

Jarmo Lehtimäki

3D-MALLIEN MUOKKAUS 3D-
TULOSTAMISTA VARTEN CAD-
OHJELMILLA

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarmo Lehtimäki
Opinnäytetyön nimi	3D-mallien muokkaus 3D-tulostamista varten CAD-ohjelmilla
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 6 liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula

Insinööriyössäni käsitellään 3D-mallien tulostamista ja erityisesti 3D-mallien mallintamista niin, että kappaleiden valmistaminen 3D-tulostimella onnistuisi mahdollisimman hyvin. Työ tehtiin Prohoc Oy:lle, joka sijaitsee Vaasassa. 3D-tulostuspalveluun tuli jatkuvasti 3D-malleja, joiden tulostuksessa oli ongelmia. Työssäni tutkin näiden ongelmien syntyä ja tein ohjeita eri 3D-mallinnusohjelmille, joiden tarkoituksena on auttaa tekemään helpommin tulostettavia 3D-malleja. Työhön kuului myös etsiä sopivaa muokkausohjelmaa, jonka avulla pystyttäisiin tekemään joitain pieniä muutoksia tulostettaviin 3D-malleihin.

3D-tulostus ei ole saanut suurta suosiota vielä Suomen teollisuudessa, mutta on yleistymässä jatkuvasti erityisesti tuotekehityksessä. Työssä tutustutaan eri mahdollisuuksiin suorittaa 3D-mallin tulostus ja itse tulostusprosessiin. 3D-mallien tulostettavuutta päätettiin parantaa ohjeiden avulla. Eri CAD-ohjelmia on monta, joten ohjeet on tehty yleisimmin käytössä oleviin ohjelmiin. Opinnäytetyön aikana suoritettiin kokeilu, jonka aikana selvitettiin korjatun ja korjaamattoman 3D-mallin tulostusvalmiuteen käytetty aika.

Keskeisin havainto tässä työssä oli se, että suurin osa ajasta ei mene välttämättä 3D-tulostuksessa vaan siinä, kun jotain 3D-mallia yritetään saada tulostettavaksi poistamalla mallissa olevia virheitä. 3D-tulostusprojekteissa olisi aina pyrittävä siihen, että tulostettava malli olisi mahdollisimman hyvin tulostettava. Mikäli 3D-mallia tulee muokata ja mallin virheiden takia se ei tulostu kunnolla, silloin kummallekin osapuolelle tulee ylimääräisiä kuluja.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikka

ABSTRACT

Author	Jarmo Lehtimäki
Title	The Modification of 3D Models for 3D Printing with CAD
Year	2013
Language	Finnish
Pages	59 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula

The thesis was made for Prohoc Oy, which is a subcontractor for many big companies in the Vaasa region. The company had a 3D printer and they wanted to make 3D printing process more efficient. The purpose of the thesis was to study errors that were found in the 3D models. The printing of the models could not be done correctly with the 3D printer. The thesis also included making general instructions about 3D modelling for 3D printing. Instructions were made for different 3D modelling programs.

Initially, different ways of 3D printing and its process were studied. Instructions were made for most popular 3D modelling programs that were in use in associate companies. A test for fixing the model was made using the instructions that were made during this thesis. The test was made mostly for inspecting the time savings if 3D-model is prepared for 3D printing service.

The conclusion of the thesis is that most time in 3D printing process is spent in making the 3D model more printable. That of course depends on the 3D model and its complexity. The best way of using 3D printing service is to use proper 3D model, which is modified for 3D printing. If 3D model does not print out well, then there are usually some problems in the 3D model and it needs to be modified. Modifying is time consuming and at least one print is that way completely useless and waste. This means that it is not efficient to use 3D models that have errors.

Keywords 3D-printing, 3D, model, rapid prototyping

KÄYTETYT KÄSITTEET JA LYHENTEET

3D	Kolmiulotteinen
CNC	Numeerinen ohjaus
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
Komponenttikirjasto	Yleensä yritysten itsensä tekemän 3D-malleja sisältävä kirjasto.
Kovetin	ZPrinter tulostimessa käytettävä materiaalin kovetin, jota käytetään 3D-tulostuksessa.
Photo-sensitiivinen	Valoon reagoiva
Piezo-elementti	Pietsosähköisestä materiaalista tehty elementti, jonka avulla saadaan tehtyä mekaanista liikettä.
Pintamalli	Koostuu joukosta parametrisia pintoja, jotka liittyvät toisiinsa parametristen käyrien ja ohjauspisteiden välityksellä.
Pikamallinne	3D-tulostuksella tehty fyysinen malli.
Polymeeri	Molekyyli, jossa monomeerit ovat liittyneet toisiinsa. Muovi.
Resiini	Hartsia, jota kovettamalla tehdään muovia.
Siemens NX	3D-mallinnusohjelma Siemens NX 8.0
Solidimalli	Tunnetaan myös nimellä kappalemalli. Pyrkii olemaan täydellinen kappaleen kuvaus.
STEP	Neutraali tuotetiedon siirtoon käytetty tiedostomuoto, joka pystyy esittämään tuotetiedot koko elinkaaren ajalta.
STL	STL-tiedostomuoto on yksinkertainen geometriatiedon esitystapa
VRML	Interaktiivisten kolmiulotteisten esineiden ja maailmojen kuvaamiseen ja mallintamiseen tarkoitettu kieli.
WWW	Eli Web on internetin kautta saatavilla olevaa erityyppistä tietoa.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	PROHOC OY ESITTELY	10
	2.1 Asiantuntijapalvelut	11
	2.2 Tekniset palvelut.....	11
3	3D-TULOSTUSPROSESSI	13
	3.1 Mallinnus	13
	3.1.1 3D-mallin vaatimukset.....	16
	3.1.2 Koko.....	17
	3.1.3 Yksinkertaistaminen.....	18
	3.2 Mallin tiedostoformaatin muuntaminen.....	19
	3.3 Mallin viipalointi ja lopullinen tulostustiedosto	20
	3.3.1 Stereolithography (SLA).....	22
	3.3.2 Selective Laser Sintering (SLS).....	23
	3.3.3 Fused Deposition Modelling (FDM).....	25
	3.3.4 Laminated Object Manufacturing (LOM).....	26
	3.3.5 Solid Ground Curing.....	27
	3.3.6 Inkjet Printing	28
	3.3.7 Multijet modelling.....	29
	3.3.8 Paper Lamination Technology	30
	3.3.9 Laser Engineered Net Shaping (LENS).....	31
	3.3.10 Photopolymer Phase Change Inkjets.....	33
	3.3.11 Liquid Metal Jet Printing (LMJP).....	33
	3.4 Jälkikäsittely	34
	3.5 Päätelmät 3D-tulostusprosesseista	36
4	ZPRINTER 650	38
	4.1 Ominaisuudet	38
	4.2 Käyttö.....	39
	4.3 Ohjelmisto.....	40
	4.3.1 Zprint.....	40

	5
4.3.2 Zedit Pro	40
5 ONGELMAT TULOSTAMISESSA.....	42
5.1 Pinnat	42
5.2 3D-mallinnusohjelmat.....	42
5.3 3D-mallien muokkaus.....	42
5.4 Päätelmät.....	43
6 OHJEET ERI MALLINTAMISOHJELMILLE.....	44
6.1 Yleisten ohjeiden tekeminen.....	44
6.2 Yