä vaaditaan tarkempia määrittelyjä, päästään niitä muuttamaan hallintapaneelin alareunassa olevista valikoista. Punaisella värillä ilmoitetaan jonkin pakollisen määrittelyn puuttumisesta valikossa. Piirre luodaan oikealla näkyvää valintamerkkiä painamalla.



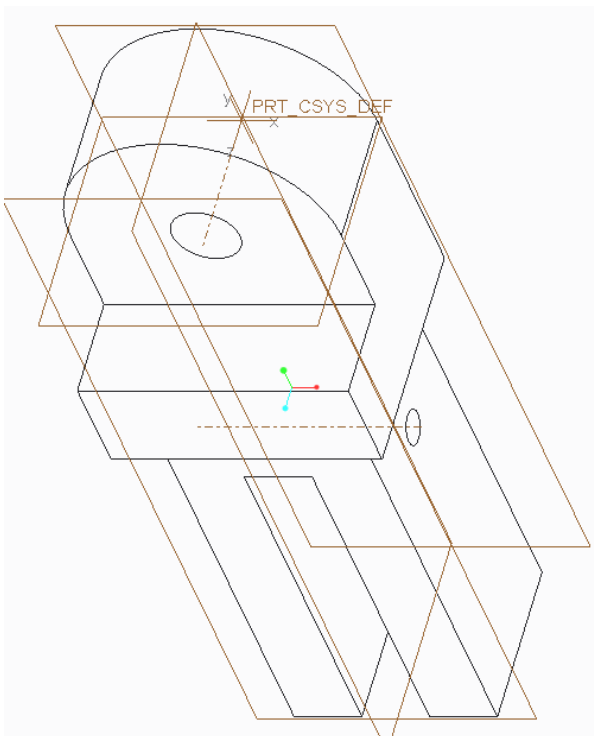
Kuva 42. Piirretyökalujen ohessa avautuva hallintapaneeli.

Osamallinnusmoduulissa on samanlaisia visuaalisuutta koskevia ongelmia kuin tasopiirtämisessä. Ohjelmassa on vakiona lukuisia erilaisia apu- ja mittaviivoja, joista tuntuu suurimmaksi osaksi olevan enemmän haittaa kun hyötyä. Kuvassa 43 on esitetty yksinkertaisen Revolve-toiminnolla pursotetun osan näkymä. Apuakselit ja -tasot on toki mahdollista piilottaa yläpuolella näkyvästä visualisointi-työkaluriviltä, mutta tämä aiheuttaa sen, että visuaalisuusasetuksia on jatkuvasti muutettava.



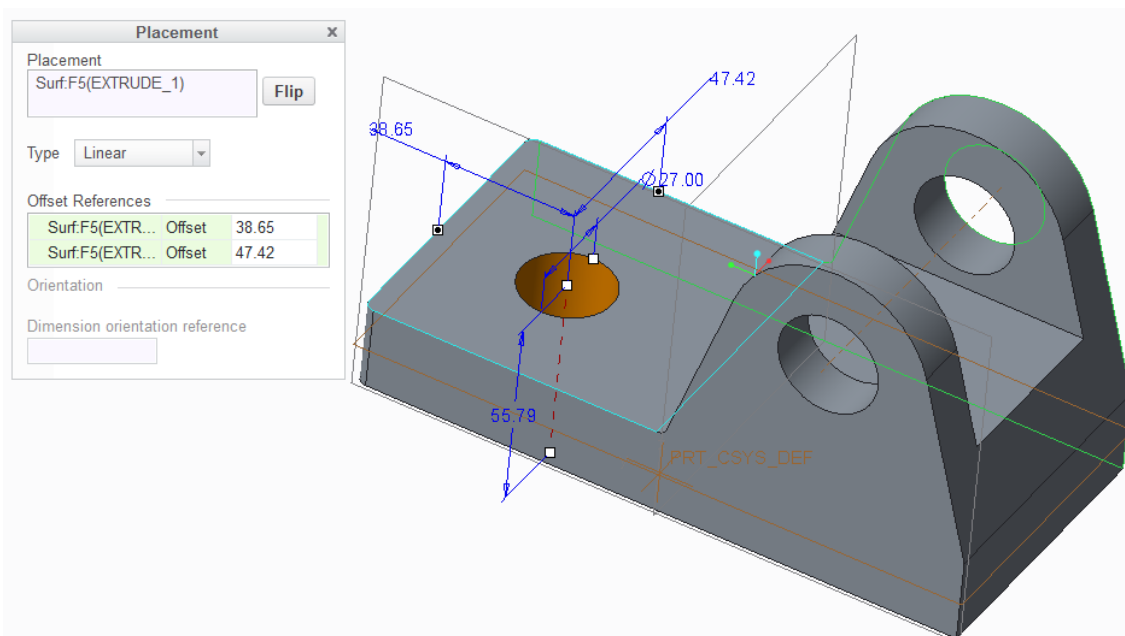
Kuva 43. Vakionäkymä pursotustyökalussa.

Visuaalisuus on myös haasteellista aputasojen piirtämisen kannalta. Kun näkymää panoroidaan, aputasot menevät piiloon hetkellisesti, jolloin sopivan tarkastelukulman löytäminen vie aikaa. Kuvassa 44 on esitetty aputasojen pohjalta luotu osa Wireframe-näkymässä.



Kuva 44. Aputasojen pohjalta luotu osa Wireframe-näkymässä.

Piirteiden luontia nopeuttavat työkalut on sijoitettu työkalurivillä (kuva 42) Engineering-kategorian alle. Reikien luonti Hole-työkalua käyttäen on hieman eri tavalla toteutettu kuin muissa vertailun ohjelmistoissa. Käytännössä Placement-valikossa (kuva 45) valitaan ensin pinta johon reikä halutaan luoda. Jos reikä piirretään esimerkiksi jonkin akselin suuntaisesti (hyvin tyyppillistä konetekniikassa), mallinnusalueelta toiseksi Placement-määrittäykseksi voidaan valita kyseinen akseli jolloin reikä luodaan kyseisien akselin ja pinnan perusteella. Mikäli kumminkaan tällaista akselia ei ole valittavissa (kuten kuvassa 45), valitaan Offset References -valintalaatikosta kaksi tai useampi referenssimitta reiän sijainnin määrittelyyn. Reiän sijaintia ei siis määritetä muiden ohjelmistojen tapaan tasopiirroksella, mutta tämä tapa osoittautui erittäin käteväksi tavaksi reikien luomiseen. Muuten Engineering-työkaluista ei muuten löydetty merkittäviä eroavaisuuksia muihin ohjelmistoihin ja työkalut olivat käytöltään melko itsestään selviä.



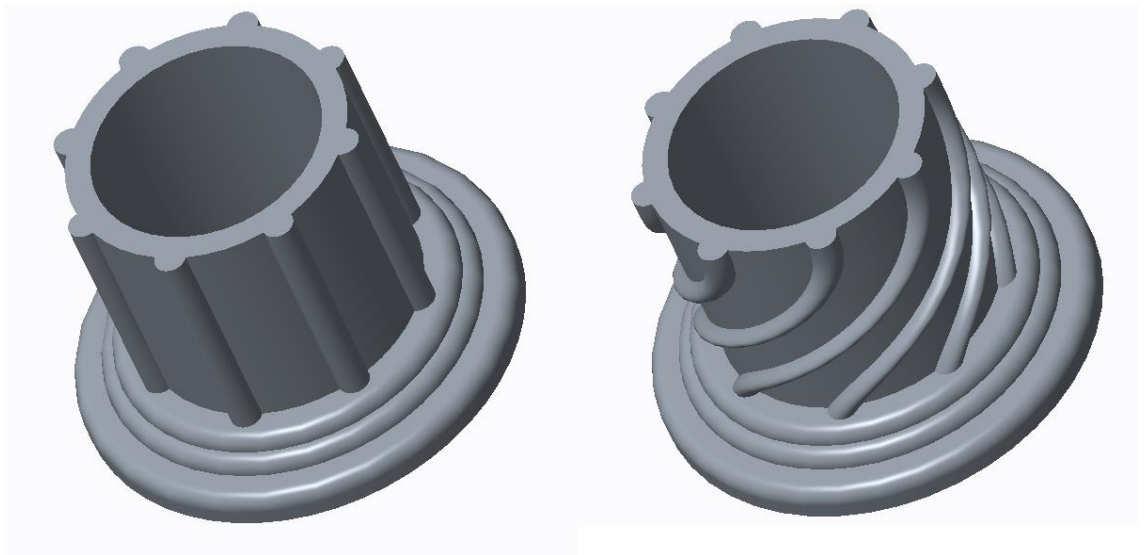
Kuva 45. Reikien luonti Creo Parametricissa.

Muita työkaluja monimutkaisempien piirteiden luontiin ovat Shape-kategoriasta löytyvät pyyhkäisy (Sweep), sulautus (Blend), sekä niiden erilaiset variaatot (Swept Blend, Helical Sweep). Käytännössä näillä työkaluilla voidaan luoda muuttuvaprofiilisia pursotuksia. Lisäksi muita peruskäyttöön tarkoitettua haasteellisimpia työkaluja ovat esimerkiksi toroidaalinen taivutus (Toroidal Bend) ja konseptitasolla mallivariaatioiden tutkimiseen tarkoitettu Warp-työkalu. Creo Parametricissa vaikuttaisi olevan laajin työkaluvalikoima

mitä perusmallinnuksen puitteissa on mahdollista opetella käyttämään. Kuvissa 46 ja 47 on demonstroitu muutamien eri työkalujen käyttöä ohjelmistossa.



Kuva 46. Toroid Bend -työkalua käyttämällä luotu piirteen muutos.



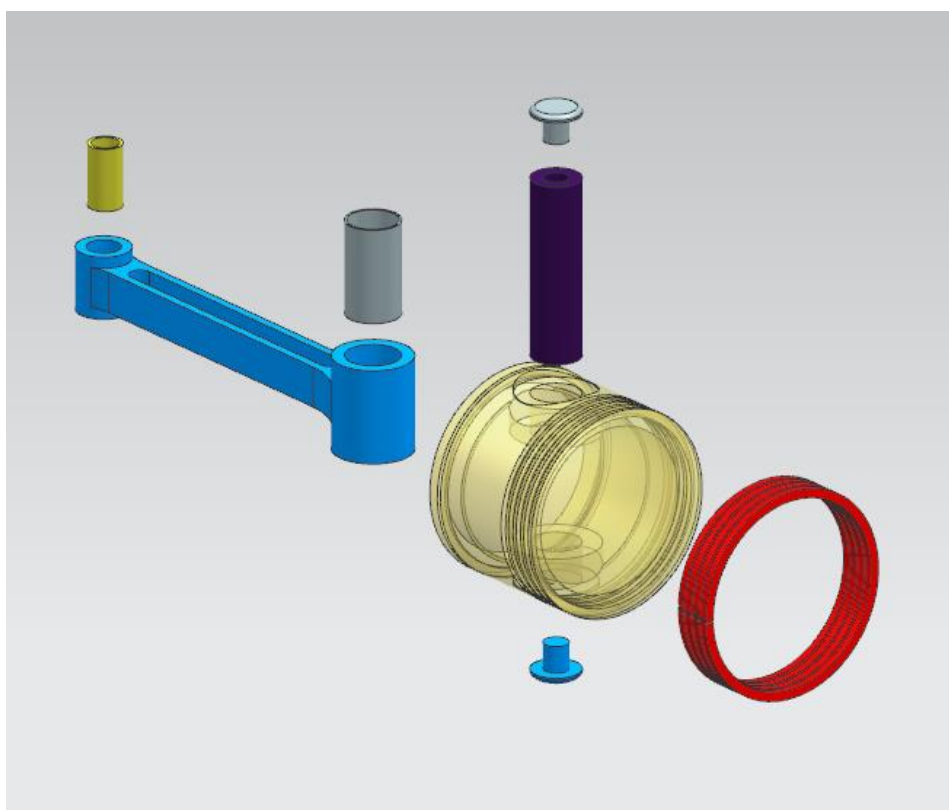
Kuva 47. Warp-työkalulla toteutettu piirteen muutos.

Osamallinnuksen työkalujen määrä ja helppokäyttöisyys erottuvat Creo Parametricissa edukseen. Vaikuttaisi siltä, että ohjelmiston käytössä päästään muita ohjelmistoja nopeammin luomaan monimutkaisempia piirteitä omaavia osia. Useimmat näistä toiminnoista

eivät kumminkaan koneteknisestä näkökulmasta ole kovinkaan merkittäviä. Lisäksi ohjelmiston perusmallinnus kärsii liikaa hankalan visualisisuuden johdosta. Näistä syistä Creo Parametric saa osamallinnuksen osalta 4 pistettä.

4.4 Kokoonpanomallinnus

Kokoonpanomallinnus on prosessi, jossa malli luodaan kahdesta tai useammasta komponentista, jotka kokoonpannaan toisiinsa tietyssä asennussuunnassa. Komponentit tuodaan yhteen erillisessä kokoonpanomoduulissa, jossa niille asetetaan niiden aseman määrittelevät geometriset määrytykset. Voidaan ajatella, että määrittämätön komponentti pystyy liikkumaan vapaasti avaruuden kuudessa eri suunnassa (x-, y- ja z-suunnat, sekä niiden suuntainen pyöriminen), ja kokoonpanomallinnuksessa on kyse näiden liikkumissuuntien rajoittamisesta. Joissakin sovelluksissa komponentin vapaa liikkuminen tietyssä suunnassa on tarkoituksen mukaista, minkä määrittely on yksi kokoonpanomallinnuksen tehtävistä.



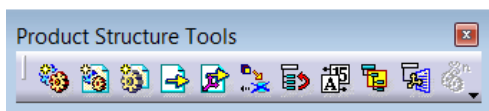
Kuva 48. Useasta eri osasta luoto kokoonpano. Kuvan kokoonpanossa on yhteensä 11 eri komponenttia.

Kokoonpanomallinnuksessa voidaan käyttää kahta lähestymistapaa: Bottom-Up- ja Top-Down-kokoonpanomallinnusta. Bottom-Up-mallinnuksessa komponentit luodaan ensin osansuunnittelumoduulissa, jonka jälkeen luodaan erillinen kokoonpanotiedosto, jossa osat liitetään toisiinsa. Tätä lähestymistapaa suositetaan erityisesti isojen kokoonpanojen luomisessa, koska tällöin piirteiden luonnissa on vähemmän rajoitteita ja komponentit voidaan luoda yksityiskohtaisemmin. Top-Down-kokoonpanomallinnuksessa osat luodaan kokoonpanomoduulin sisällä, jolloin osia ei tarvitse erikseen luoda osansuunnittelumoduulissa. Kaikista komponenteista luodaan silti erillinen tiedosto, jotka voidaan myös tarvittaessa avata erikseen yksilökohtaisina komponentteina osansuunnittelumoduulissa. Komponenttia suunnitellessaan suunnittelija käyttää apunaan muiden komponenttien geometriaa, jolloin osansuunnittelu ja kokoonpano tapahtuvat samanaikaisesti. Korkeakouluopetuksessa on suositeltavaa käyttää Bottom-Up-menetelmää, koska sen ymmärtäminen helpottaa merkittävästi Top-Down-menetelmän omaksumista.

CATIA V5

Kokoonpanomallinnus CATIAssa toteutetaan erillisessä Assembly Design -moduulissa, joku luo kokoonpanolle erillisen CATProduct-tiedoston. Kokoonpanon komponentit ovat kaikki erillisiä CATPart-tiedostoja, jotka tuodaan kokoonpanomallinnusmoduuliin, ja jossa niille asetetaan keskinäiset asemat kokoonpanossa. CATProduct-tiedoston voidaan ajatella olevan vain eräänlainen muistio siitä, miten yksittäiset komponentit sijoittuvat toisiinsa nähden, mutta se ei sisällä itse varsinaisia komponentteja. Samaa komponenttia voidaan käyttää lukuisissa eri kokoonpanoissa, aivan kuten todellisissa tuotteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen komponenttiedosto on oltava olemassa, ja esimerkiksi pelkkää kokoonpanotiedostoa ei voida lähettää ilman, että vastaanottajalla on myös varsinaiset komponenttiedostot.

Bottom-Up-menetelmässä kokoonpano aloitetaan kokoonpanomoduulissa tuomalla komponentti Product Structure Tools -työkalurivin (kuva 49) Existing Component -työkalulla (4. vasemmalta). Haluttu tiedosto valitaan tiedostoselaimesta, jonka jälkeen komponentti ilmestyy mallinnusalueelle. Top-Down-menetelmässä uuden komponentin luonti aloitetaan Part-työkalulla (3. vasemmalta), jonka jälkeen uusi osa ilmestyy määrittelypuuhun, ja ne tallentuvat omiksi Part-tiedostoiksi.



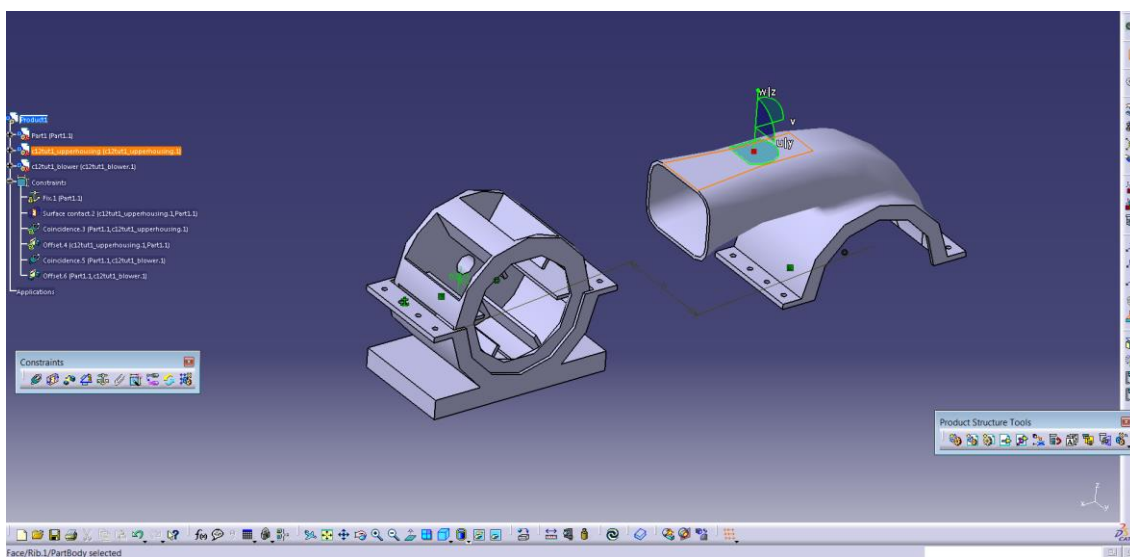
Kuva 49. Kokoonpanon rakenteeseen liittyvä työkalurivi.

Komponentin tuonnin jälkeen sille annetaan sen sijainnin määräävät määrytykset Constraints-työkaluriviltä (kuva 50), jossa valittavia määrytyksiä ovat päällekkäisyys (coincidence), kosketus (contact), etäisyys (offset), kulma (angle) ja kiinteä asema (fix). Muihin vertailun ohjelmistoihin työkalujen määrä on vähäinen ja edellyttää toisinaan kekseliäisyyttä kokoonpanomäärytyksien luomisessa.



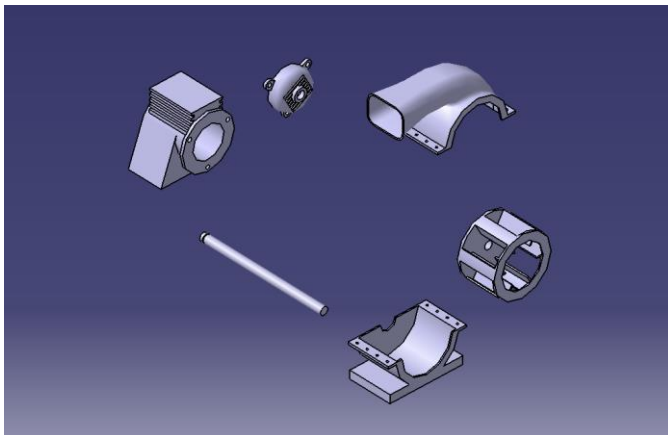
Kuva 50. Komponentin sijainnin määräävät työkalut.

Määrytykset ilmestyvät vasemmalla olevaan määrittelypuuhun, josta niiden selaaminen on hyvin kätevää. Komponentin vapaat liikkuvuus suunnat voidaan tarkistaa oikeasta ylänurkasta löytyvällä manipulointi-työkalulla (kuva 51). Lisäksi komponentin sijaintia voidaan hetkellisesti muuttaa esimerkiksi määrytyksiin tarvittavien geometrioiden valitsemisessa. Komponentti palautuu kokoonpanomäärytyksien mukaiselle paikalleen Update All -työkalulla (Ctrl+U).



Kuva 51. Työskentelyä kokoonpanomodulissa.

Räjätysnäkyä kokoonpanosta saadaan luotua yksinkertaisella Explode View -työkalulla. Työkalu vaikutti melko yksinkertaiselta ja sen käyttötarkoitus vaikutti enemmänkin visuaaliselta, eikä esimerkiksi yhteyttä työpiirustuksien luontiin löydetty vertailussa tehtyjen harjoitustöiden puitteissa. Oletusräjätysnäkyä on esitetty kuvassa 52.



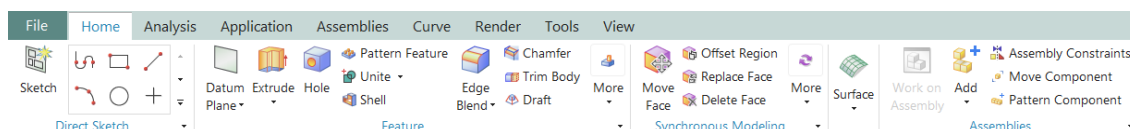
Kuva 52. Exploded View -toiminnolla aikaansaatu räjäytysnäkyä.

Kokoonpanomallinnus tämän vertailun puitteissa oli erittäin helppokäyttöinen, mutta samalla vaikutti tarjolla olevien toimintojen osalta rajoitetummalle kuin muut ohjelmistot. Peruskurssin puitteissa CATIAN kokoonpanomallinnuksessa ei päästä samanlaiseen laajuuteen kuin muissa vertailun ohjelmistoissa, ja toteutetut työt ovat lähinnä vain osien yhteen liittämistä. CATIAN visuaalisuus ja helppokäyttöisyys kokoonpanomoduulissa kumminkin osoittautuvat edukseen, ja kokoonpanomallinnuksen osalta CATIA saa 4 pistettä.

NX 10.0

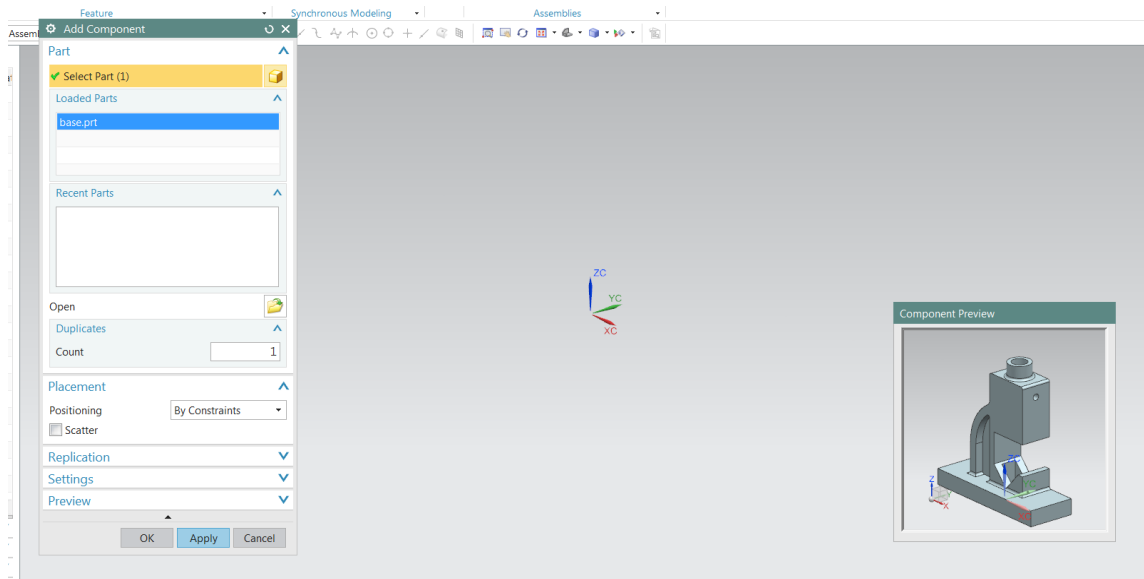
NX:n kokoonpanomallinnus toteutetaan niin kutsutussa kokoonpanoympäristössä, jossa komponentit yhdistetään toisiinsa parametrisella linkillä sekä dimensionaalisesti, että paikkasidonnaisesti. Kokoonpanon määritykset ovat luonteeltaan parametrisia, joten muutokset kokoonpanossa missä tahansa vaihetta ovat mahdollisia. Kokoonpanotiedostot NX:ssä ovat *.prt-päätteisiä, ja ympäristö on interaktiivinen sekä kaksisuuntaisesti assosiatiivinen. Yksittäisiä komponentteja voidaan muokata kokoonpanoympäristön sisällä ja komponenttien välisiä yhteensopivuusongelmia voidaan korjata. Tämä parantaa kokoonpanon tehokkuutta ja vähentää virheitä myös todellisessa valmistusprosessissa. Lisäksi voidaan luoda räjäytysnäkyä, mikä helpottaa osien kokoonpanon järjestyksen ymmärtämistä.

NX:ssä kokoonpanomallinnus on integroitu osasuunnittelumoduulin kanssa, ja toimintaympäristöt näyttävät keskenään hyvin samanlaisilta. Käytännössä huomataan, että mallinnusnäkyvän yläpuolisen työkalurivin Home-välilehti (kuva 53) on hyvin samanlainen kuin osasuunnittelumoduulissa, ja työkalurivin oikeaan reunaan on ilmestynyt Assembly-kategoria, josta komponentteja voidaan lisätä, sekä asettaa kokoonpanomäärittäjiä. Lisäksi erillinen Assemblies-välilehti on ilmestynyt yläriville. Toimintaympäristöjen integrointi parantaa erityisesti Top-Down-mallinnusta ja muutoksien teko on nopeaa, koska moduulien välillä ei tarvitse jatkuvasti vaihdella vaan kaikki työkalut löytyvät samasta paikasta.



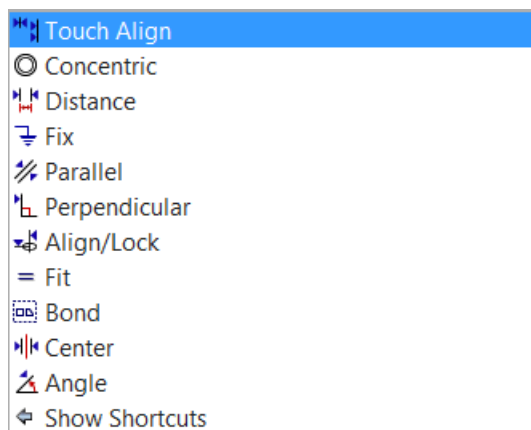
Kuva 53. Kokoonpanoympäristön työkalurivin Home-välilehti.

Kuten aikaisemmin mainittiin, Bottom-Up-menetelmässä kokoonpantavat osat on luotu erikseen omissa tiedostoissaan, jonka jälkeen ne tuodaan kokoonpanoympäristöön. Uusi komponentti tuodaan Add-painikkeella, jonka jälkeen avautuu uusi valintaikkuna (kuva 54). Valintaikkunassa valitaan lisättävä komponenttiedosto, jonka jälkeen komponentin esikatselunäkymä ilmestyy mallinnusnäkyvän oikeaan laitaan. Mikäli komponentti on jo kertaalleen ladattu kokoonpanoon ja sitä halutaan käyttää useamman kerran samassa kokoonpanossa, kuten usein esimerkiksi pulttien ja holkkien tapauksessa usein on, komponentti on valmiiksi valittavana Loaded Parts -valikon alla. Muita asetuksia tässä vaiheessa ei yleensä tarvitse tehdä, koska lisättävät osat sijoitetaan useimmiten kokoonpanomäärittäjiä (Constraints) käyttämällä.



Kuva 54. Komponentin lisäämisen yhteydessä avautuva valintaikkuna ja esikatselunäkymä.

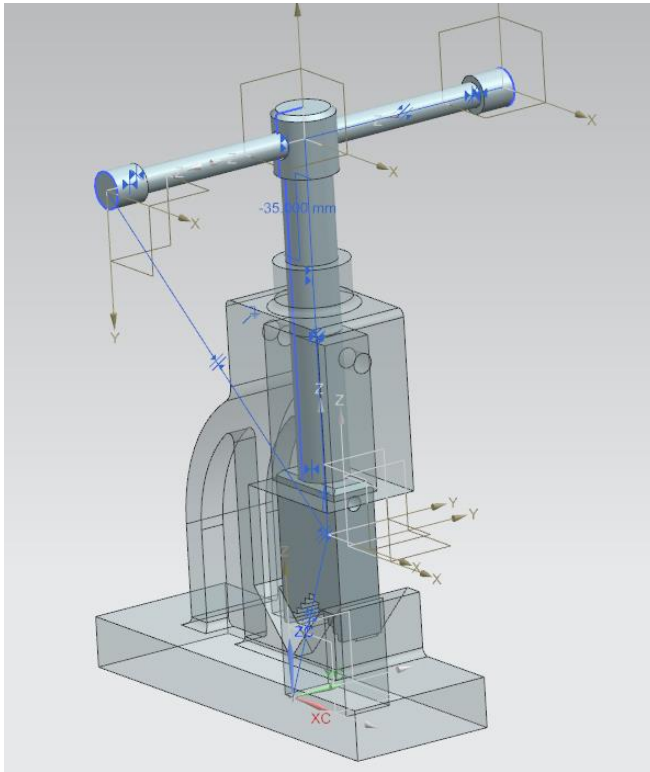
Seuraavaksi ilmestyy Assembly Constraints -valintaikkuna, jossa komponentin paikka kokoonpanossa määritetään kokoonpanomäärittelyjen avulla. Saatavilla olevat määrittelyt on esitetty kuvassa 55., jonka lisäksi kunkin valinnan takaa löytyy lukuisia määriä muita määrittelyjä. Komponentille annettavien määrittelyjen antamista helpottaa merkittävästi se, että määrittelyissä käytettävät piirteet voidaan valita esikatselunäkymästä. Varsinainen osa ei siis näy kokoonpanossa ennen kuin kaikki määrittelyt on sille annettu.



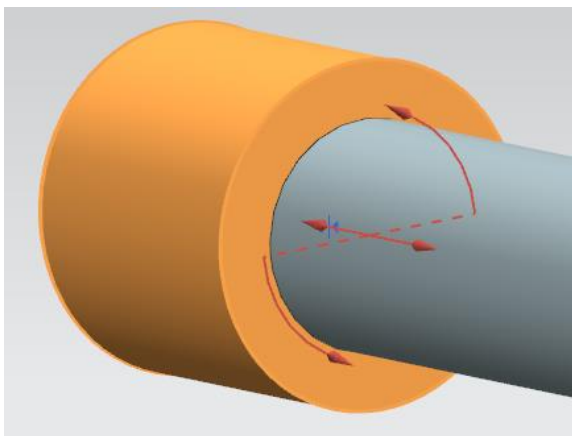
Kuva 55. NX:ssä saatavilla olevat kokoonpanomäärittelyt.

Koska kokoonpanomäärittelyyn tarvitaan usein komponenttien osamallinnuksessa käytettyjä vakiotasoja, mallinnusnäkyvä tulee hyvin yksinkertaisissakin mallinnuksissa melko sekavan näköiseksi (kuva 56). Näitä vakiotasoja pystyy toki piilottamaan erikseen,

mutta se tuottaa tarpeetonta lisätyötä. Myös komponenteille annetut kokoonpanomääritykset eivät olleet kovin havainnollisia mallinnusnäkyssä, vaan käytännöllisemmäksi todettiin komponenttien vapaiden liikkumissuuntien tarkastaminen Show Degrees of Freedom -toiminnolla (kuva 57) tai tarkastelemalla niitä määrittämissuunnissa. Navigaattorinkaan ei todettu olevan riittävän havainnollinen komponenttien välisten määritysten ymmärtämiseen.

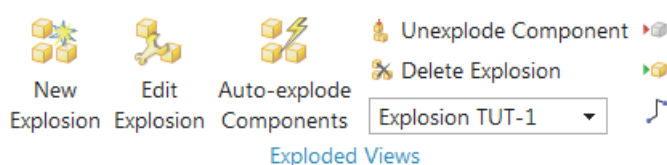


Kuva 56. Mallinnusnäkyästä tulee helposti sekava erityisesti vakiotasoja näytettäessä.

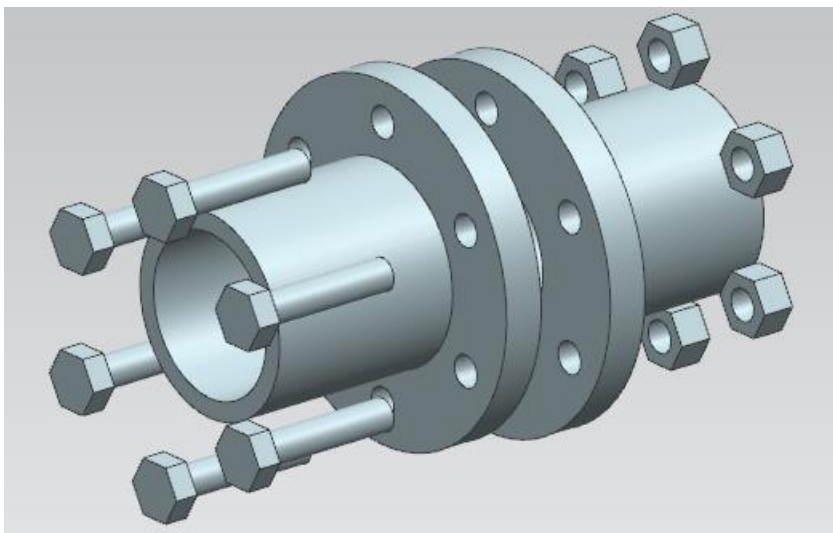


Kuva 57. Komponentin vapaat liikkumissuunnat ovat selkeästi havainnollistettavissa.

Kokoonpanon räjäytysnäkyä voidaan luoda Assemblies-välilehden Exploded views -kategoriasta (kuva 58). Uusi räjäytysnäky luodaan New Explosion -toiminnolla, jonka jälkeen räjäytysnäkyä voidaan muokata joko Auto-explode- tai Edit Explosion -toiminnoilla. Auto-explode-toiminnolla ohjelma päättää valituille komponenteille räjäytys-suunnan, kun taas Edit Explosion -toiminnolla käyttäjä itse määrittelee komponenttien sijainnit komponentteja siirtelemällä. Useimmiten räjäytyskuva on kätevä toteuttaa auto-explode-toiminnolla, jonka jälkeen yksittäisien komponenttien sijoittelua voidaan parantaa erikseen. Räjäytysnäky voidaan sulkea tai vaihtaa kategorian sisällä olevasta alavetopalkista, joten erilaisten näkymien välillä vaihtaminen on hyvin kätevää. Esimerkki NX:n räjäytysnäkyä on esitetty kuvassa 59.



Kuva 58. Räjäytysnäkyjen luontiin tarkoitettu työkalukategoria.



Kuva 59. Yksinkertainen räjäytysnäky NX:ssä.

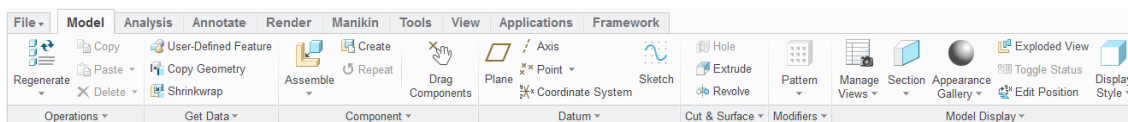
NX:n lukuisien valikoiden johdosta kokoonpanomallinnus vaikutti ensi alkuun hieman haastavalta, mutta työkalut oppii hyvin nopeasti. Tämän jälkeen kokoonpanomallinnuksesta tulee erittäin tehokasta, koska lähes kaikki on määriteltävissä käyttäjän ehdoilla, ei siis työkalujen. Tavallisessa kokoonpanomallinnuksessa on tehtävä hieman enemmän töitä sen eteen, että mallinnusalueen visuaalisuus säilyy hyvänä, mutta visuaalisuuden

kustomointiin on tarjolla myös lukuisia helppokäyttöisiä toimintoja. Osamallinnus- ja kokoonpanomallinnusmoduulin integrointi on toteutettu erinomaisesti, mikä helpottaa eri moduulien välillä liikkumista ja Top-down-menetelmällä mallintamista. Erilaisten räjäytysnäkökymien luontiin löytyy myös laajat työkalut. NX:n kokoonpanomoduuli saattaa 3D-mallintamisen peruskurssin puitteissa vaatia hieman enemmän aikaa, mutta sen mallinuksissa päästään myös tekemään huomattavasti enemmän. Haittapuolet liittyvät pääosin visuaalisuuteen, mutta ne ovat kokonaisuuden kannalta vähäpätöisiä. NX saa kokoonpanomallinnuksen osalta 5 pistettä.

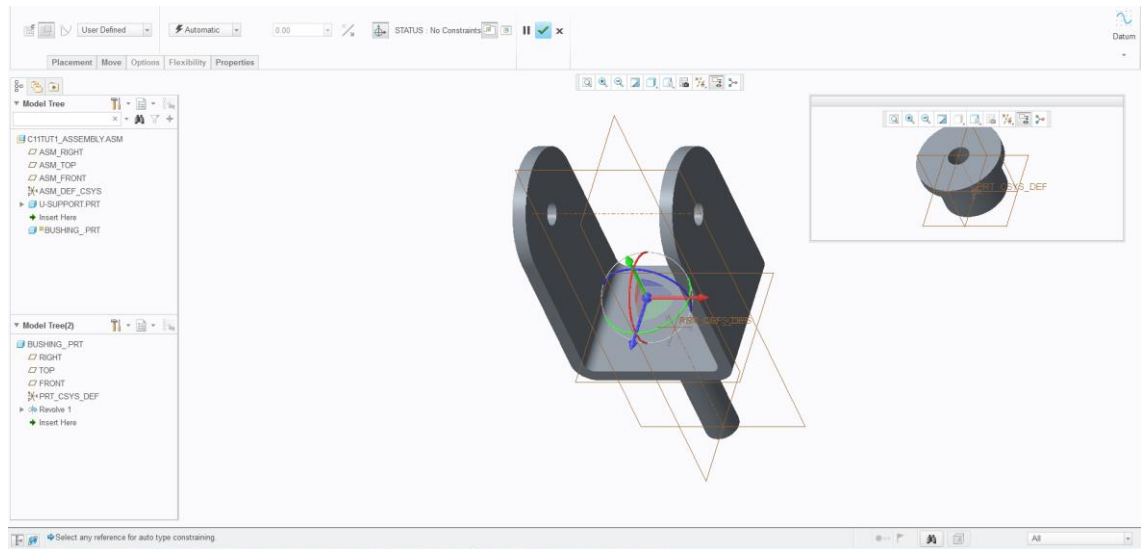
Creo Parametric 3.0

Kokoonpanomoduuli käynnistetään luomalla uusi Assembly-tiedosto (*.asm). Yleisnäkökymä on samanlainen kuin osamallinnuksessa, mutta ylävirin työkalut on muutettu kokoonpanomallintamisen tarpeisiin (kuva 60). Uusi osa tuodaan kokoonpanoon Assemble-työkalulla, jonka jälkeen avautuu osan tuontiin liittyvä toimintatila (kuva 61). Mallinuskäytön oikeaan laitaan ilmestyy tuotavan komponentin esikatselunäkymä, josta osan kokoonpanomäärittelyyn valittavat piirteet voidaan valita. Lisäksi vasempaan laitaan kokoonpanon määrittelypuun alapuolelle on ilmestynyt uusi määrittelypuu tuotavalle osalle, joka helpottaa piirteiden valitsemista. Geometrisista määrittelyistä usein puuttuva suunta on myös mahdollista määrittää työkalurivin Change orientation of constraint -työkalulla. Saatavilla olevat kokoonpanomäärittelyt on esitetty kuvassa 62.

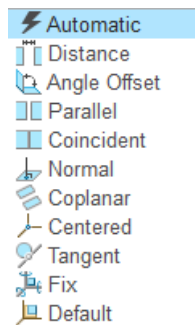
Merkittävimmäksi haitaksi todettiin myös osamallinnuksessa haitannut vakio- ja perustasojen huono visualisointi. Uusien osien tuonnissa tasojen määrä lisääntyy, mikä jälleen lisää visualisoinnin ylläpitämiseen vaadittua työtä. Lisäksi joissakin piirteiden valintaan liittyvissä toiminnoissa huomattiin myös visualisoinnista johtuvia vaikeuksia, kuten esimerkiksi sylinterimuotoisten piirteiden keskiakselin valinnassa.



Kuva 60. Kokoonpanomallinnuksen työkalurivi.

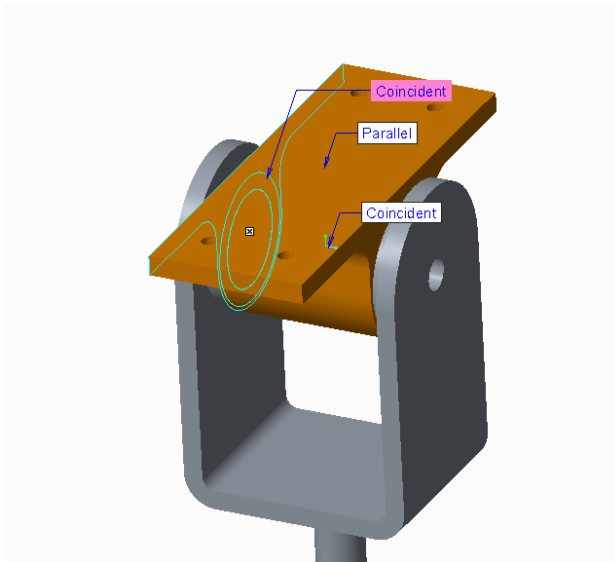


Kuva 61. Osan tuonnissa avautuva toimintatila.



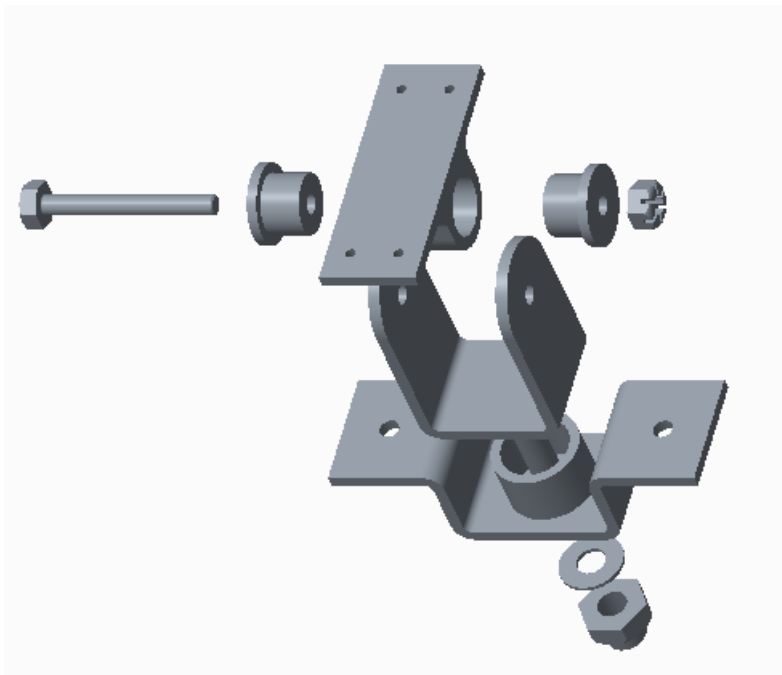
Kuva 62. Saatavissa olevat kokoonpanomääritykset.

Osan määritykset on esitetty selkeästi nuolilla ja nimityksillä (kuva 63). Siirtämällä hiiren määrittelyn päälle, korostuvat kokoonpanon piirteet, jonka mukaan määrittely on tehty. Kun komponentti on yksikäsitteisesti määritetty, työkalurivillä näkyvä tilakenttä ilmoittaa siitä. Osien komponenttimääritykset tehdään siis aina osakohtaisesti erillisessä toimintatilassa, mikä saattaa joissakin tapauksessa hidastaa komponentin muutoksien tekemisessä. Määrityksiä ei ole myöskään listattu esimerkiksi määrittelypuuhun, mikä edelleen rajoittaa työskentelyn yksittäisen osan muokkaamiseen.



Kuva 63. Osan määrittely on esitetty selkeästi mallinnusnäkymässä.

Erilaisia näkymiä kokoonpanolle voidaan luoda Model Display -ryhmän alta, josta yksi käytetyin toiminto on räjäytysnäköjen luominen. Osalle voidaan luoda lukuisia räjäytysnäköjä, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi työpiirustuksien luonnissa, mutta mallinnusohjelmiston näkymää varten kannattaa luoda vakioräjäytysnäköjä. Tämä näkö luodaan View Manager -toiminnolla, jonka jälkeen vakioräjäytysnäkö saadaan näkyviin Exploded View -toiminnolla. Kuvassa 64 on esitetty tyypillinen räjäytysnäkö.



Kuva 64. Räjäytysnäkö Creo Parametric 3.0:ssa.

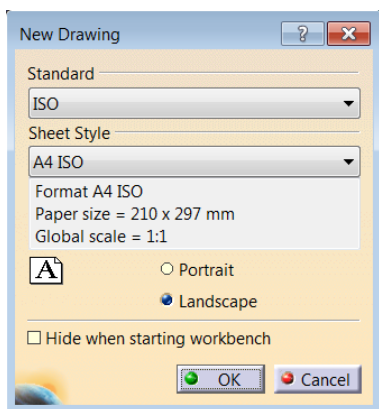
Kokonaisuutena Creo Parametricin kokoonpanomallinnus on erinomainen. Työkalut löytyvät kaikki helposti yhdeltä työkalurivin välilehdeltä ja osien tuonti, sekä määrityksien antaminen on helppoa ja visuaalisesti hyvin toteutettu. NX:ään verrattuna Creo Parametricin kokoonpanomallinnus on nopeammin opeteltavissa, koska moni toiminto on yhdistetty toisiinsa ja perusasioiden toteuttaminen on hyvin suoraviivaista. Creo Parametricin puutteet liittyvät pääosin jo osamallinnuksessa todettuihin visuaalisuusongelmiin, mutta niiden vaikutus kokonaisuuteen on hyvin pieni, joten Creo Parametric saa kokoonpanomallinnuksesta 5 pistettä.

4.5 Työpiirustuksien luonti

Kun komponentit ja kokoonpano on saatu mallinnetuksi, on useimmiten tarpeellista luoda niistä fyysinen työpiirustus, joka onkin tärkein dokumentti valmistuskoneiden parissa työskentelevälle koneistajalle. Mallinnusohjelmistoissa on yleensä erillinen piirustuksien luontimoduuli, jossa käyttäjä voi luoda kuvantoja ja ortografisia projektioita. Moduuli sisältää erilaisia työkaluja piirustuskuvien luomiseen, muokkaamiseen, mitoittamiseen ja merkintöjen tekemiseen. Työpiirustukset voidaan luoda joko mallinnetun mallin pohjalta tai piirtää suoraan tasopiirroksena.

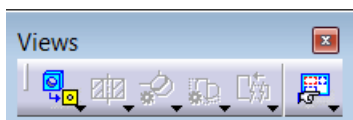
CATIA V5

Uusi työpiirustus aloitetaan luomalla uusi Drawing-tiedosto (tiedostopäätte *.CATDrawing). Tiedoston luonnin yhteydessä avautuvasta valintaikkunasta (kuva 65) valitaan käytettävä standardi (esim. ISO, ANSI, JIS), piirustuksen paperikoko (esim. A4, A3, A2) ja orientaatio. Tämä valikko olisi voinut olla laajempi, ja siinä olisi voitu määrittää esimerkiksi projektion metodi, eli käytetäänkö yhden vai kolmen käännön menetelmää. Tarkemmat piirustusasetukset on kumminkin määritettävissä määrittelypuusta halutun piirustuksen osalta Properties-valikosta.



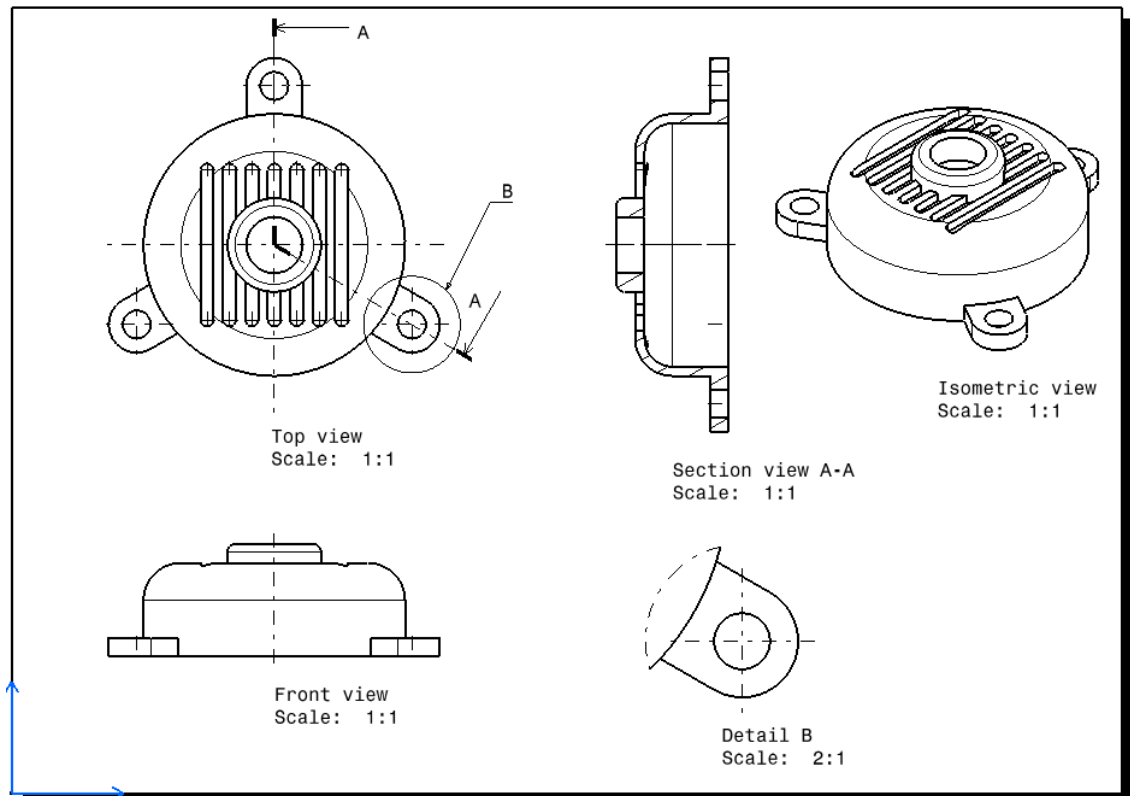
Kuva 65. Uuden piirustuksen luonti-ikkuna.

Työkalurivit löytyvät tuttuun tapaan näkymän oikeasta laidasta ja määrittelypuu vasemmalta. Ensimmäinen projektio valitaan Views-työkalurivin (kuva 66) Projections-valikosta, joka useimmiten on kuvanto edestä. Työkalun valittuaan käyttäjän on vaihdettava piirustusnäkyvä kuvattavan mallin mallinnusnäkyvään ja sen jälkeen klikattava haluttua projektiotasoa. Tämän jälkeen muut projektiosuunnat voidaan helposti luoda Projection View -työkalua käyttäen, joka hyödyntää luodun etuprojektion valintaa uusien projektioiden luonnissa. Hieman hankaluutta aiheuttava tekijä on se, että määrittelypuussa on osattava vaihtaa oikea elementti toimintatilaksi kaksoisklikkaamalla sitä. Toisinaan jotkin työkalut eivät ole käytössä sen takia, että toimintatilaksi on valittu väärä elementti.



Kuva 66. Erilaisten näkymien ja projektioiden luomiseen tarkoitettu työkalurivi.

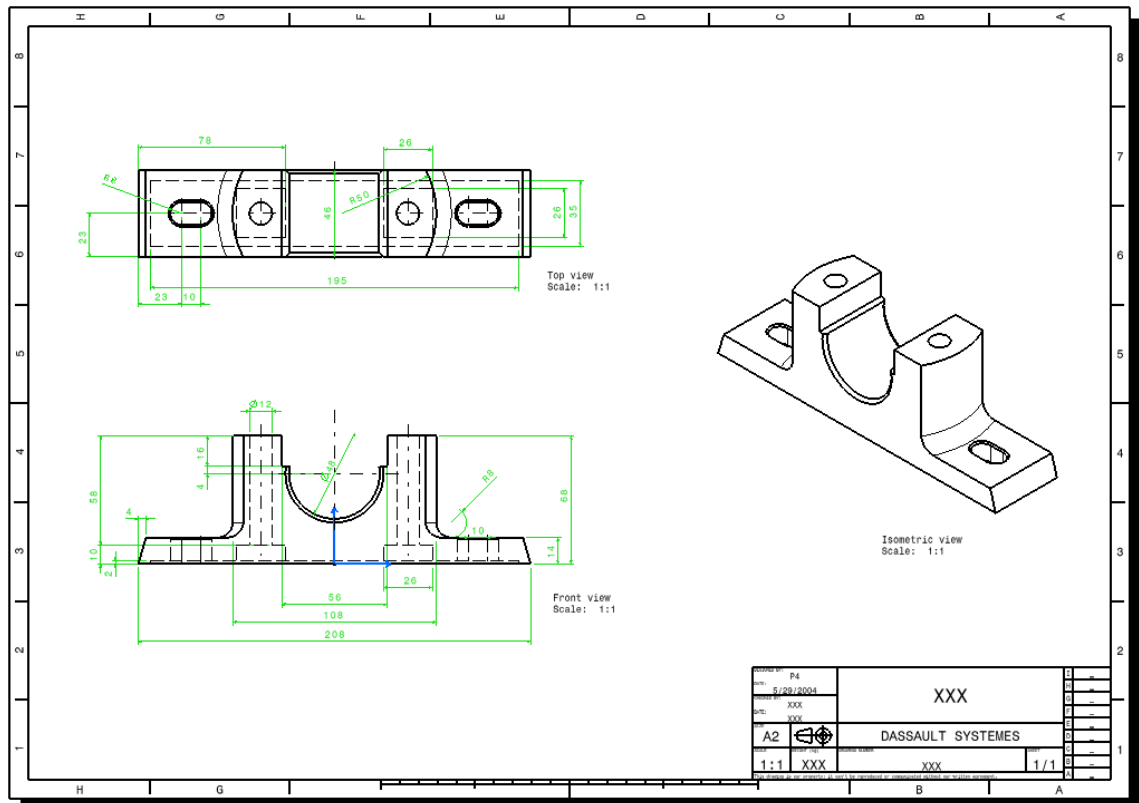
Muita käytössä olevia työkaluja ovat poikkileikkauksen, yksityiskohdan ja isometrisen näkymän luonti. Työkalujen käyttäminen on helppoa ja työpiirustuksesta saa nopeasti tehtyä siistin ja havainnollisen. Piirustuksien luonnissa ei ole merkittävää eroa kokoonpanojen tai komponenttien kuvantamisessa. Kuvassa 67 on esitetty erilaisilla perustoinnoilla toteutettuja näkymiä.



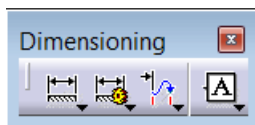
Kuva 67. Työpiirroksessa on käytetty perusnäkyvien luonnin lisäksi poikkileikkausta, yksityiskohtaista ja isometristä näkymää.

Havainnollisella työpiirustuksella on tarkoituksenmukaista olla kehys ja tietoalue. Piirustuksen taustaa päästään muokkaamaan valitsemalla Edit-valikosta Sheet Background -valinta (Huom. Toiminto saattaa olla lukittuna, jolloin se täytyy käydä avaamassa CATIAN asetusvalikosta). CATIAssa on vakiona tarjolla hyviä piirustusmalleja, jota on myös käytetty kuvassa 68. Tietoalueelle voidaan syöttää tärkeitä piirustuksia koskevia tietoja, koska kaikki tieto ei välttämättä ole selvitettävissä pelkästään mallin kuvannoista.

Työpiirustukseen mitat voidaan lisätä joka yksitellen Dimensioning-työkalurivin (kuva 69) työkaluja käyttäen tai automaattisesti Generate Dimensions -työkalulla. Yleisesti ottaen aloittelijalle automaattinen työkalu on soveltuvampi, koska tällöin komponentti ei voi jäädä alimitoitetuksi. Automaattinen työkalu luo mitat piirustukseen, jotka useimmiten on sijoitettu satunnaisesti. Käyttäjän tehtäväksi jää siis automaattisten mittojen asettelu, sekä tarpeettomien mittojen poistaminen. Kuvassa 68 esitetyn piirustuksen mitat on luotu edellä kuvattua menetelmää käyttäen. Jostakin syystä CATIA käyttää vakiona kirkkaan vihreää väriä automaattisten mittojen luontiin, joka myös tulostuu varsinaiseen työpiirustukseen, mikäli niitä ei muuteta.

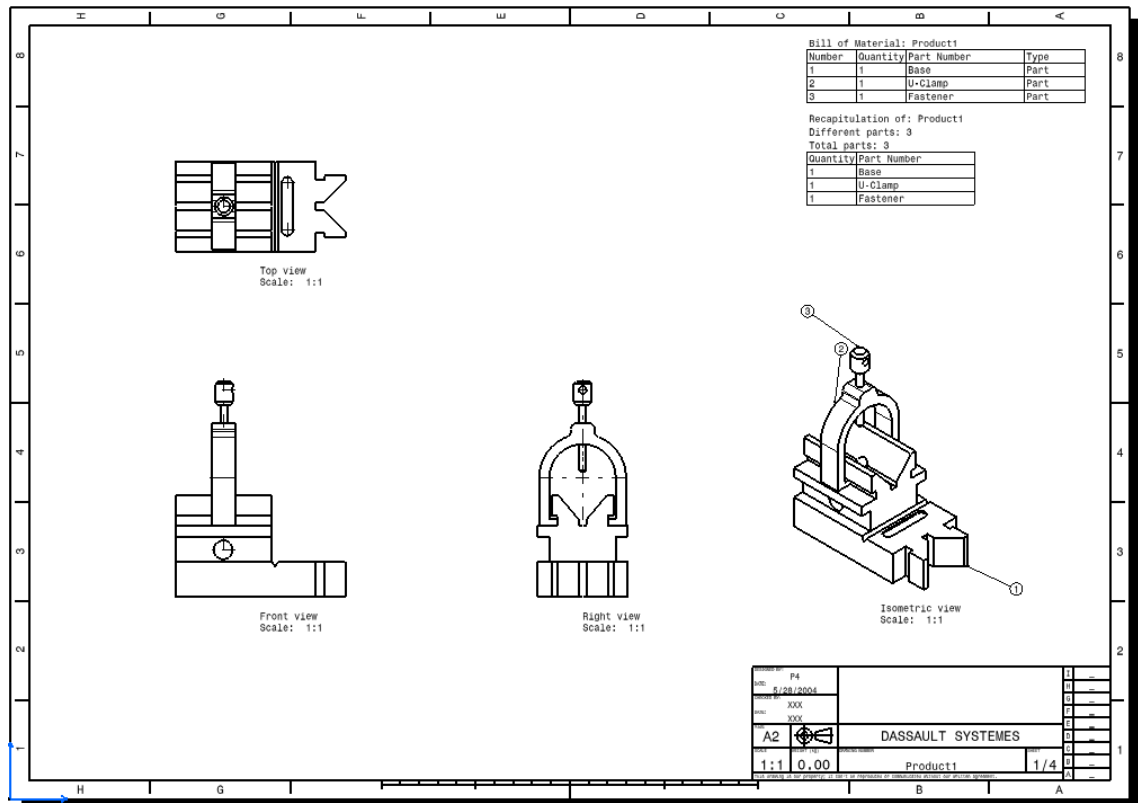


Kuva 68. Työpiirustus, jossa on käytetty vakiokehystä ja automaattisesti luotuja mittoja.



Kuva 69. Dimensioning-työkalurivin työkaluilla voidaan luoda mittoja ja merkintöjä piirustukseen.

Osaluettelon luominen CATIAssa osoittautui hieman haasteelliseksi. Käytännössä käyttäjän on mentävä kokoonpanomoduuliin ja luotava numerointi Generate Numbering -työkalua käyttäen, sekä asetettava osaluettelon formaatti Analyze-valikosta. Tämä ei varsinaisesti ole kovin helppokäyttöinen tapa luoda yksinkertaista osaluetteloa ja käyttäjän on todellakin tiedettävä, mistä valikoista tietyt asetukset on säädettävissä. Kuvan 70 oikeassa ylälaudassa on näkyvissä kokoonpanon osaluettelo ja isometriseen näkymään on lisätty komponenttien numerointi.

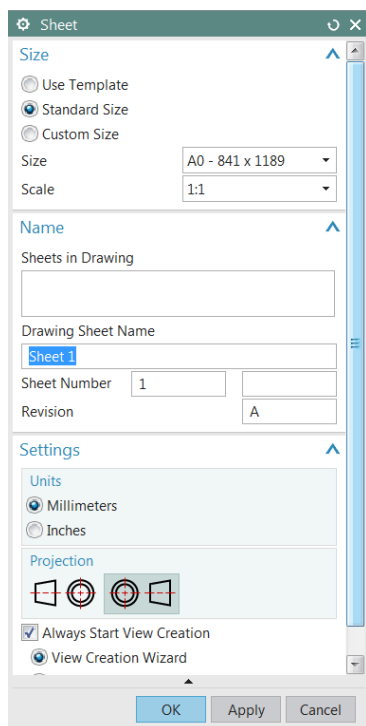


Kuva 70. Kokoonpanon työpiirustus, jossa oikeaan ylälaitaan on lisätty osaluettelo.

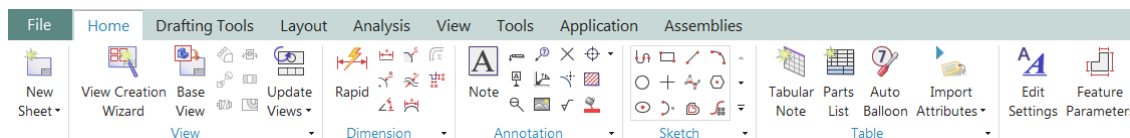
CATIA:n työpiirustusmoduulissa on samankaltaista vaikeakäyttöisyyttä kuin muissakin moduuleissa: jos et tiedä mitä työkalua käyttää ja miten, on hyvin vaikea suorittaa haluttuja toimenpiteitä. Kun työkalut tulevat tutuiksi, on piirustuksien eri projektioita kumminkin helppo luoda, joista erityisesti poikkileikkauksien ja yksityiskohtaisten kuvantojen luonti on toteutettu hyvin. Kokoonpanopiirroksista taas puuttuvat esimerkiksi helposti luotavat osalistaukset tai räjäytyskuvat. Piirroksista saadaan kumminkin hyvin ammattimaisen näköisiä CATIAsta vakiona löytyvien kehyksien ja tietalueiden avulla, ja visuaalisesti CATIA vertailun paras. Näistä syistä CATIA saa työpiirustuksien luonnin osalta 4 pistettä.

NX 10.0

Työpiirustuksen luonti NX:ssä aloitetaan Application-välilehden takaa löytyvällä Drafting-työkalulla. Tämän jälkeen avautuu uusi valintaikkuna (kuva 71), jossa piirustuksen alkumääritykset voidaan tehdä. Valintaikkunassa määritetään paperin koko, skaalaus, käytettävät yksiköt sekä projektiomenetelmä. Tämän jälkeen avautuu työpiirustusmoduuli, jonka mukainen työkalurivi on esitetty kuvassa 72.



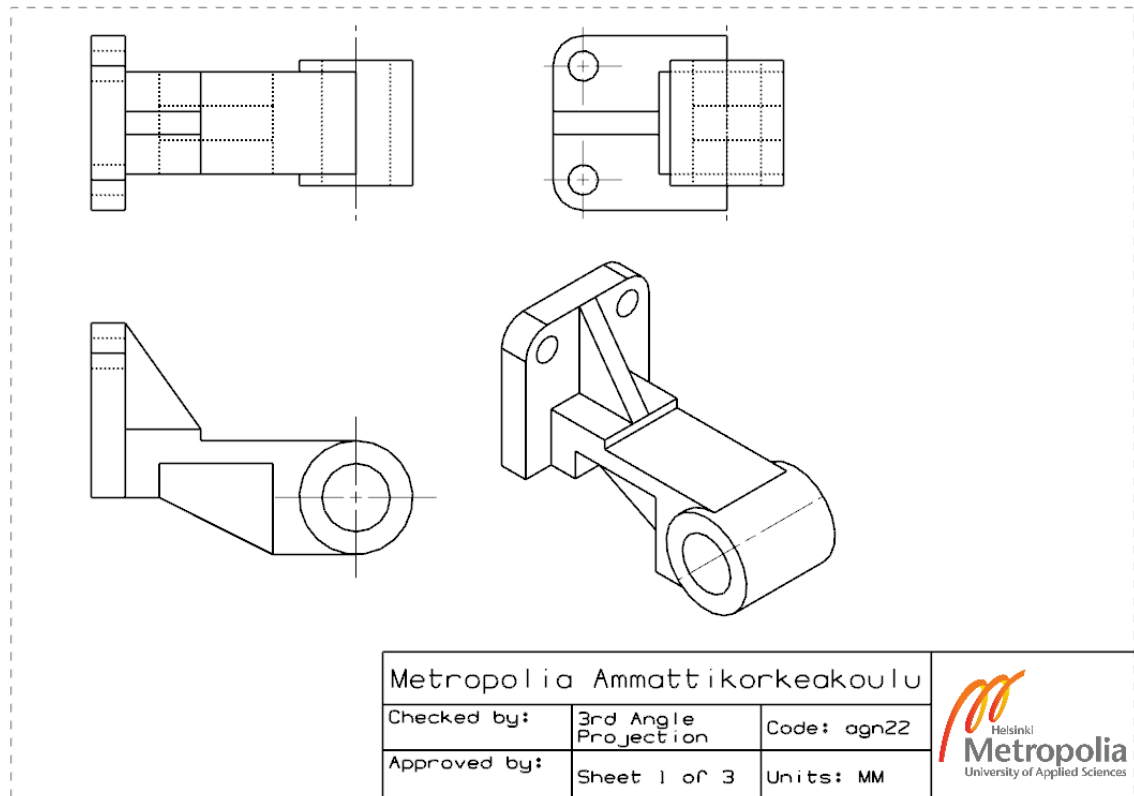
Kuva 71. Työpiirustuksen luonnin yhteydessä avautuva valintaikkuna.



Kuva 72. Työpiirustusmoduulin työkalurivi.

Piirustuksen perusnäkyä luodaan Base View -työkalulla, jonka jälkeen se voidaan yksinkertaisesti vain sijoittaa piirustusalueelle. Tämän jälkeen avautuu automaattisesti projektionäkymän luontityökalu, ja eri projektionäkymät voidaan sijoittaa perusnäkyä ympärille. Apuviivat auttavat näkymien symmetriseen sijoitteluun, ja tarvittavat näkymät saadaan luotua todella nopeasti. Erilliset näkymät, kuten esimerkiksi isometrinen näky, voidaan luoda edelleen Base View -työkalua käyttäen.

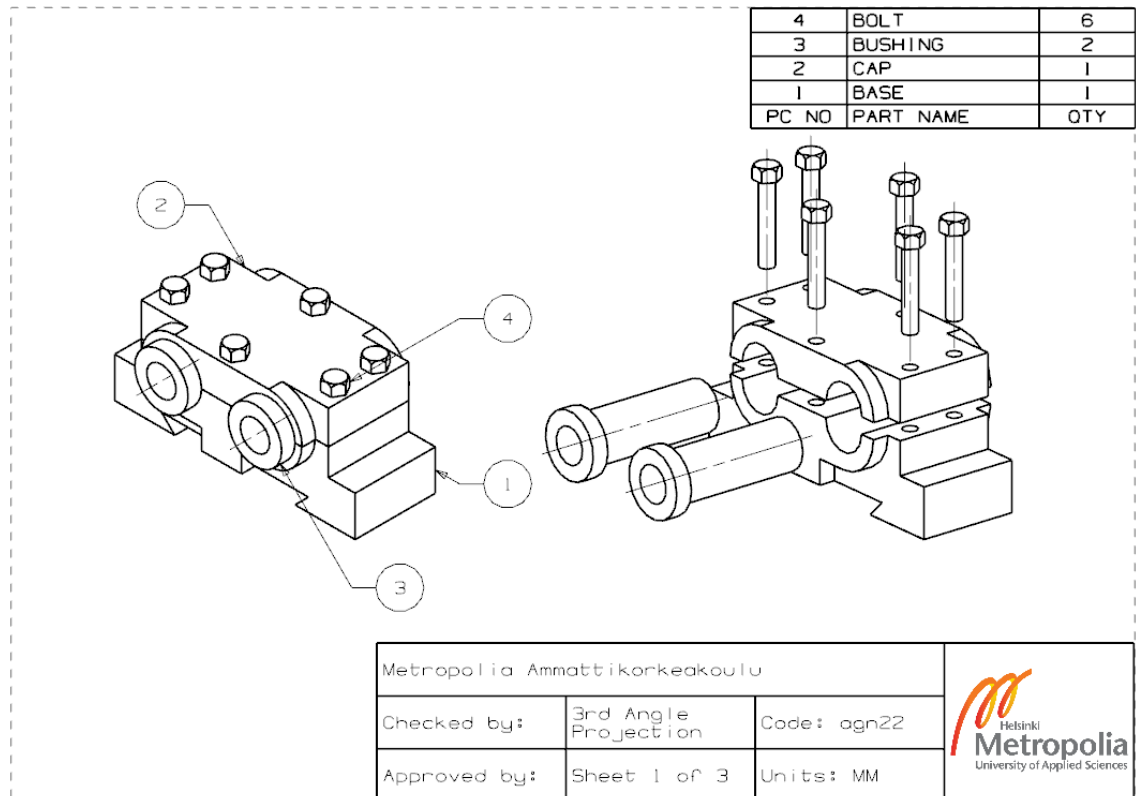
Piiloviivojen, eli projektoiden takana esiintyvien piirteiden esittämiseen tarvittavat viivat, on vakiona kytketty pois päältä, joten ne on kytkettävä päälle näkymän Settings-valikosta. Samasta valikosta voidaan tehdä myös muita muutoksia näkymiin, kuten esimerkiksi säätää eri viivojen paksuutta. Kuvassa 73 on esitetty edellä kuvattujen menetelmien mukaan luotu työpiirustus, johon on lisätty katkonaiset piiloviivat.



Kuva 73. Yksinkertaisia työkaluja käyttäen luotu työpiirustus.

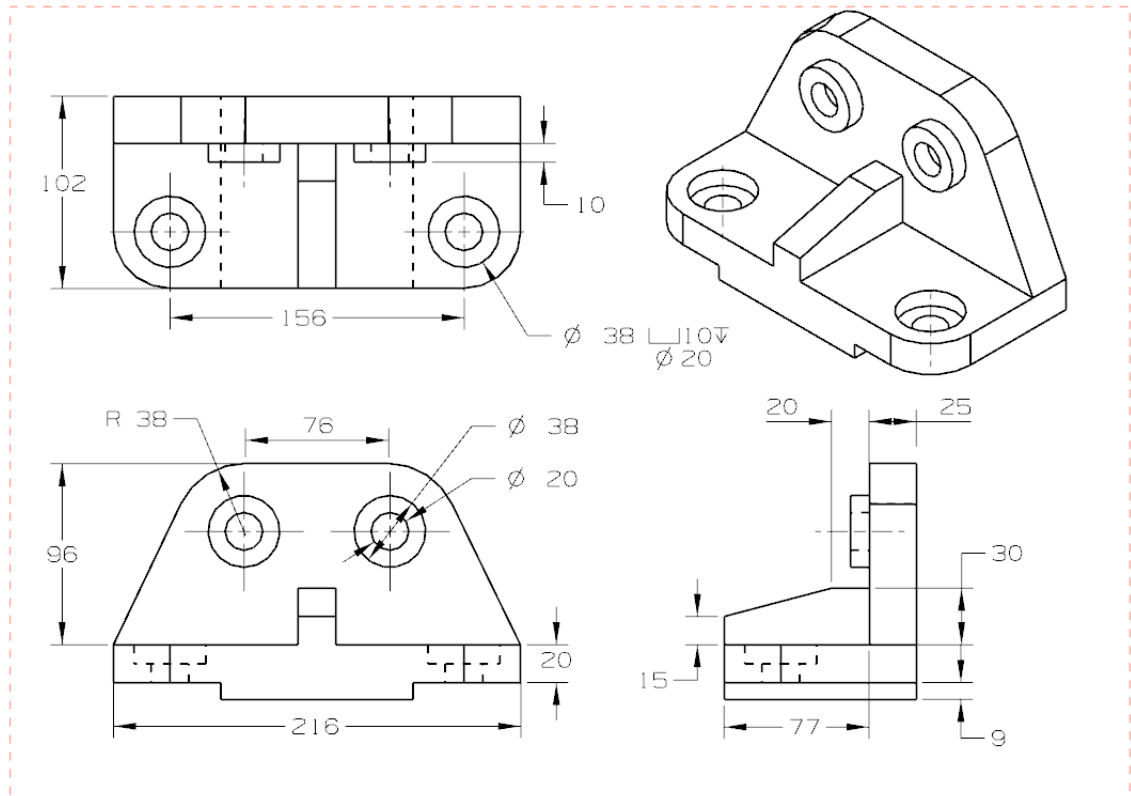
Kokoonpanojen työpiirustuksissa räjäytysnäkömät voidaan suoraan tuoda työpiirustukseen. Tämä tapahtuu vaihtamalla ensin kokoonpanomoduulissa kokoonpano räjäytysnäkömään, jonka jälkeen Base View -työkalulla valitaan Trimetrinen näkömä perusnäkömäksi.

Kokoonpanon komponenttilistaus voidaan tuoda Parts List -työkalulla, jonka jälkeen automaattisesti luotu taulukko sijoitetaan piirustusalueelle. Ohjelma käyttää hyödyksi kokoonpanomallinnuksessa annettuja tietoja, ja listauksen tekeminen on hyvin yksinkertaista. Samaan tapaan osaluettelon numerointi voidaan lisätä näkömään Auto Balloon -työkalulla, jossa ensin valitaan luotu osaluettelo ja sen jälkeen käytettävä näkömä. Kuvassa 74 on esitetty edellä kuvattujen menetelmien mukaan luotu kokoonpanopiirustus.



Kuva 74. Kokoonpanopiirustus osalistauksella ja -numeroinnilla.

Komponentit voidaan mitoittaa joko automaattisesti Feature Parameters -työkalulla tai yksittäin Dimension-kategorian työkaluja käyttäen. Automaattinen mitoitus ei tämän vertailun puitteissa vaikuttanut kovin toimivalta: käytännössä käyttäjän on valittava listalta tuotavien piirteiden mitoitukset ja tämän jälkeen valittava kuvanto, johon mitat sijoitetaan. Ongelmallisen tästä tekee se, että piirteet on tässä valikossa esitetty pelkkien nimien perusteella, eikä käyttäjällä todennäköisesti ole käsitystä mistä osan piirteestä on kyse. Jos taas komponenttiin yrittää lisätä kaikkien piirteiden mitoitukset, ohjelmisto todennäköisesti estää tämän virheilmoituksella. Mitat onkin kätevämpää lisätä manuaalisesti mitoitustyökaluja käyttäen, jotka ovat käytettävyydeltään hyvin samanlaiset kuin tasopiirtämisessä. Rapid Dimensions -työkalulla manuaalinen mitoittaminen on tehty nopeaksi. Kuvassa 75 on esitetty mitoitettu työpiirustus.

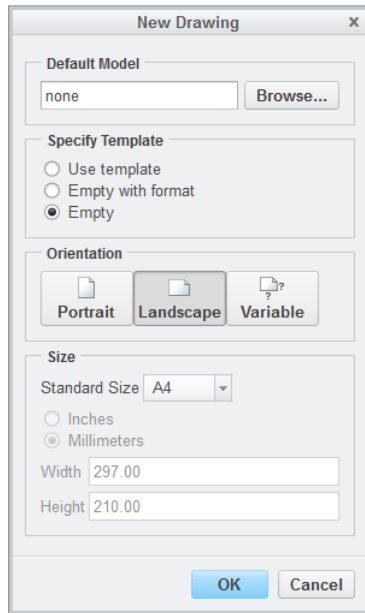


Kuva 75. Mitoitettu työpiirustus NX:ssä.

NX:n työpiirustusmoduuli on kätevästi integroitu muiden moduulien kanssa, ja on ainakin peruskurssin kannalta hyvä ratkaisu yhdistää malli ja piirros samaan tiedostoon, jolloin eri tiedostojen ja moduulien välillä ei tarvitse jatkuvasti vaihdella. Työkalut ovat helppokäyttöisiä ja piirustuksen saa luotua vaivattomasti. Erityisesti osalistauksien luonti on NX:ssä toteutettu hyvin, ja kokoonpanopiirustuksien luonti oli vertailun osalta helpointa. Merkittäviä puutteita muihin vertailun ohjelmistoihin verrattuna NX:ssä ei ole, ja täten ohjelmisto saa työpiirustuksien luonnin osalta 5 pistettä.

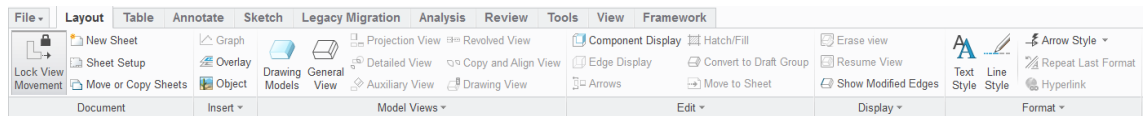
Creo Parametric 3.0

Työpiirustuksen luonti aloitetaan Creo Parametricissa luomalla uusi Drawing-tiedosto (*.drw). Tiedoston luonnin yhteydessä avautuvaan valintaikkunassa (kuva 76) valitaan piirustuksen malli, sekä syötetään lähinnä piirustuksen kokoon ja orientaatioon liittyvät määrittelyt.



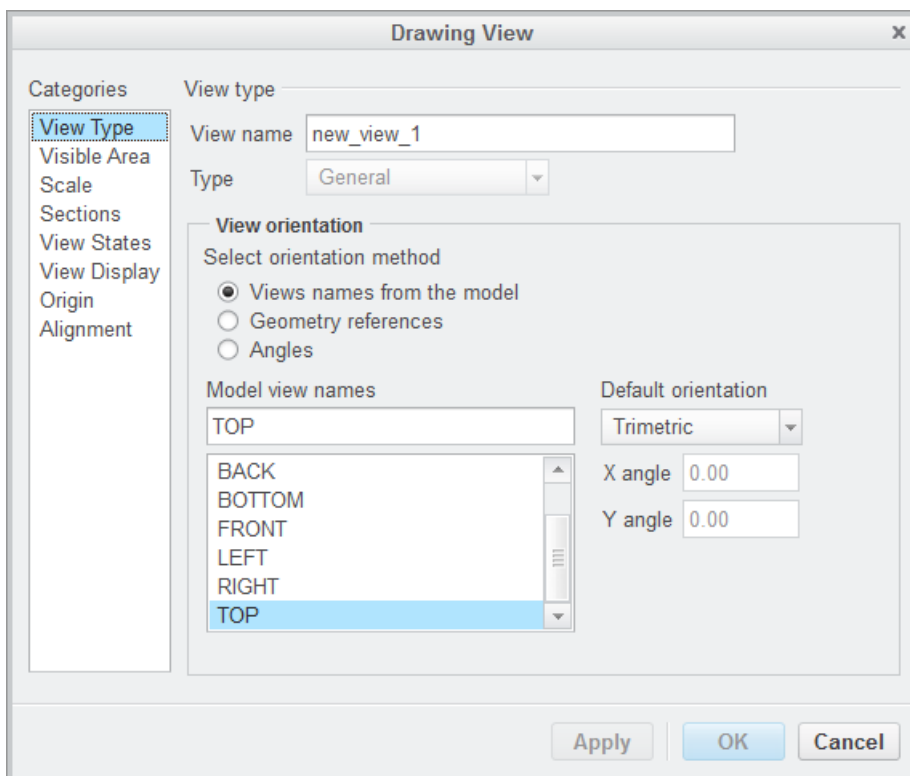
Kuva 76. Drawing-tiedoston luonnin yhteydessä avautuva valintaikkuna.

Työpiirustusmoduuli on selkeästi toteutettu ja näkymän vasemmasta reunasta löytyy nyt kaksi määrittelypuuta: yksi työpiirustukselle ja toinen mallinnetulle kappaleelle. Näkymän yläreunasta löytyvä työkalulehtiä on esitetty kuvassa 77.



Kuva 77. Työpiirustusmoduulin työkalulehtiä.

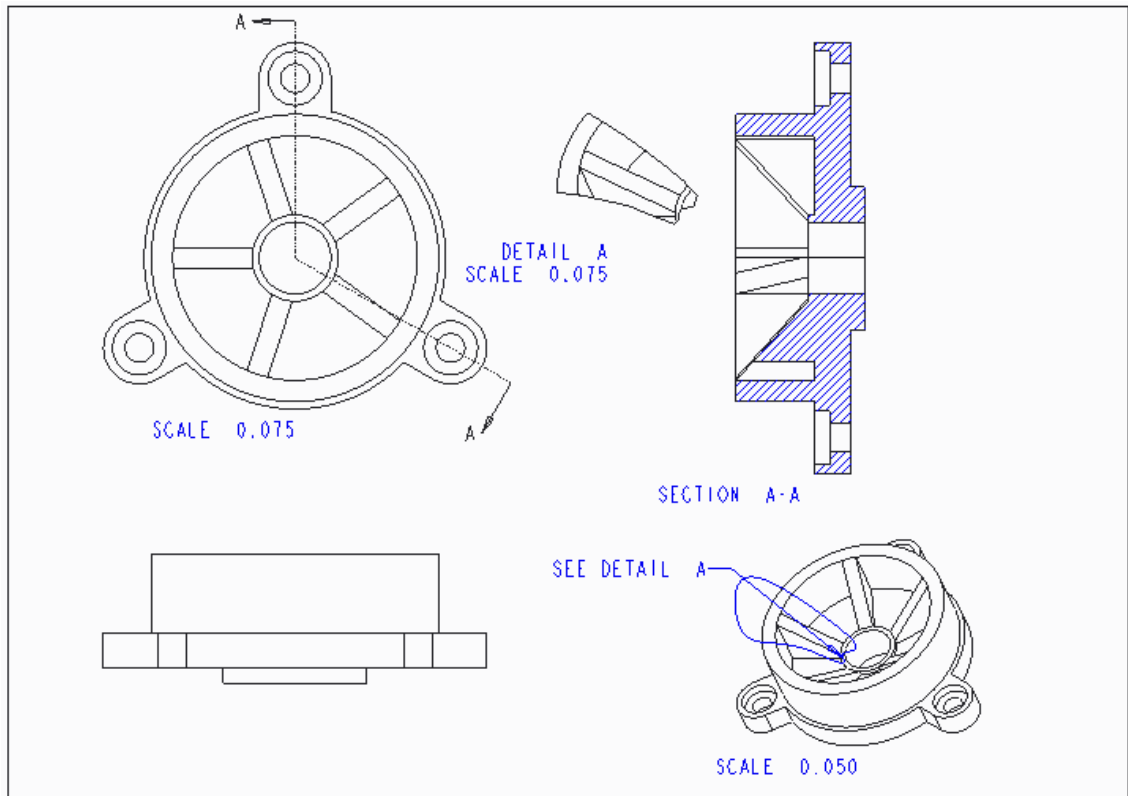
Piirustuksen teko voidaan aloittaa valitsemalla työkaluriviltä General View -työkalu. Tämän jälkeen klikataan johonkin kohtaa piirustusaluetta, jonka jälkeen toiminto avaa uuden valintaikkunan (kuva 78), jossa näkymän määrittelyt voidaan valita lukuisista eri kategorioista, joista tyypillisimmät valinnat tehdään View Type- ja Scale-kategorioista.



Kuva 78. Piirustusnäkyvän asetusvalikko (aukeaa myös kaksoisklikkaamalla kuvantoa).

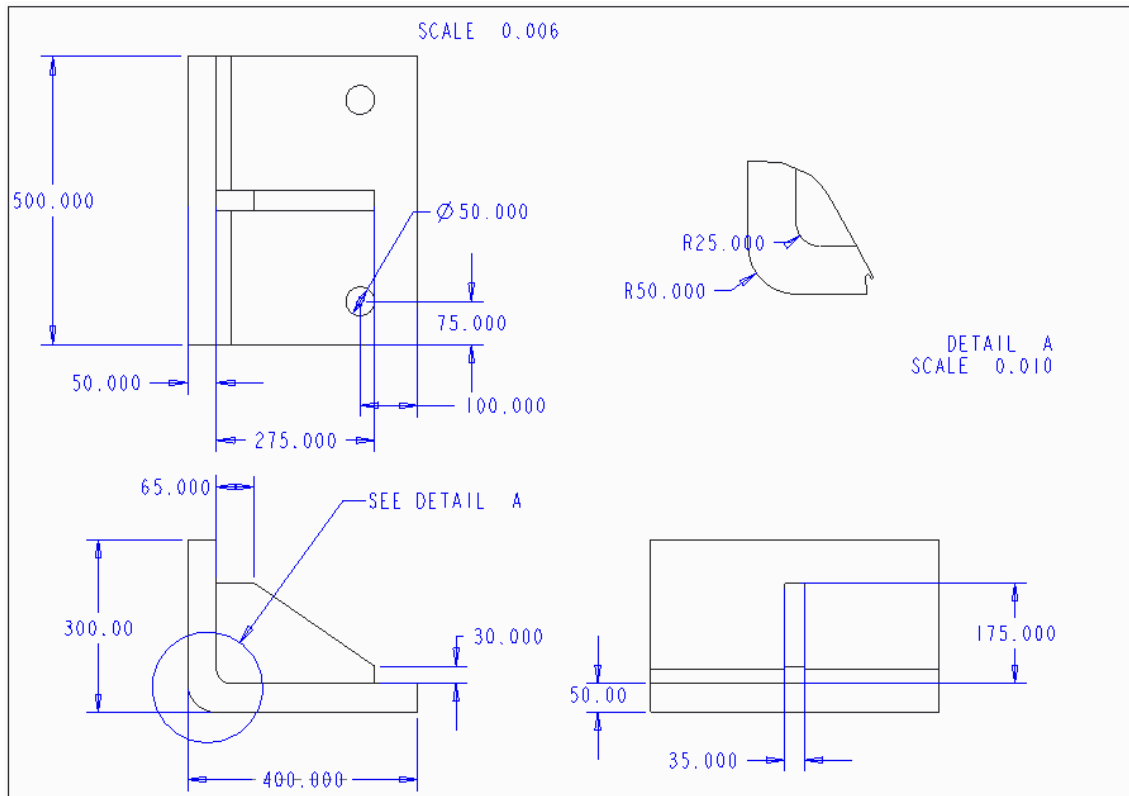
Kappaleen visuaalisuutta muokataan osamallinnus- ja tasopiirtomodulien tapaan View-pikatyökaluriviltä. Näkyvän visualisoidun eteen on jälleen tehtävä työtä, ja piirustusmoduulissa tämä lähinnä tarkoittaa Display Style ja Repaint-toimintojen käyttämistä. Vakiona näkyvät aputasot ja -akselit on myös syytä piilottaa.

Eri projektiosuunnat on helppo luoda perusnäkyvän pohjalta Projection-työkalua käyttäen. Poikkileikkauksen luominen taas on toteutettu erittäin monimutkaisesti ja se vaatii aivan liikaa toimintoja käyttäjältä. Käytännössä poikkileikkauksen luominen edellyttää erillisen moduulin avaamista, jossa eri tasojen pohjalta poikkileikkaus luodaan. Tämä edellyttää jälleen visuaalisuusasetuksien jatkuvaa muuttamista ja tuntuukin, että ohjelma vaatii käyttäjältä tarpeettoman tarkkoja määrittämiä toiminnon suorittamiseksi. Poikkileikkausten luominen saattaa peruskurssin puitteissa olla hankalaa. Isometrinen näkyvä luodaan perusnäkyvän tavoin General View -työkalulla eikä sen suhteen vaikeuksia. Yksityiskohtainen kuvanto luodaan Detailed View -työkalulla, jossa käyttäjä piirtää vapaasti hiirellä alueen yksityiskohtakuvan luomiseksi. Lopputuloksesta saattaa tulla epäsiisti, mikäli käyttäjän piirtotaito hiirellä ei ole riittävän hyvä. Kuvassa 79 on esitetty edelle kuvattuja menetelmiä käyttäen tehty työpiirustus.



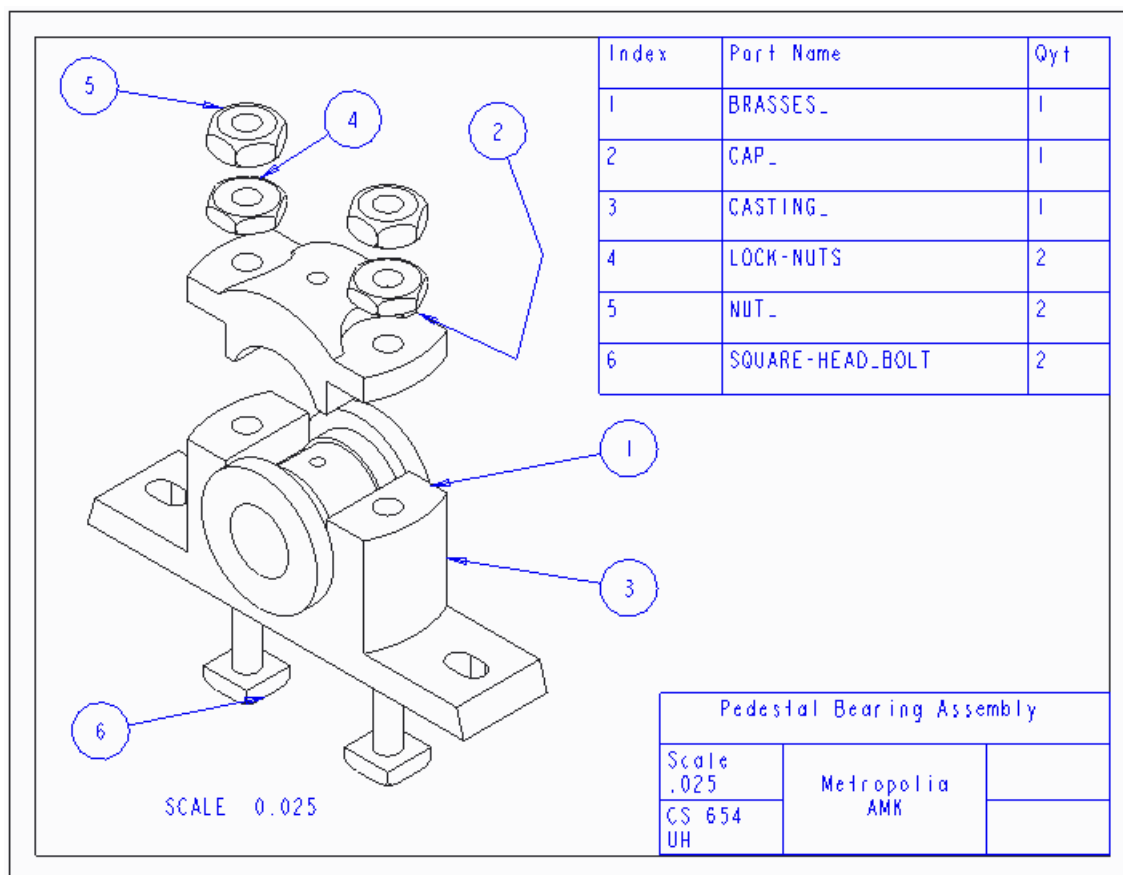
Kuva 79. Työpiirustus komponentista, johon on lisätty poikkileikkauskuva, yksityiskohtainen, sekä isometrinen näkymä.

Komponentin mitoitukset ja merkinnät voidaan lisätä Annotate-välilehdeltä. Mitat voidaan lisätä joko automaattisesti Show Model Annotations -työkalulla tai manuaalisesti Dimensions-työkalulla. Automaattisessa mitoittamisessa käyttäjä valitsee piirustuksesta ensin mitoitettavan piirteen, jonka jälkeen ohjelma näyttää kaikki piirteelle mahdolliset mitoitukset. Käyttäjä voi tässä vaiheessa valita kaikki piirteet säilytettäväksi tai valita niistä vain tarpeelliset. Tarpeettomat piirteet on kumminkin myöhemmin poistettava ja piirtoalueen mitat asetettava mahdollisimman havainnollisesti. Automaattinen mitoitus todettiin Creo Parametricissa vertailun parhaaksi, vaikka toimintoa voisikin kutsua ”puoliautomaattiseksi”. Kuvassa 80 on esitetty mitoitettu työpiirustus. Vaikka mitat näkyvätkin sinisellä värillä itse ohjelmassa, näkyvät ne lopullisessa tulosteessa harmaasävyisinä.



Kuva 80. Creo Parametricin työpiirustus. Lopullisessa tulosteessa mitoitukset muuttuvat harmaasävyisiksi..

Kokoonpanopiirroksissa osalistojen luonti edellyttää taulukon luomista. Taulukko voidaan luoda Table-välilehdeltä Insert Table -toimintoa käyttäen. Taulukkojen luominen on melko yksinkertaista, mutta osalistauksien luomista varten käyttäjän on perehdyttävä taulukkodatassa käytettäviin niin kutsuttuihin raporttisymboleihin (report symbols). Näiden pohjalta käyttäjä voi luoda osalistauksen ja samalla myös numeroida komponentit. Kokoonpanon räjäytyskuva saadaan näkyviin General View -työkalun View States -kategoriasta. Kuvassa 81 on esitetty kokoonpanopiirustus räjäytyskuvalla, johon on lisätty osalistaus sekä tietoaalue. Lopullisessa tulosteessa sinisellä näkyvät elementit muuttuvat harmaasävyisiksi.



Kuva 81. Kokoonpanopiirustus räjäytyskuvalla, johon on lisätty osalista sekä tietoa-alue.

Kokonaisuutena Creo Parametricin työpiirustusmoduulilla saadaan luotua kuvaavia työpiirustuksia niin kokoonpanoista kuin yksittäisistä komponenteista. Jotkin toiminnoista, kuten esimerkiksi yllä käsitellyt poikkileikkauksien tai osalistauksien luonti, vaikuttivat kumminkin tarpeettoman monimutkaisille käyttäjä. Näistä syistä Creo Parametric saa työpiirustusmoduulin osalta 4 pistettä.

4.6 Pintamallintaminen

Teollisessa muotoilussa suunnittelijat painottavat tuotteen muotoilua ja tyyliä mekaanisten ominaisuuksien lisäksi. Yleisesti ottaen tavoitteena on tehdä tuotteesta houkuttelevampi käyttäjän näkökulmasta, ja tuotteen muotoa hallitaan useimmiten pintamallinnusmetodeilla. Pintamallit ovat kolmiulotteisia malleja, joilla ei ole paksuutta tai massaa. CAD-ohjelmistoissa on useimmiten tarjolla lukuisia pintamallinnustyökaluja, joilla saadaan luotua hyvinkin monimuotoisia pintamalleja.

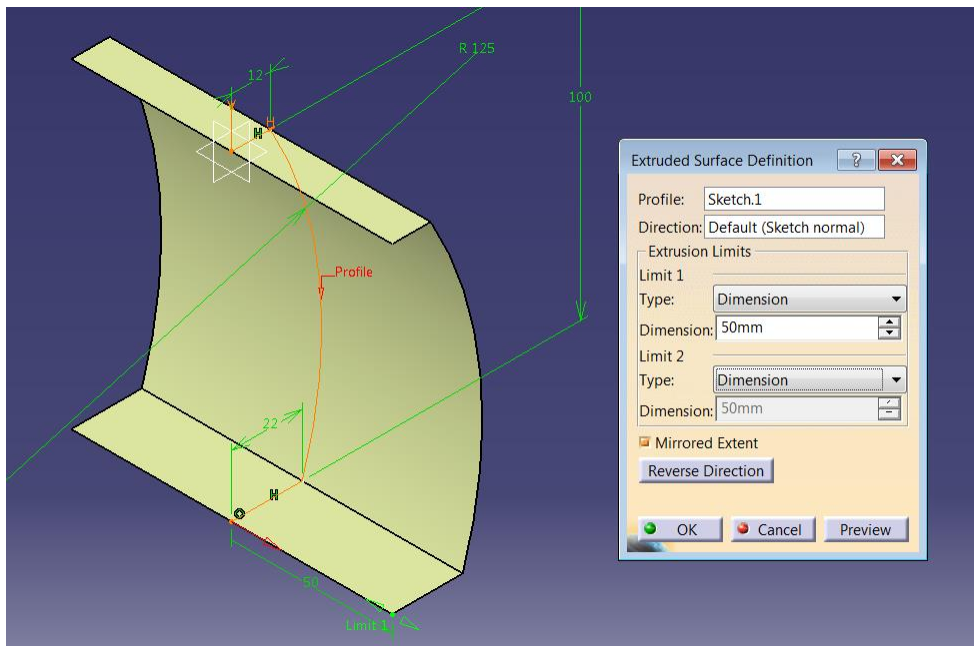
CATIA V5

CATIAssa on useita pintamallinnusmoduuleja, joita ovat esimerkiksi Wireframe and Surface Design-, Generative Shape Design- ja Freestyle-moduulit. Tässä vertailussa on kumminkin otettu vertailukohteeksi Wireframe and Surface Design -moduuli, jossa käyttäjä pystyy luomaan niin sanottuja ”rautalankamalleja” alustavassa suunnitteluvaiheessa, sekä lisäämään entuudestaan luoduille mekaanisille osille pinnanmuotopiirteitä.

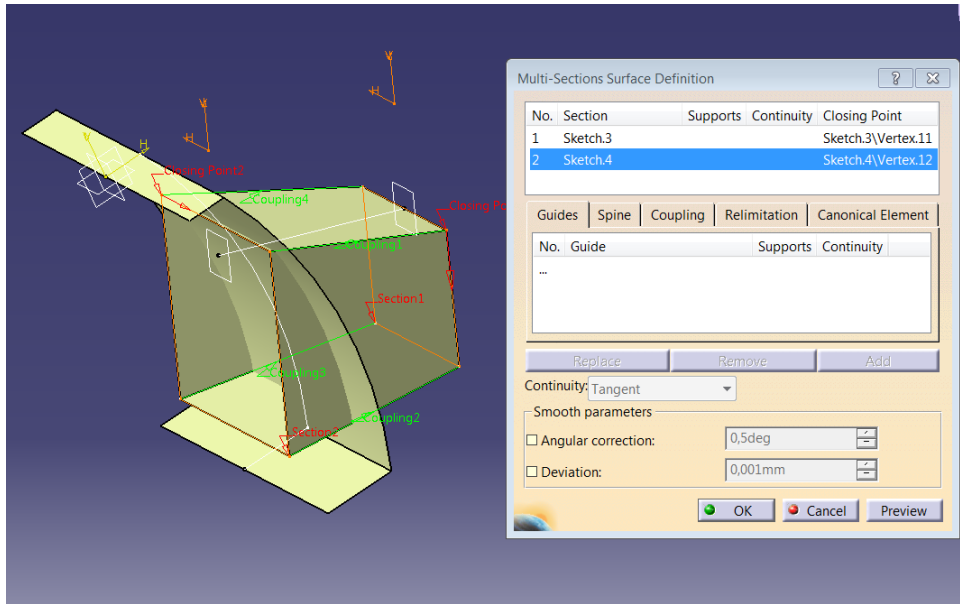
Työskentely aloitetaan muiden moduulien tapaan Start-valikosta, josta moduuli valitaan Mechanical Design -valikosta. Pohjapiirre luodaan osamallinnuksen tapaan luomalla tasopiirros Sketch-työkalulla johonkin vakiotasoon. Kun piirros saadaan valmiiksi, voidaan sen perusteella luoda pohjapiirre erilaisilla Surface-työkaluriviltä (kuva 81) löytyvillä toiminnoina. Suurin osa toiminnoina on hyvin samankaltaisesti käytettäviä kuin osamallinnuksessa käytetyt työkalut. Kuvissa 83 ja 84 on esitetty eri toimintojen käyttöä, joissa erityisen huomionarvoisaa on se, että piirteellä ei ole paksuutta.



Kuva 82. Työkaluja pintapiirteiden luontiin.

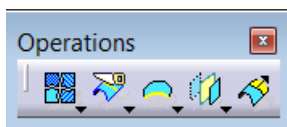


Kuva 83. Extrude-toiminnon käyttöä pintamallinnusmoduulissa.

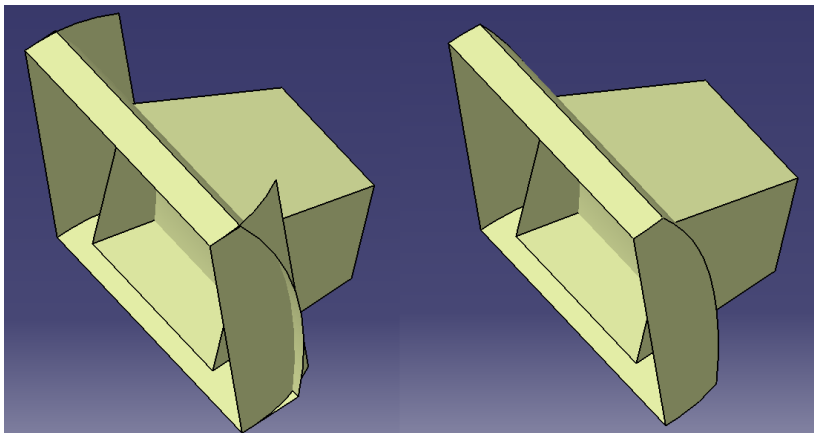


Kuva 84. Multi-Section-työkalun käyttöä pintamallinnusmodulissa.

Muita piirteiden luonnin avustamiseksi tarkoitettuja työkaluja löytyy Operations-työkaluriviltä (kuva 85). Työkaluriviltä löytyvät muun muassa trimmaus, peilaus ja yhdistys toiminnot, jotka nopeuttavat mallin luontia. Trim-toiminnon käyttöä on demonstroitu kuvassa 86.

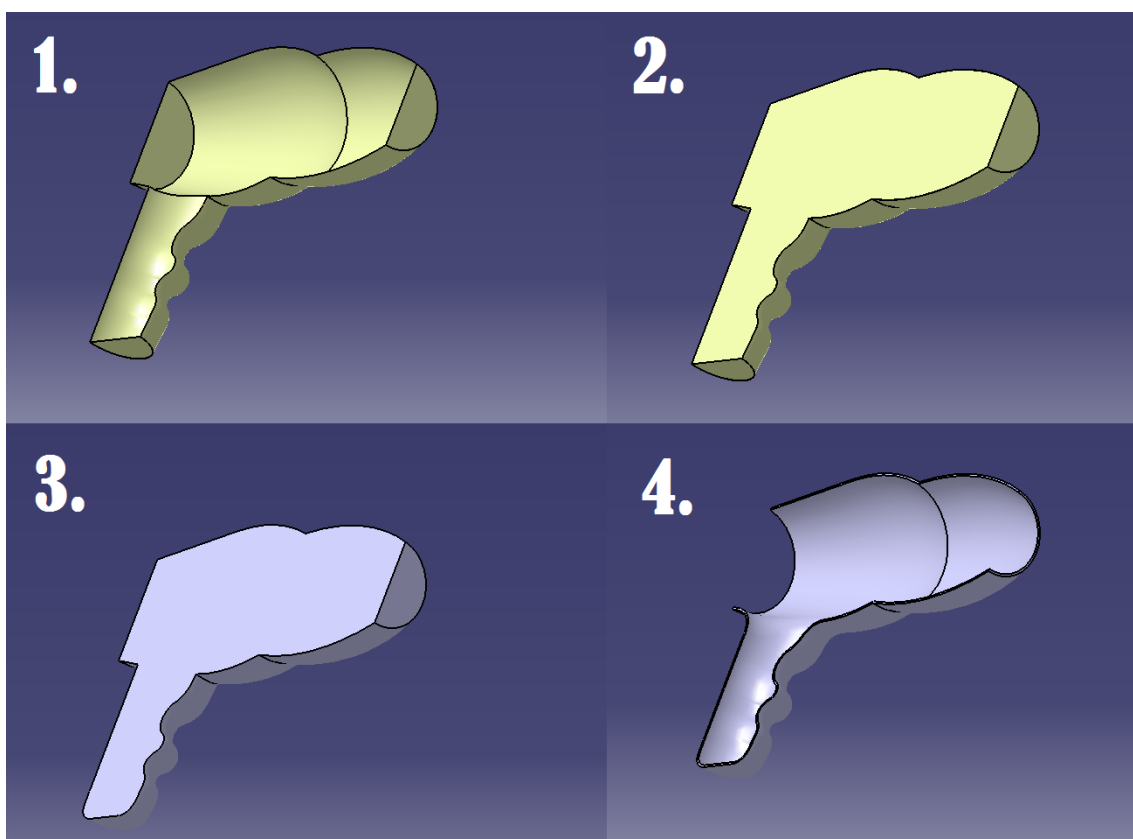


Kuva 85. Operations-työkalurivin toiminnot auttavat piirteiden luonnissa.

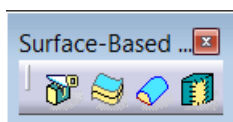


Kuva 86. Trim-toiminnolla toteutettu piirteen muutos.

Kun kappaleen pintapiirteet on saatu mallinnettua, voidaan sitä käyttää ”muottina” piirteiden siirtämiseen osamallinnusmoduuliin. Kuvassa 87 on esitetty kyseinen metodi neljässä eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa kappaleen muoto on mallinnettu pintamallinnusmoduulissa. Toisessa vaiheessa kappaleesta tehdään suljettu tilavuus, jonka jälkeen voidaan siirtyä osamallinnusmoduuliin. Osamallinnusmoduulissa valitaan Surface-based Features (Extended) -työkaluriviltä (kuva 88) Close Surface -työkalu, jolla tilavuus voidaan muuttaa ”kiinteäksi” kappaleeksi (vaihe kolme). Viimeisessä vaiheessa kappaleelle tehdään tarpeelliset muutokset osamallinnusmoduulin työkaluja käyttäen.



Kuva 87. Pintamallinnuspiirteiden vienti osamallinnusmoduuliin. Vaiheet 1 ja 2 toteutetaan pintamallinnusmoduulissa sekä vaiheet 3 ja 4 osamallinnusmoduulissa.



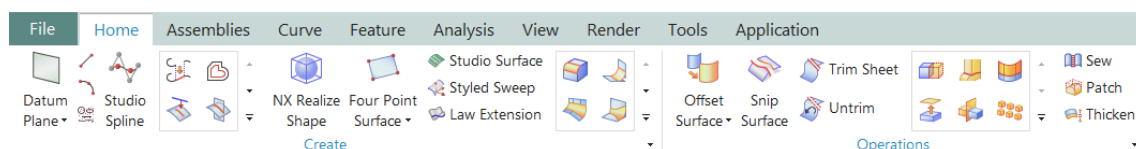
Kuva 88. Pintaperustaiset työkalut osamallinnusmoduulissa.

CATIA on kuuluisa edistyksellisistä pintamallinnustyökaluistaan, mutta tässä vertailussa toteutetut yksinkertaiset harjoitustyöt tehtiin perustyökaluja käyttäen. Pintamallinnusmoduulissa on muiden moduulien tapaan pientä sekavuutta työkalujen valitsemisen osalta, mutta sen ei koettu aiheuttavan merkittävää haittaa. CATIAN pintamallinnustyökalut soveltuvat hyvin 3D-mallintamisen peruskurssin käyttöön, joskin uuden moduulin opettelu saattaa vaatia hieman enemmän aikaa ja moduulien välinen integrointi on heikkoa. CATIA saa pintamallintamisen osalta 5 pistettä.

NX 10.0

Pintamallit luodaan NX:ssä yhdestä tai useammasta palstasta (patch). Kun palstojen määrä lisääntyy, lisääntyy myös kappaleen pinnanmuotojen kontrolli ja yhä monimutkaisempia piirteitä voidaan luoda. NX:ssä pintamalleja kutsutaan englanniksi nimellä sheet model, ja pintamallinnuksen luonne muistuttaakin nimensä mukaisesti levymallinnusta.

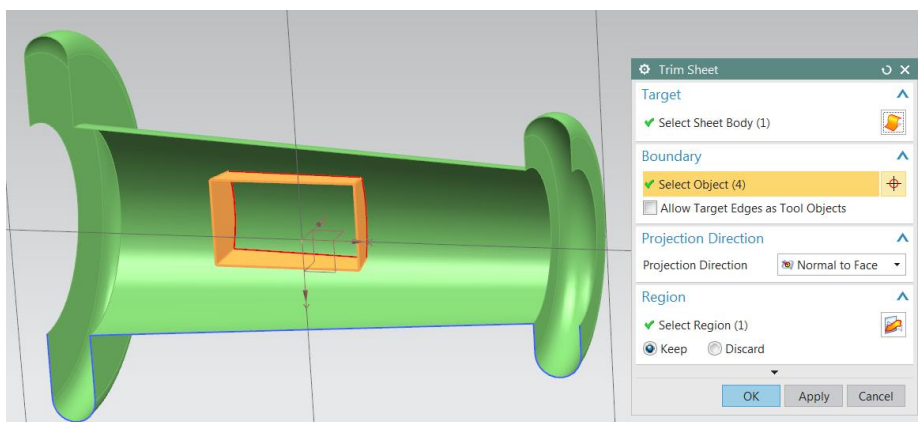
NX:n integroinnin johdosta pintamallintaminen onnistuu osamallinnusmoduulissa, mutta pintamallintamiseen on saatavissa erillinen Shape Studio -moduuli. Käytännössä moduulin käyttöönotto tuo tarpeelliset työkalut paremmin saataville ja tekee visuaalisuuteen pintamallintamista helpottavia muutoksia. Shape Studion yhteydessä avautuva työkalurivi on esitetty kuvassa 89.



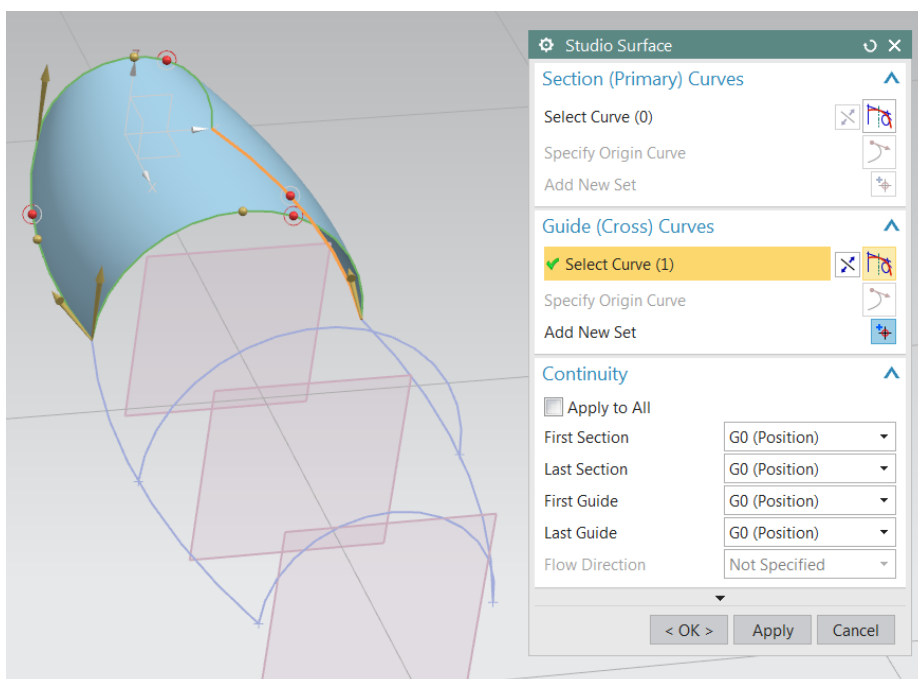
Kuva 89. Pintamallinnustyökalut NX:ssä.

Pintamallinnus aloitetaan yleensä luomalla pursotettu piirre jonkin tasopiirroksen pohjalta. Nämä työkalut löytyvät Shape Studiosta työkalurivin Feature-välilehdeltä tai vaihtoehtoisesti piirteet voidaan myös luoda osamallinnusmoduulissa ennen Shape Studion käynnistämistä. Työkalut toimivat samaan tapaan kuin osamallintamisessa, mutta vain piirteen ääriviivat pursottuvat, eli piirteellä ei ole paksuutta (osamallinnusmoduulissa valintaikkunassa pursotuksen tyyppi on vaihdettava pinnaksi). Kun piirteet on näillä työkaluilla saatu luotua, voidaan niitä sen jälkeen manipuloida tavallisilla pintamallinnustyökaluilla. Suurin osa tärkeistä työkaluista löytyy Operations-ryhmästä, joiden käyttäminen on hyvin helppokäyttöistä. Kun käyttäjä tietää työkalun käyttötarkoituksen, sen yhteydessä

avautuvaan valintaikkunaan on helppo syöttää tarvittavat tiedot. Kuvissa 90 ja 91 on esitetty eri pintamallinnustyökalujen käyttöä.

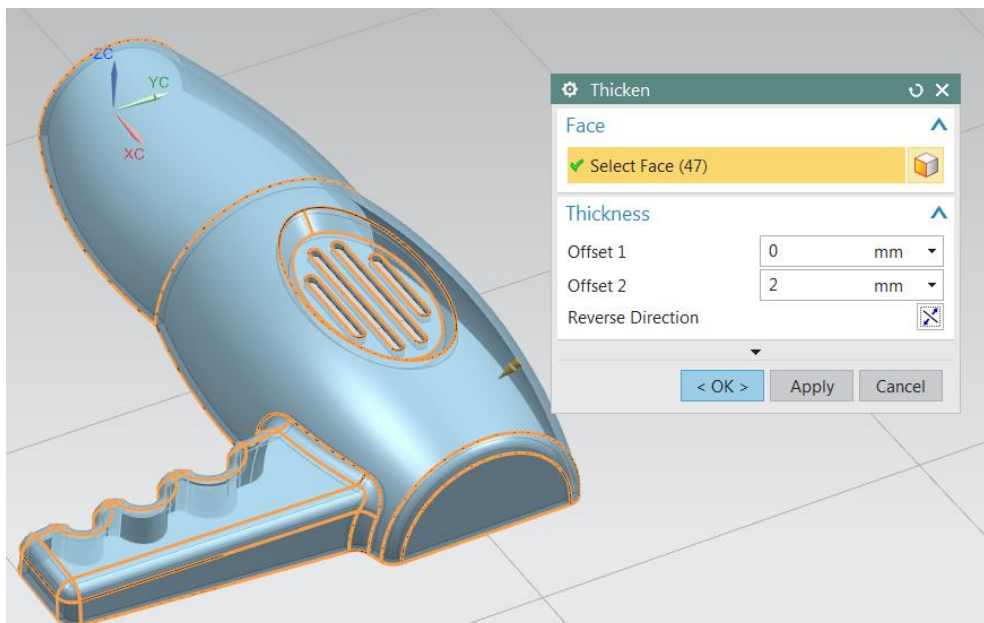


Kuva 90. Trim Sheet -työkalulla palstan osa poistetaan kahden poikkileikkaavan piirteen perusteella.



Kuva 91. Muuttuvaprofiilisen pintapiirteen luonti Studio Surface -työkalulla.

Pintamalli voidaan muuttaa kiinteäksi malliksi Feature-kategorian Thicken-toiminnolla. Käytännössä toiminto antaa valitulle pintamallille annetun paksuuden, jonka jälkeen se saa kaikki kiinteän mallin ominaisuudet. Kuvassa 92 on esitetty Thicken-työkalun käyttöä.



Kuva 92. Thicken-työkalulla pintamalli voidaan muuttaa kiinteäksi malliksi.

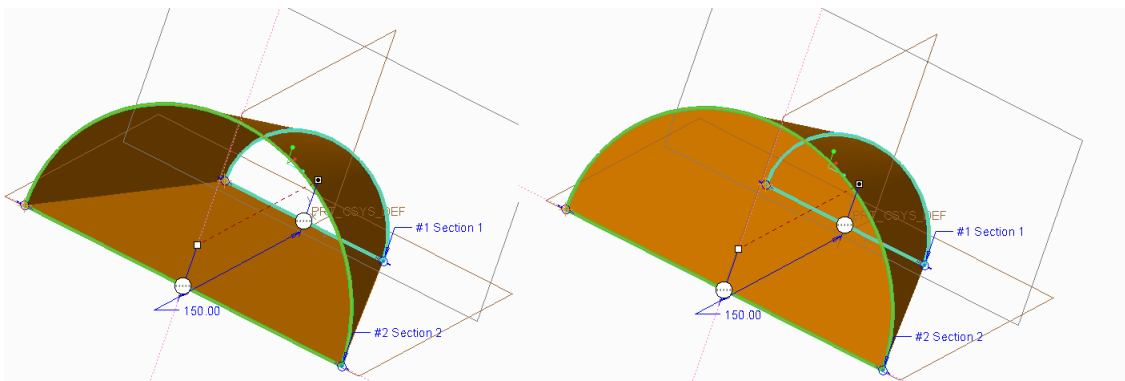
NX loistaa jälleen erinomaisesti toteutetulla integroinnillaan. Perusmallintamisen työkalut ovat riittävän helppokäyttöisiä 3D-mallintamisen peruskurssille, joskin laajan työkaluvalikoiman opettelu vaatii hieman enemmän aikaa. Ohjelmiston pintamallintamisessa ei havaittu peruskurssikäytön kannalta merkittäviä puutteita, joten NX saa pintamallintamisen osalta 5 pistettä.

Creo Parametric 3.0

Creo Parametricista ei ole erillistä moduulia pintamallintamiselle, vaan työkalut löytyvät osamallinnusmoduulin sisältä. Käytännössä useiden työkalujen ohessa on valittavissa luodaanko piirre ilman massaa eli pintapiirteenä. Pohjapiirre voidaan luoda samoilla työkaluilla kuin kiinteissäkin malleissa, mutta hallintapaneelista on valittava toiminto suoritettavaksi pintapiirteenä (kuva 93). Kuvassa 94 on esitetty toiminnon suorittaminen pintapiirteenä ja kiinteänä mallina.

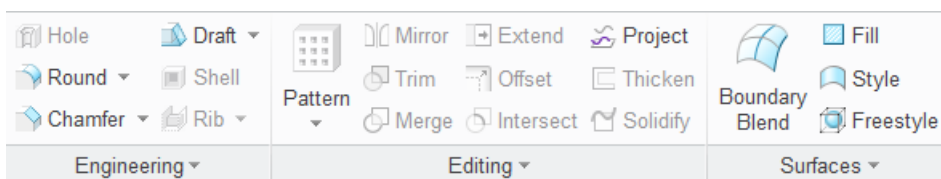


Kuva 93. Pintapiirteen luonti valitaan hallintapaneelista.

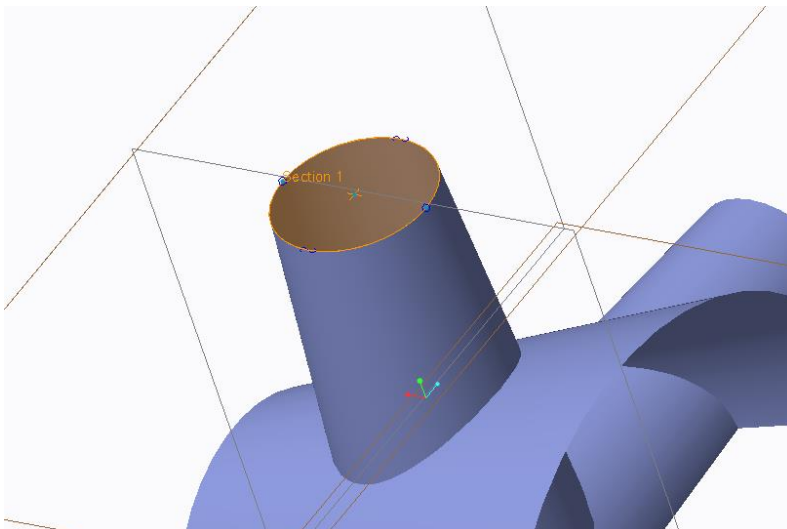


Kuva 94. Vasemmalla toiminto suoritetaan pintapiirteenä ja oikealla kiinteänä piirteenä.

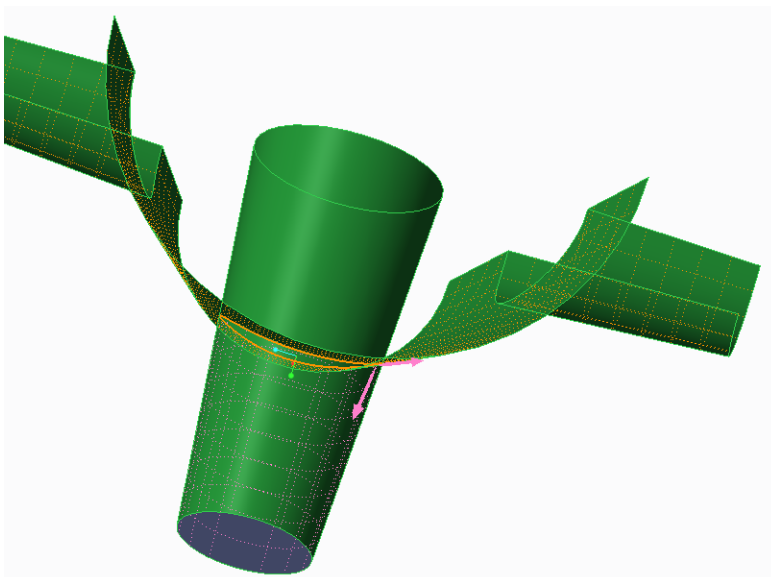
Lisäksi pintamallinnuksessa käytettäviä toimintoja ovat esimerkiksi muokkaustoiminnot ja rakennepiirteet, jotka voidaan valita Editing-, Engineering ja Surface-ryhmistä (kuva 95). Näiden toimintojen soveltamista pintamallinnuksessa on esitetty kuvissa 96 ja 97. Suurin osa näistä työkaluista on entuudestaan tuttuja osamallinnukseen perehtyneelle käyttäjälle, joten pintamallinnuksen opettelu Creo Parametricissa onnistuu erityisen helposti. Kun pintamalli on saatu valmiiksi, muutetaan se kiinteäksi malliksi esimerkiksi Solidify tai Thicken-toimintoa käyttäen.



Kuva 95. Pintamallinnuksessa käytettäviä lisätoimintoja, joita voidaan käyttää myös osamallinnamisessa.



Kuva 96. Fill-toiminnolla piirretään tasopiirros, jonka sisäalue muuttuu pintapiirteeksi.



Kuva 97. Merge-toiminnolla kaksi poikkileikkaavaa pintapiirrettä voidaan yhdistää. Samalla toiminto leikkaa ei-ruudullisen alueen pois.

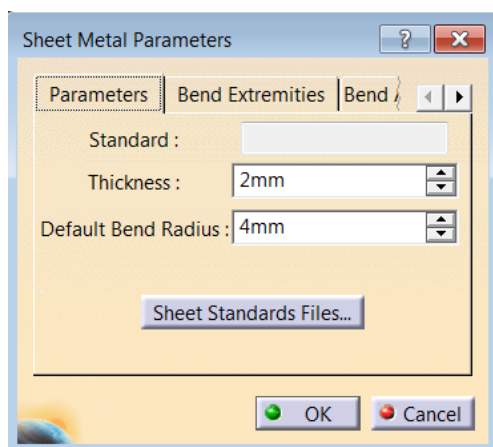
Creo Parametricin pintamallintaminen oli tämän vertailun puitteissa helpointa oppia. Integroituna osamallinnusmoduuliin käyttäjä voi tuttuja työkaluja käyttäen luoda monimutkaisia pintapiirteitä. Pintamallinnusmoduulin puute saattaa edistyneemmässä mallinnustyössä aiheuttaa joitakin esteitä, mutta tässä vertailussa toteutettuihin harjoitustöihin saatavilla olevat työkalut soveltuivat riittävästi. Creo Parametric saa pintamallintamisen osalta 5 pistettä.

4.7 Ohutlevymallintaminen

Komponenttia, jonka paksuus on väliltä 0–12 mm, kutsutaan ohutlevykomponentiksi. Ohutlevytyöstö on lastuamaton valmistusprosessi, ja se on helppo tapa luoda komponentti käyttämällä siihen soveltuvia valmistusmenetelmiä kuten esimerkiksi taivuttamista, leimaamista ja muita sellaisia. Ohutlevyn paksuista komponenttia ei siis voida koneistaa, vaan se täytyy luoda meistoamalla, eli muotoleikkaamalla. CAD-ohjelman avulla voidaan määrittää meistauskoneen meistin sekä muotin koko.

CATIA V5

Ohutlevykomponentin luonti aloitetaan käynnistämällä Generative Sheetmetal Design -moduuli. Kaikki työkalut ovat alkuun lukittuina ja käyttäjän on ensin Sheet Metal Parameters -toimintoa käyttäen määritettävä komponentin oletusparametrit. Toiminnon valintaikkunassa (kuva 98) voidaan määrittää muun muassa komponentin paksuus, taivutus säde, sekä toleranssit.



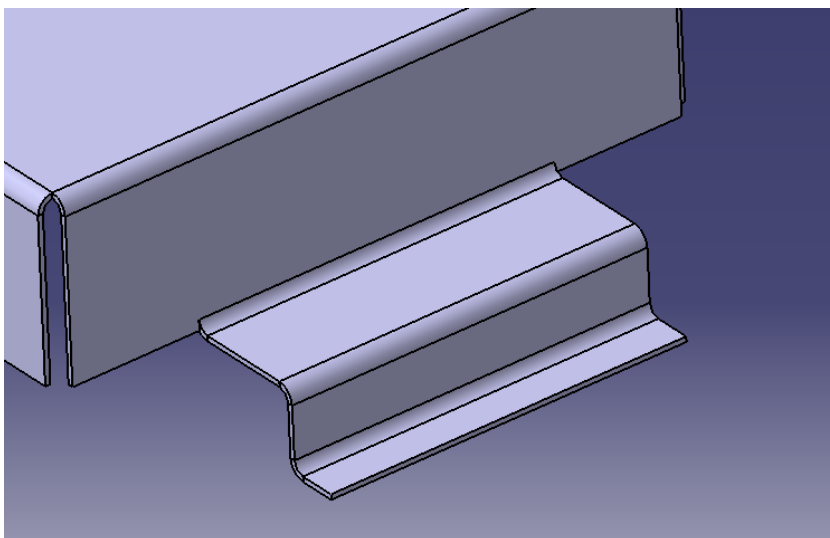
Kuva 98. Oletusparametrien määrittämiseen tarkoitettu valintaikkuna.

Kun parametrit on asetettu, avautuvat moduulin työkalut käyttäjän käytettäväksi. Komponentin pohjaseinä luodaan lähes poikkeuksetta Walls-työkalurivin (kuva 99) Wall-toiminnolla, jota varten on luotava tasopiirros. Samalta työkaluriviltä löytyvät ohutlevykomponentin erilaisten laippojen tekoon tarvittavat työkalut, joita ovat esimerkiksi Flange ja Wall On Edge -toiminnot. Käytännön ero näiden toimintojen välillä on se, että Wall On Edge -toiminnolla tehty piirros suoritetaan valmistusprosessissa meistoamalla, kun taas Flange-toiminto taivuttaa jo meistattua komponenttia. Kuvassa 100 on esitetty luotu

piirre, jossa emoelementtiä kapeampi laippa on luotu Wall On Edge -toiminnolla ja täyden leveyden laipat Flange-toiminnolla.

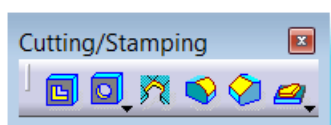


Kuva 99. Seinämien luontiin tarkoitettu työkalurivi.



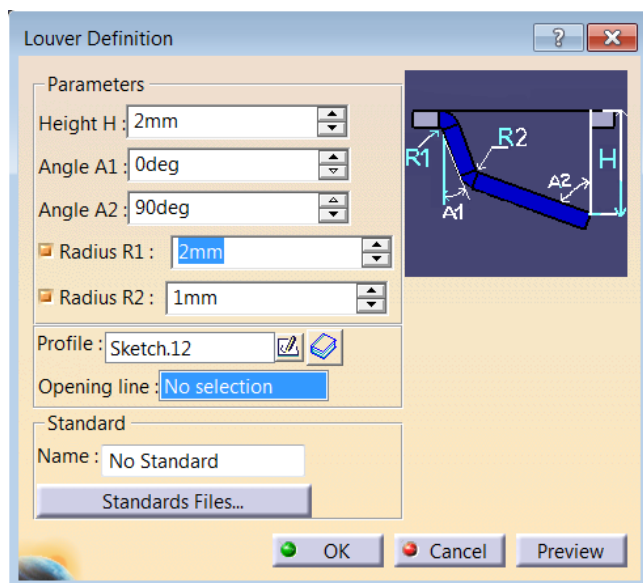
Kuva 100. Kuvassa emoelementtiä kapeampi piirre on luotu Wall On Edge -toiminnolla.

Muita ohutlevymallin luomiseen tarvittavia työkaluja löytyy Cutting/Stamping-työkaluriviltä (kuva 101). Reikien, leikkauksien ja viisteiden teko oli samanlaista kuin osamallinnuksessa, joten niiden käyttöä ei tarvitse sen tarkemmin selvittää.



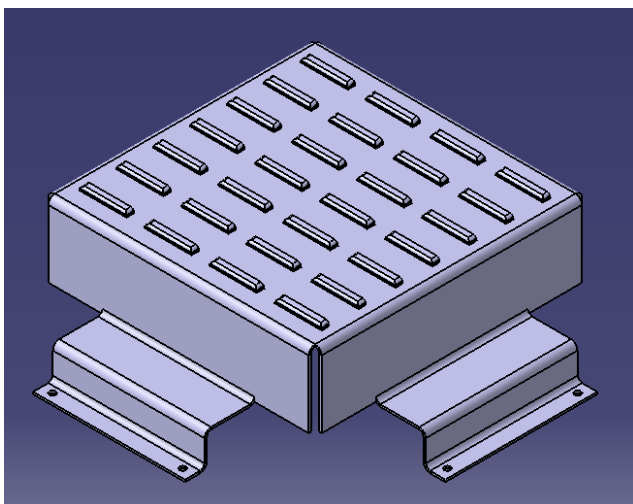
Kuva 101. Tarkempien ohutlevypiirteiden luomiseen tarkoitettu työkalurivi.

Cutting/Stamping-työkalurivin Stamping-alityökaluriviltä löytyy lukuisia erilaisia vaihtoehtoisia menetelmiä meistopiirteiden luomiseen. Toiminnot ovat hyvin selkeitä ja niiden yhteydessä avautuviin valintaikkunoihin on helppo asettaa parametrit. Valintaikkunassa näkyvä kuva esittää selkeästi miten eri mitat vaikuttavat piirteessä. Kuvassa 102 on esitetty säleiden (Louver) luonnin yhteydessä avautuva valintaikkuna.



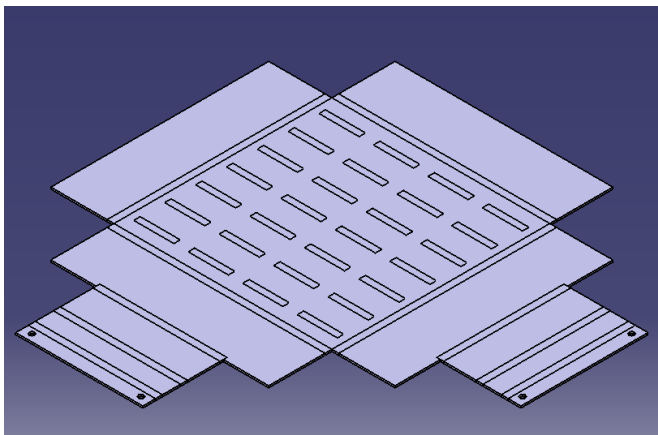
Kuva 102. Säleiden luonnin yhteydessä avautuva valintaikkuna. Valintaikkunan kuva esittää selkeästi eri mittojen vaikutukset piirteeseen.

Transformations-työkalurivin työkaluja käyttäen piirteitä voidaan muiden moduulien tapaan esimerkiksi peilata, kopioida tai toistaa. Kuvassa 103 on esitetty valmis malli, jonka sälepiirre on toistettu kahdessa suunnassa.



Kuva 103. Ohutlevymallinnusmoduulissa luotu malli.

Meistausprosessin kannalta on tärkeää hahmottaa ohutlevykomponentin taivuttamaton eli litteä muoto. Tämä onnistuu yksinkertaisesti klikkaamalla View-työkalurivin Fold/Unfold-painiketta. Kuvassa 104 on esitetty kuvan 103 ohutlevykomponentin litteä muoto.

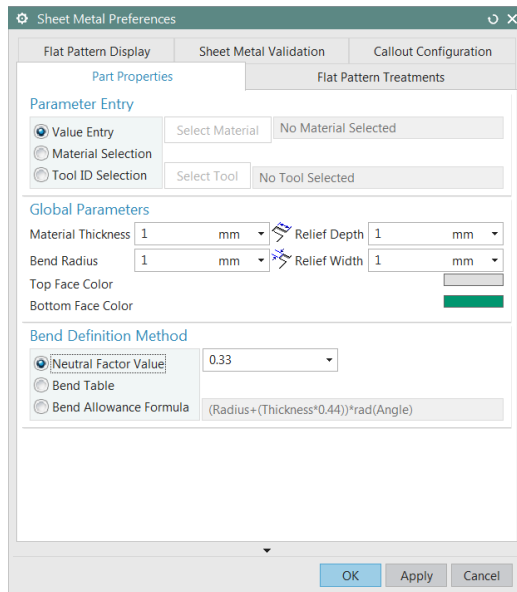


Kuva 104. Edellä esitetyn mallin litteä muoto.

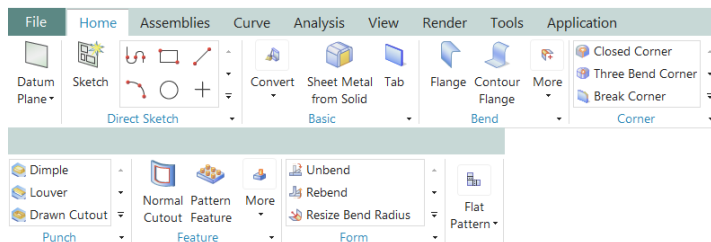
CATIAN ohutlevymallintamisen työkalut ovat riittävät perusmallintamiseen eikä moduulissa ole sen kannalta merkittäviä puutteita. Ohutlevymallinnusmoduulin työkalut ovat muiden moduulien tapaan hieman hajaututesti, ja toisinaan tuli sellainen tunne, että työkaluja on hieman liikaa ja useimmat niistä voisi yhdistää pienempään määrään työkaluja. CATIAN pisteet ohutlevymallintamisesta ovat 5 pistettä.

NX 10.0

Ohutlevymallintaminen aloitetaan käynnistämällä Sheet Metal -työskentely-ympäristö joko Application-välilehdeltä tai uuden tiedoston luonnin yhteydessä. Komponentin vakioparametrit voidaan asettaa Menu-valikosta avautuvaan Sheet Metal Preferences -valintaikkunaan (kuva 105), josta yleensä on tarpeellista määritellä ohutlevykomponentin paksuus, taivutussäde, sekä taivutusloven koko. Työskentely-ympäristön työkalurivi on esitetty kuvassa 106.



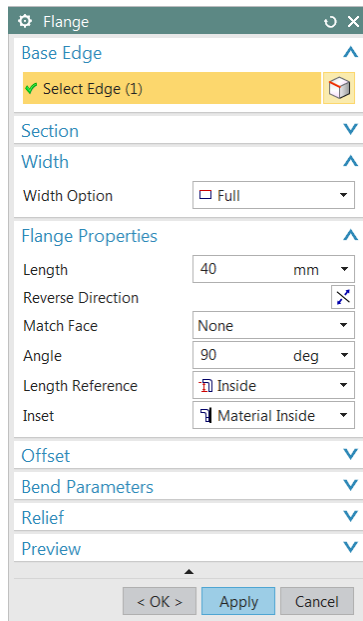
Kuva 105. Ohutlevykomponentin vakioparametrien asettaminen.



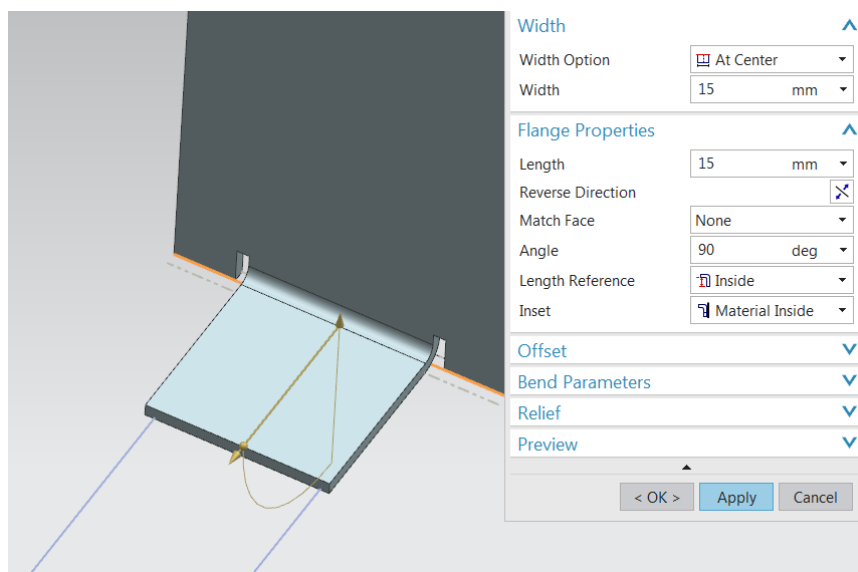
Kuva 106. Ohutlevymallinnusmoduulin työkalurivi.

Komponentin peruselementti on tyypillisintä luoda Tab-työkalulla, jonka käyttö on erittäin yksinkertaista: piirretään vain tasopiirros, jonka pohjalta ohutlevy pursotetaan. Työkalu asettaa piirteelle vakioparametreissa määritellyn paksuuden, mutta paksuutta on myös mahdollista muuttaa tässäkin valintaikkunassa.

Kaikki kappaleen muut seinämät luodaan Bend-kategorian työkaluilla, josta perusmallintamiseen riittää mainiosti monikäyttöinen Flange-työkalu. Työkalun yhteydessä avautuva valintaikkuna on esitetty kuvassa 107. Valintaikkunan Width-valikossa pystytään määrittelemään toteutetaanko laippa puhtaasti peruselementtiä taivuttamalla vai onko uusi seinämä peruselementtiä kapeampi, jolloin meistokoneen muottiin on tehtävä muutoksia. Kuvassa 108 on esitetty piirteen luontia, jossa uusi laippa on luotu At Center -leveysmäärittystä käyttämällä. Taivutuksen molemmille puolille muodostuu vakioparametreissa määritellyn kokoiset taivutuslovet.

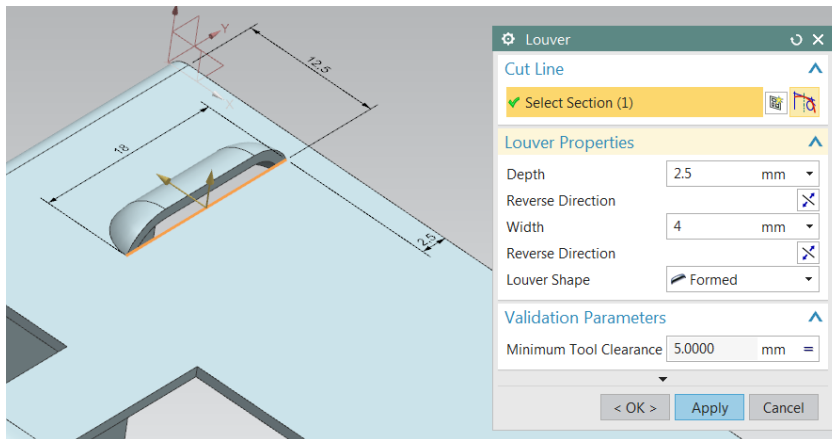


Kuva 107. Flange-työkalun yhteydessä avautuva valintaikkuna.



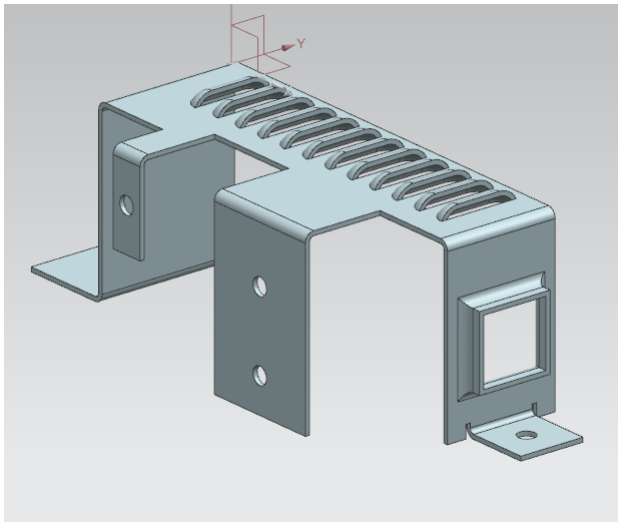
Kuva 108. Uuden laipan luonti emoelementistä poikkeavalla leveydellä.

Yksityiskohtaisemmat piirteet voidaan Punch- ja Feature-kategorioiden työkaluilla. Suurin osa työkaluista on hyvin selkeitä käyttää: yleensä piirre vaatii tasopiirroksen ja valintaikkunaan syötetyt parametrit. Kuvassa 109 on esitetty sälepiirteen luontia Louver-työkalulla.



Kuva 109. Säleen luonti Louver-työkalulla. Oranssi viiva on piirteen tasopiirros.

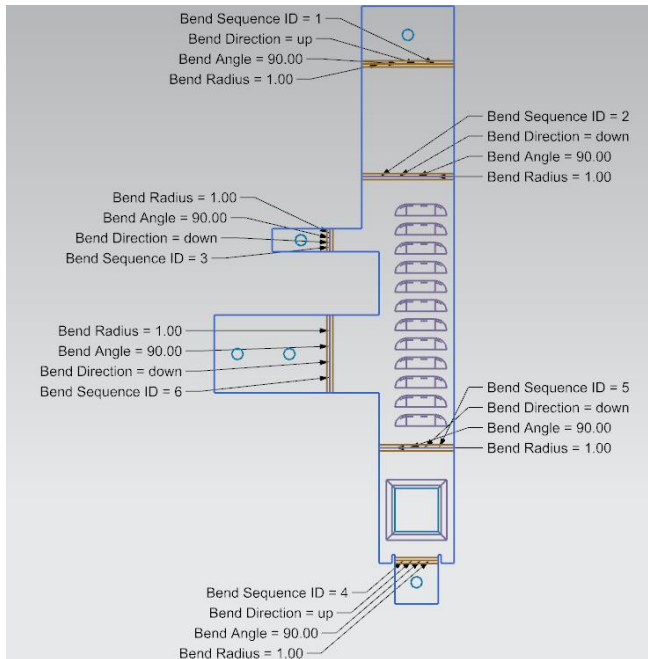
Muita usein käytettäviä työkaluja ovat esimerkiksi Pattern Feature, Hole ja Cut Out. Toimintojen käyttäminen on lähes samanlaista kuin yllä kuvattujen työkalujen, joten ei ole tarpeellista kuvata niitä tarkemmin. Kuvassa 110 on esitetty malli, johon kyseisiä työkaluja on sovellettu. Kyseessä on hyvin tyypillinen malli, johon perusmallinnuksen puitteissa voidaan yltää.



Kuva 110. Malli, johon on sovellettu tyypillisimpiä perusmallintamisessa käytettyjä työkaluja.

Kun komponentti on saatu mallinnettua, on meistausprosessin kannalta tärkeää hahmottaa kappaleen taivuttamaton eli litteä muoto. Kappaleelle on ensin luotava litteä näkymä Flat Pattern -työkalua käyttäen. Huomataan, että mallinnusalueen näkymä ei muutu, vaan näkymä on vaihdettava valitsemalla Menu > View > Layout > Replace view. Tämän

jälkeen valintaikkunasta on valittava juuri luotu näkymä, joka on yllä olevan mallin osalta esitetty kuvassa 111.

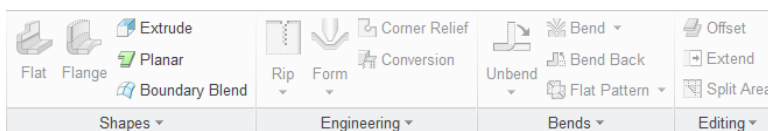


Kuva 111. Kappaleen litteä näkymä NX:ssä.

NX:n ohutlevymallintamisessa ei ole merkittäviä puutteita perusmallintamisen kannalta. Työkalut ovat monikäyttöisiä ja selkeästi saatavilla. Joidenkin usein tarvittujen toimintojen, kuten vakioparametrien asettamisen tai Layout-näkymien luonti, on ehkä vähän tarpeettomasti sijoitettu jo entuudestaan laajaan Menu-valikkoon. NX:n ohutlevymallinnusmoduuli on nopeasti opittavissa ja hyvin integroitu muiden moduulien kanssa. Ohjelmisto saa ohutlevymallintamisen osalta 5 pistettä.

Creo Parametric 3.0

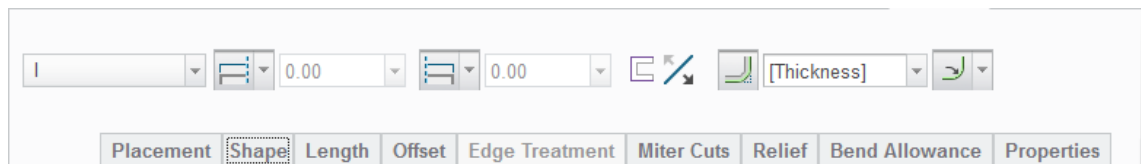
Ohutlevymoduuli käynnistetään uuden tiedoston luonnin yhteydessä valitsemalla Part-typin alakategoriasta Sheet Metal. Moduulin työkaluja on esitetty kuvassa 112.



Kuva 112. Ohutlevymallinnusmoduulin työkaluja Creo Parametric 3.0:ssa.

Ohutlevykomponentin luonti aloitetaan tyypillisesti Planar-työkalulla, jolla voidaan luoda komponentin pohjaseinämä. Työkalun käyttö on hyvin suoraviivaista: luotavalle piirteelle luodaan tasopiirros ja määritellään paksuus hallintapaneelissa.

Perusmallintamisessa muiden laippojen luonti pohjaseinämän perusteella tyypillisesti tapahtuu Flange-työkalulla. Työkalun hallintapaneeli on esitetty kuvassa 113, jossa alavetopalkista valitaan ensin uuden laipan muoto. Yleensä valinnaksi riittää I, jolloin tärkeimmät muotoon vaikuttavat asetukset tehdään hallintapaneelin Shape-valikossa (kuva 114), jossa tyypillisesti määritetään laipan pituus ja taittokulma. Muita yleisesti tehtyjä määrittämiä ovat hallintapaneelissa valittava taittokulman säde ja sijainti (mitataanko säde ulko- vai sisäreunalta).

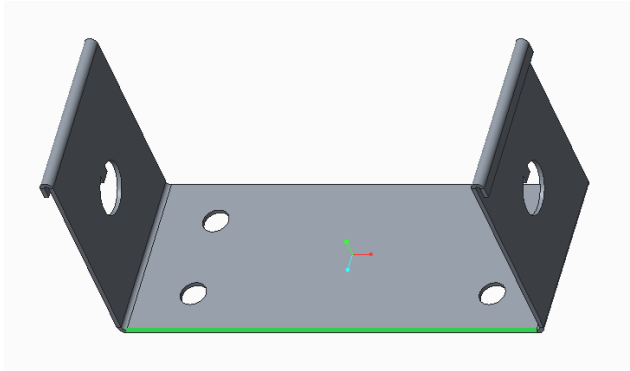


Kuva 113. Flange-työkalun hallintapaneeli.



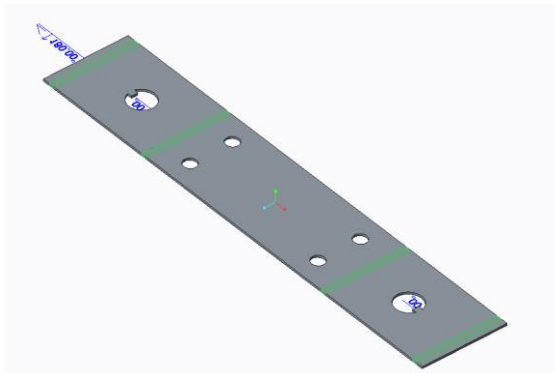
Kuva 114. Uuden laipan luontiin tarvittavat muotomäärittäykset.

Tarkemmat piirteet, kuten esimerkiksi reiät, viisteet ja meistausoperaatiot voidaan luoda Engineering-kategorian työkaluilla. Työkalut ovat helppokäyttöisiä ja vastaavat toiminnaltaan osamallinnusmoduulissa vastaavien työkalujen käyttöä. Editing-kategorian toiminnoilla voidaan kopioida, peilata ja toistaa luotuja piirteitä muun muassa Pattern ja Mirror-toiminnoilla. Kuvassa 115 on esitetty näitä työkaluja käyttäen luotu komponentti.



Kuva 115. Ohutlevymalli, johon on lisätty useita piirteitä Engineering- ja Editing-kategorian työkaluilla.

Kun kappale on saatu valmiiksi, on meistausprosessin kannalta tärkeää hahmottaa mallin taivuttamaton eli litteä muoto. Tämä voidaan toteuttaa Bends-kategorian Flat Pattern -toiminnolla, jonka jälkeen kappale muuttuu litteäksi. Kuvan 115 mallin litteä muoto on esitetty kuvassa 116.



Kuva 116. Kappaleen litteä muoto Flat Pattern -toiminnolla toteutettuna.

Creon ohutlevymallinnusmoduulissa kaikki perusmallintamisessa tarvittavat työkalut löytyvät vakiona työkaluriviltä, ja ohjelmassa ei muihin ohjelmiin verrattuna tarvitse käyttää aikaa työkalujen etsimiseen. Jotkin perustyökaluista olivat kumminkin hieman hankalia käyttää, koska oleellisia toimintoja on sijoitettu hallintapaneelin lisävalikoiden taakse. Lisäksi vaikuttaisi siltä, että perusmallintamisessa Creo Parametricissa ei ole yhtä helposti toteutettavissa useimpia meistaustoimintoja (esim. säleiden luonti) kuin muissa vertailun ohjelmistoissa. Näistä syistä ohjelmisto saa ohutlevymallintamisen osalta 4 pistettä.

5 Tulokset ja päätelmät

Pisteytyksen osalta vertailun tulokset on esitetty taulukossa 4. On huomionarvoisaa se, että pisteytys on annettu johdannossa kuvatun käyttöympäristön osalta, eli kuinka hyvin ohjelmisto soveltuu palvelemaan tutkinto-ohjelman tavoitteita 3D-mallintamisen opettamisessa. Mikäli tämän työn tuloksia halutaan soveltaa muussa käyttöympäristössä, kannattaa tuloksia pitää vain viitteellisinä ja kartoittaa kyseisessä käyttöympäristössä tarvittuja ominaisuuksia tarkemmin. Vertailun ohjelmistot on kehitetty erittäin vaativaan suunnittelutyöhön, joten ohjelmistojen keskinäistä paremmuutta ei voida muutoin kuin aloittelijajäystävällisyyden osalta tässä vertailussa määrittää.

Taulukko 4. Vertailun pisteytys.

Kategoria	CATIA V5	NX 10.0	Creo Parametric 3.0
Käyttöliittymä	4	5	3
Tasopiirtäminen	4	4	4
Osamallinnus	5	4	4
Kokoonpanomallinnus	4	5	5
Työpiirustuksien luonti	4	5	4
Pintamallinnus	5	5	5
Ohutlevymallinnus	5	5	4
Yhteensä	31	33	29

Pisteytyksen perusteella nähdään, että NX 10.0 tarjoaa helppokäyttöisimmän alustan 3D-mallintamisen peruskurssille. Piste-erot eivät kumminkaan ole kovin suuria, joten toisaalta kaikkien ohjelmistojen voidaan sanoa soveltuvan vertailun käyttöympäristöön. On tärkeä todeta, että kaikki ohjelmistot soveltuvat yllä kuvattuun käyttöön hyvin tasaväiksesti, jolloin ohjelmisto voidaan valita muilla kuin mallinnusteknisillä perusteilla. Luvussa 3 käsiteltiin tarkemmin näitä perusteita.

Vertailun käytännön toteutus sujui hyvin harjoitusmateriaalin avulla, mutta työssä ei päästy aivan sellaiseen syvyyteen kuin mitä alun perin oli suunniteltu. Ohjelmistojen käyttö tutkinto-ohjelman asettamisessa opetusmäärissä tuli riittävällä laajuudella selvitettyä, mutta ohjelmistojen soveltuvuus esimerkiksi opiskelijaprojekteihin jäi käymättä läpi. Toisaalta tämän työn laajuus ei olisi insinööriyöhön varatun työmäärän puitteissa pystynyt kattamaan sitä, ja aiheesta olisikin mahdollista tehdä itsenäinen selvitystyö. Tässä vertailussa käytettiin myös kolmea eri ohjelmistoa, mikä lisäsi sekä käytännön toteutuk-

sen, että varsinaisen vertailun viemää aikaa. Ohjelmistoja syvemmin tarkastelevan insinööriön olisi syytä perehtyä vain yhteen tai kahteen ohjelmistoon, jotta ominaisuuksia olisi mahdollista tarkastella riittävällä laajuudella.

Vertailuun valittiin kolme noin saman hintaluokan tuotetta, joka osaltaan on havaittavissa vertailun pisteytyksen tasaisuudesta. Ohjelmistot on kehitetty erittäin vaativaan suunnittelu- ja kehitystyöhön suurissa yrityksissä, joten korkeakoulujen opetuskäytössä ohjelmistot ovat aivan liian edistyksellisiä. Tämä vertailutyö olisikin voinut toteutua paremmin, jos vertailuun olisi otettu mukaan jokin halvemman hintaluokan tuote, kuten esimerkiksi SolidWorks tai Inventor. Tällöin myös korkean hintaluokan tuotteiden tuomat edut olisivat mahdollisesti ollut paremmin hahmotettavissa.

3D-mallintaminen on autoinsinööriopiskelijan näkökulmasta vaikeasti lähestyttävä aihe, vaikka kyseessä onkin olennainen osa alan insinöörin tietotaitoa. Aiheen käsittely edellyttää osaamista esimerkiksi tieto-, valmistus- ja konetekniikasta ja on selvästi uran myöhemmässä vaiheessa omaksuttava osaamisalue. 3D-mallintaminen on hyvin nuori osa-alue autoinsinöörin taitoportfoliossa, mutta tämän työn puitteissa tehdyn taustatutkimuksen perusteella sen voidaan olettaa kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa. 3D-mallintaminen on merkittävä linkki perinteisten teknisten alojen ja digitalisaation välillä.

Lähteet

Ajoneuvotekniikan opetussuunnitelma. 2014. Verkkodokumentti. Metropolia Ammatti-korkeakoulu. <<http://opinto-opas-ops.metropolia.fi/index.php/fi/16183/fi/70327>>. Luettu 24.3.2016.

CAD/CAM/PLM/BIM-alan yritykset Suomessa. 2015. Valokynä 2/2015.

Financial Statements for PTC Inc. 2016. Google Finance. Luettu 31.3.2016.

Freeformer. 2005. Solid model assembly created in NX. Kuva. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cad_crank.jpg> Viitattu 25.3.2016.

Jackson, Chad. 2014. Software Profile: Creo from PTC. Engineering.com. Luettu 2.4.2016.

Leino, Raili. 2006. Cad-myyjällä on aina kiire. MikroPC 13/2006.

Maher, Kathleen. Siemens PLM Software looks beyond worldwide slowdowns. Gfxspeak.com. Viitattu 31.3.2016.

Menezes, Deelip. 2010. The Dassault Systemes Success Story. Deelip.com. Luettu 27.3.2016.

Narayan, K. Lalit. 2008. Computer Aided Design and Manufacturing. New Delhi: Prentice Hall of India.

Ogewell, Verdi. 2014. Verkkoartikkeli. Inside Daimler Mercedes Switch from Dassault Systemes to Siemens PLM and NX. Engineering.com. Luettu 24.3.2016.

PLM World Conference Presentations. 2010. Verkkodokumentti. PLM World. <http://www.plmworld.org/Past_Conferences>. Luettu 24.3.2016.

PTC Creo. 2016. Verkkosivu. <<http://www.ptc.com/cad/creo>>. Luettu 2.4.2016.

PTC Creo Parametric. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.ptc.com/cad/creo/parametric>>. Luettu 2.4.2016.

PTC History. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.ptc.com/about/history>>. Luettu 31.3.2016.

Raphael, Benny & Smith, Ian F.C. 2003. Fundamentals of computer aided engineering. John Wiley & Sons Ltd.

Santamala, Harri. Lehtori, Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu. 4.4.2016.

Siemens PLM Software. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/>. Luettu 30.3.2016.

Tickoo, Sham. 2014. CATIA V5-6R2013 for Designers. Indiana: CADCIM Technologies.

Tickoo, Sham. 2015. PTC Creo Parametric 3.0 for Designers, 3rd Edition. Indiana: CADCIM Technologies.

Tickoo, Sham. 2016. NX 10.0 for Designers, 9th Edition. Indiana: CADCIM Technologies.

Valtioneuvoston asetus yliopistojen tutkinnoista. Finlex. 794/19.8.2004.

Wolfe, L. Stephen. 2012. Is Catia V6 over the hump? Gfxspeak.com. Luettu 27.3.2016.

Järjestelmävaatimukset


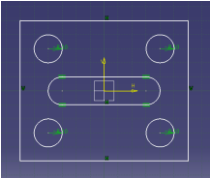
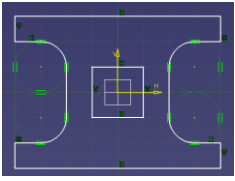
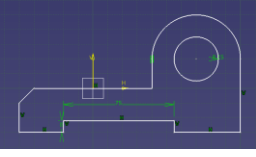
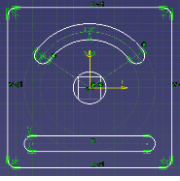
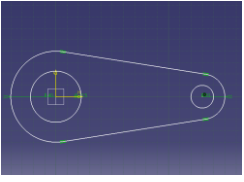
CATIA V5 järjestelmävaatimukset (Tickoo 2014)	
Keskusyksikkö	Intel Pentium 4 tai Xeon-pohjainen työasema Microsoft 2000 Professional Edition, Windows Vista tai Windows 7 käyttöjärjestelmällä.
Muisti	512 MB RAM (minimi)
Kiintolevy	4 GB (minimi suositus)
Sisäiset/Ulkoiset asemat	CD-ROM-asema ohjelmiston asennusta varten
Näyttö	Graafinen värinäyttö yhteensopiva alustakohtaiselle näytönohjaimelle.
Näytönohjain	3D OpenGL -ohjelmointirajapintaa tukeva näytönohjain pikseliresoluutioilla 1024x768 (Microsoft Windows) ja 1280x1024 (UNIX).

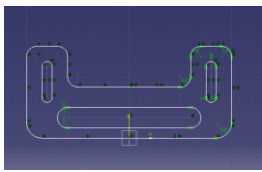
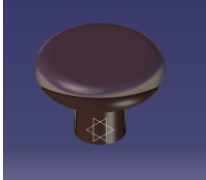
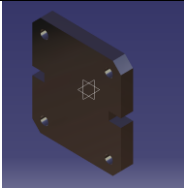
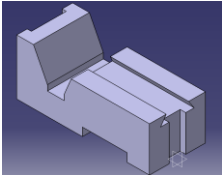
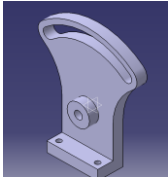
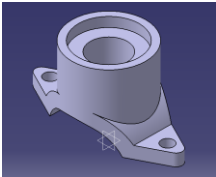
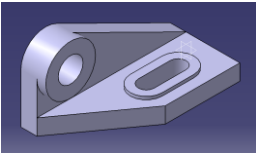
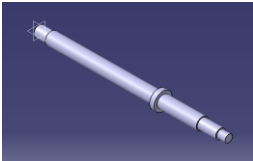
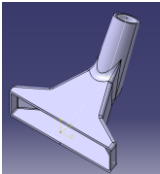
NX 10.0 järjestelmävaatimukset (Tickoo 2016)	
Käyttöjärjestelmä	Windows 7 Pro/Enterprise Edition (64-bit), Linux (64-bit), Mac OS X
Muisti	4 GB RAM (minimi), 8 GB RAM (minimi, DMU)
Kiintolevy	10 GB (minimi suositus)
Sisäiset/Ulkoiset asemat	DVD-ROM-asema ohjelmiston asennusta varten
Näyttö	Graafinen värinäyttö yhteensopiva alustakohtaiselle näytönohjaimelle. Minimi kokosuositus 17-tuuman näyttö.
Näytönohjain	3D OpenGL -ohjelmointirajapintaa tukeva näytönohjain pikseliresoluutioilla 1024x768 (Microsoft Windows) ja 1280x1024 (UNIX).

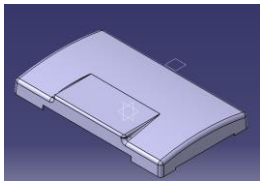
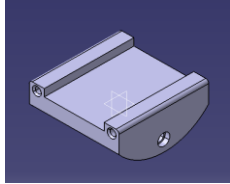
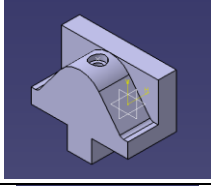
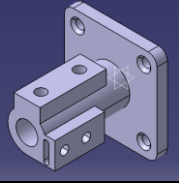
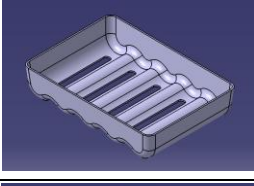
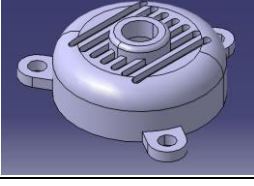
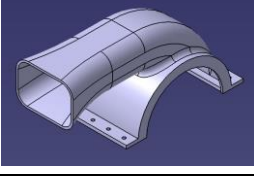
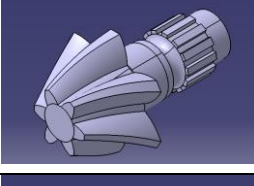
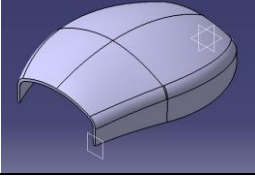
Creo Parametric 3.0 järjestelmävaatimukset (Tickoo 2015)	
Käyttöjärjestelmä	Windows XP Professional Edition, Windows 7, tai uudemmat versiot
Näyttö	1280x1024 (tai suurempi) resoluutio 32-bittisellä värisyvyydellä.
Proessori	3.0 GHz minimi (Core 2 Duo tai paremmat)
Muisti	2 GB RAM minimi (suositus 3 GB tai enemmän)
Kovalevy	3 GB minimi (suositus 4 GB tai enemmän)
Verkko	Ethernet-adapteri tai verkkokortti.
Hiiri	3-painikkeinen Microsoftin hyväksymä hiiri.
Selain	Microsoft Internet Explorer 6.0 tai uudempi
Näytönohjain	Sertifioitu ja tuettu näytönohjain.

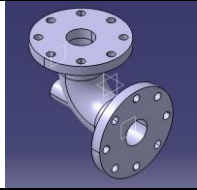

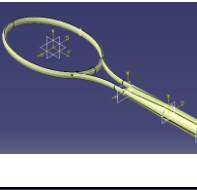
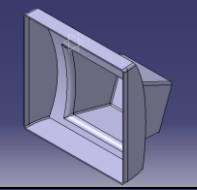
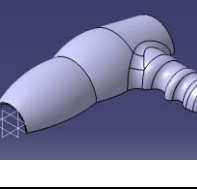
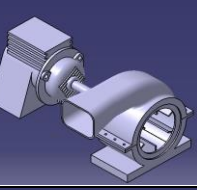
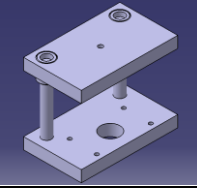
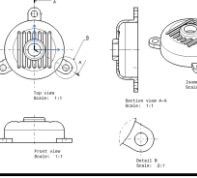
Vertailussa toteutetut työt

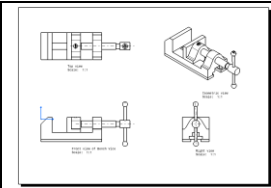
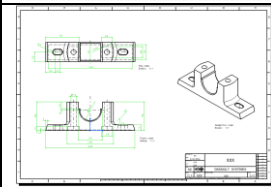
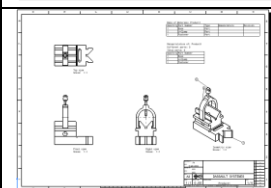
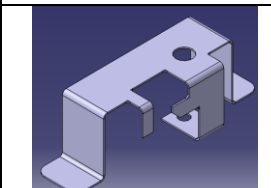
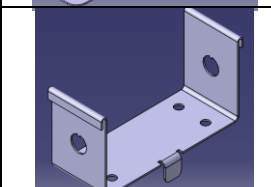
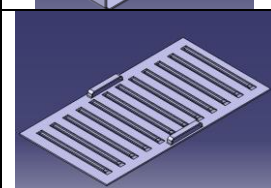
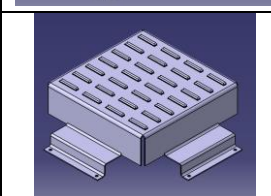
Vertailussa toteutettiin CAD/CIM Technologies -kustantajan julkaisemia harjoitustöitä, jotka on listattu tässä liitteessä. Harjoitustyöt ovat ladattavissa kustantajan kotisivuilta osoitteesta: <http://www.cadcim.com>. Harjoitustöiden tarkoitus on puhtaasti opetuksellinen, eikä tämän työn tekijä ota vastuuta niiden käytöstä aiheutuneista vahingoista.

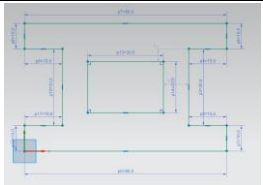
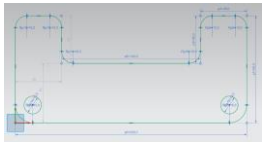
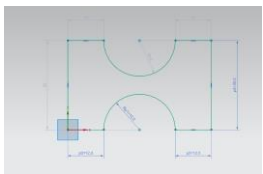
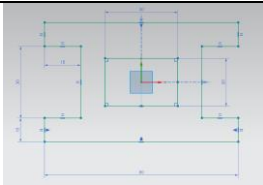
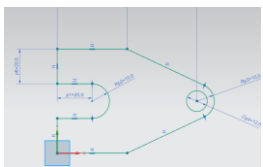
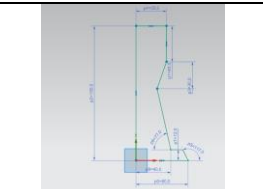
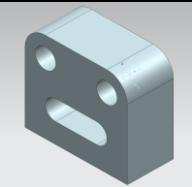
CATIA V5		
Kuva	#	Nimi
Tasopiirtäminen		
	c02t01	Tukilaakeri_1
	c02t02	Levy_1
	c02t03	Palkki_1
	c02t04	Tukilaakeri_2
	c03t01	Levy_2
	c03t02	Tukilaakeri_3

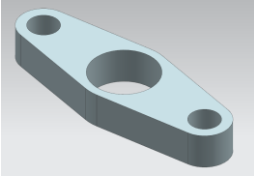
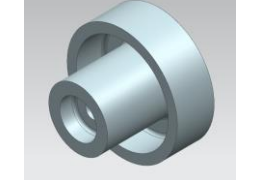
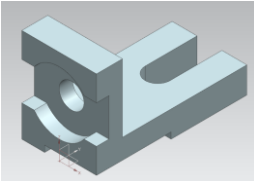
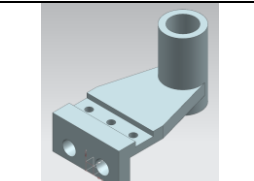
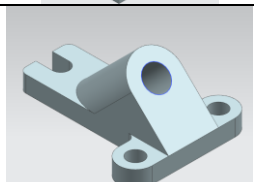
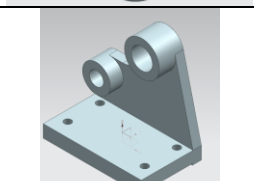
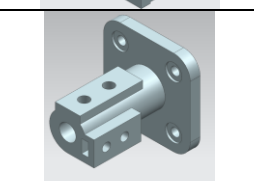
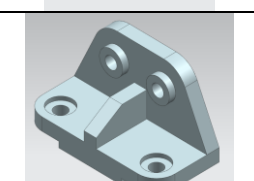
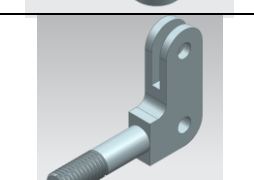
	c03t03	Levy_3
Osamallintaminen		
	c04t01	Tulppa_1
	c04t02	Levy_4
	c05t01	Alusta_1
	c05t02	Alusta_2
	c05t03	Alusta_3
	c05t04	Alusta_4
	c05t05	Akseli_1
	c06t01	Suutin_1

	c06t02	Kansi_1
	c07t01	Tukielementti_1
	c07t02	Tukielementti_2
	c07t03	Tukielementti_3
	c08t01	Kansi_2
	c08t02	Kansi_3
	c09t01	Kotelo_1
	c09t02	Akseli_2
	c09t03	Kansi_4


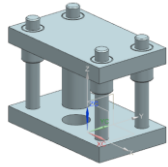
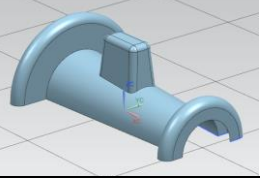
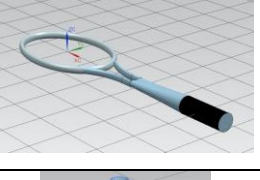

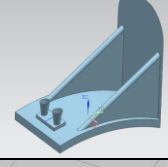
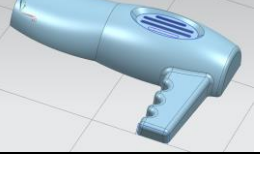
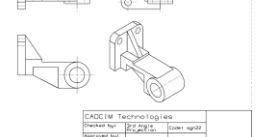
	c09t04	Putkielementti_1
Pintamallintaminen		
	c10t01	Kannu
	c10t02	Maila
	c11t01	Tukielementti_4
	c11t02	Kansi_5
Kokoonpanomallintaminen		
	c12t01	Kokoonpano_1
	c12t02	Kokoonpano_2
Työpiirustuksien luonti		
	c13t01	Työpiirustus_1

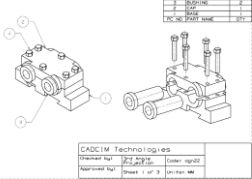
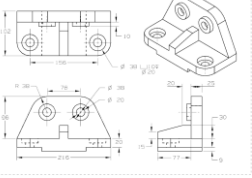
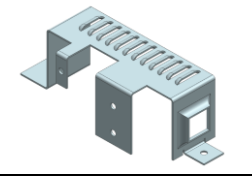
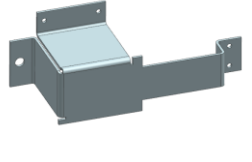
	<p>c13t02</p>	<p>Työpiirustus_2</p>
	<p>c14t01</p>	<p>Työpiirustus_3</p>
	<p>c14t02</p>	<p>Työpiirustus_4</p>
<p style="text-align: center;">Ohutlevymallintaminen</p>		
	<p>c15t01</p>	<p>Ohutlevy_1</p>
	<p>c15t02</p>	<p>Ohutlevy_2</p>
	<p>c15t03</p>	<p>Kansi_6</p>
	<p>c15t04</p>	<p>Kansi_7</p>

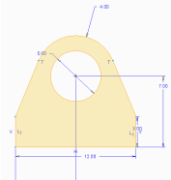
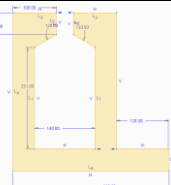
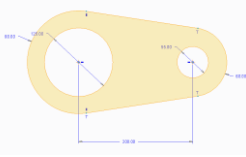
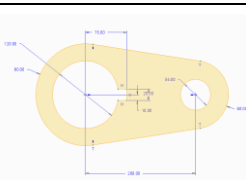
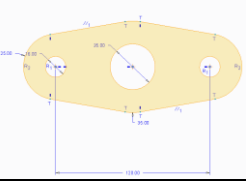
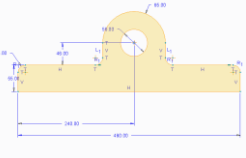
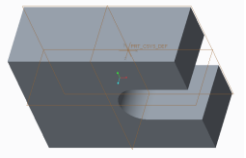
NX 10.0		
Kuva	#	Nimi
Tasopiirtäminen		
	c02t01	Palkki_1
	c02t02	Alusta_1
	c02t03	Palkki_2
	c03t01	Palkki_3
	c03t02	Levy_1
	c03t03	Akseli_1
Osamallintaminen		
	c04t01	Alusta_2

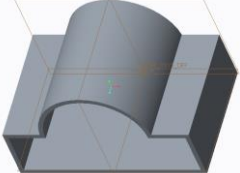
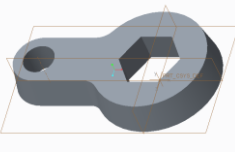
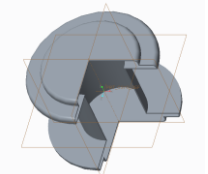
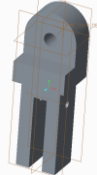
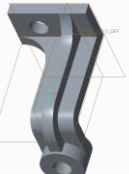
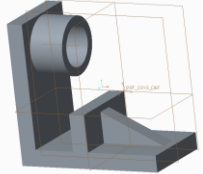
	c04t02	Alusta_3
	c04t03	Tulppa_1
	c05t01	Alusta_4
	c05t02	Tukielementti_1
	c05t03	Tukielementti_2
	c06t01	Tukielementti_3
	c06t02	Tukielementti_4
	c07t01	Alusta_5
	c07t02	Kiinnike_1


	c07t03	Putkielementti_1
	c07t04	Kansi_1
	c08t01	Alusta_6
	c08t02	Tukielementti_5
	c08t03	Kiinnike_2
Kokoonpanomallintaminen		
	c09t01	Putkipuristin
	c09t02	Laakeripesä
	c10t01	Kiinnityselementti
	c10t02	Putkipuristin_räjätyskuva

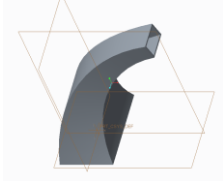
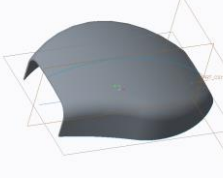
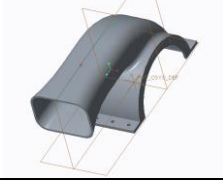
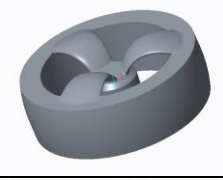

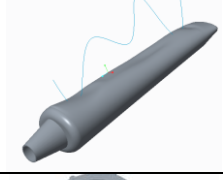
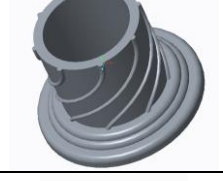

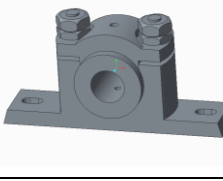
	c10t03	Tähtimoottori
	c10t04	Prässi
Pintamallintaminen		
	c11t01	Kotelo_1
	c11t02	Maila
	c12t01	Kannu
	c12t02	Alusta_7
	c12t03	Kotelo_2
Työpiirustuksien luonti		
	c13t01	Työpiirustus_1

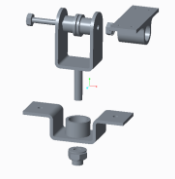
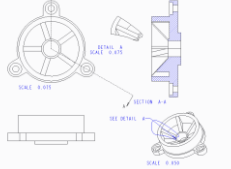
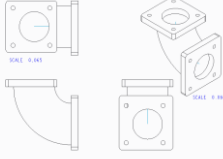
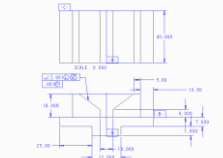
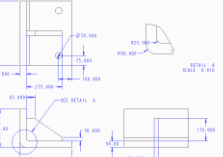
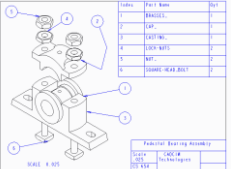
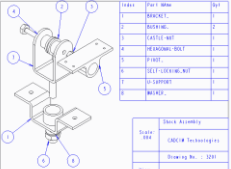

 <p>CAD/CIM Technologies Drawing No: 212-212-010 Revision No: 1 of 3 Date: 10/10/00</p>	<p>c13t02</p>	<p>Työpiirustus_2</p>
	<p>c13t03</p>	<p>Työpiirustus_3</p>
<p>Ohutlevymallintaminen</p>		
	<p>c15t01</p>	<p>Ohutlevy_1</p>
	<p>c15t02</p>	<p>Ohutlevy_2</p>

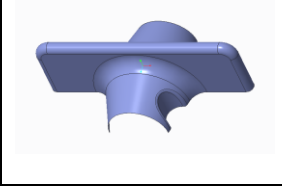
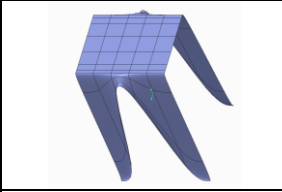
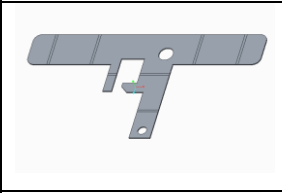
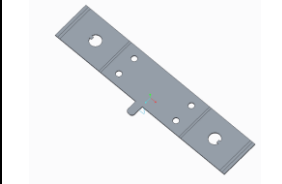
Creo Parametric 3.0		
Kuva	#	Nimi
Tasopiirtäminen		
	c02t01	Piirustus_1
	c02t02	Piirustus_2
	c02t03	Piirustus_3
	c03t01	Piirustus_4
	c03t02	Piirustus_5
	c03t03	Piirustus_6
Osamallintaminen		
	c04t01	Levy_1

	c04t02	Tulppa
	c04t03	Levy_2
	c04t04	Alusta_1
	c04t05	Poikkileikkaus
	c05t01	Alusta_1
	c05t02	Alusta_2
	c05t03	Tukielementti_1
	c06t01	Tukielementti_2
	c06t02	Tukielementti_3

	c06t03	Tukielementti_4
	c06t04	Tukielementti_5
	c07t01	Tukielementti_6
	c07t02	Kansi_1
	c07t03	Tukielementti_7
	c07t04	Jäähdytin
	c08t01	Putkielementti
	c08t02	Kynä
	c08t03	Patsas

	c08tut4	Kouru
	c09t01	Kotelo_1
	c09t02	Kotela_2
	c09t03	Kansi_2
	c09t04	Jousi
	c10t01	Tuubi
	c10t02	Jalusta_1
	c10t03	Rengas
Kokoonpanomallintaminen		
	c11t01	Kokoonpano_1

	<p>c11t02</p>	<p>Kokoonpano_2</p>																											
<p>Työpiirustuksen luonti</p>																													
	<p>c12t01</p>	<p>Työpiirustus_1</p>																											
	<p>c12t02</p>	<p>Työpiirustus_2</p>																											
	<p>c13t01</p>	<p>Työpiirustus_3</p>																											
	<p>c13t02</p>	<p>Työpiirustus_4</p>																											
 <table border="1" data-bbox="470 1243 566 1411"> <thead> <tr> <th>QTY</th> <th>Part Name</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>BRACKET</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>CAP</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>SCREW</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>LOCK WASH</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>WAS</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>SHIMMED-ROCK BRKT</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	QTY	Part Name	Unit	1	BRACKET	1	2	CAP	2	2	SCREW	2	4	LOCK WASH	2	5	WAS	2	1	SHIMMED-ROCK BRKT	1	<p>c14t01</p>	<p>Työpiirustus_5</p>						
QTY	Part Name	Unit																											
1	BRACKET	1																											
2	CAP	2																											
2	SCREW	2																											
4	LOCK WASH	2																											
5	WAS	2																											
1	SHIMMED-ROCK BRKT	1																											
 <table border="1" data-bbox="470 1433 566 1601"> <thead> <tr> <th>QTY</th> <th>Part Name</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>BRACKET</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>SCREW</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>SCREW</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>HEXAGONIC BOLT</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>FRAME</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>TELECOMMUNICATION</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>SCREW</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>BRACKET</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	QTY	Part Name	Unit	1	BRACKET	1	2	SCREW	2	2	SCREW	2	4	HEXAGONIC BOLT	2	1	FRAME	1	6	TELECOMMUNICATION	1	1	SCREW	1	1	BRACKET	1	<p>c14t02</p>	<p>Työpiirustus_6</p>
QTY	Part Name	Unit																											
1	BRACKET	1																											
2	SCREW	2																											
2	SCREW	2																											
4	HEXAGONIC BOLT	2																											
1	FRAME	1																											
6	TELECOMMUNICATION	1																											
1	SCREW	1																											
1	BRACKET	1																											
<p>Pintamallintaminen</p>																													
	<p>c15t01</p>	<p>Kotelo_3</p>																											

	c15t02	Kotelo_4
	c15t03	Jalusta_2
Ohutlevymallintaminen		
	c16t01	Ohutlevy_1
	c16t02	Ohutlevy_2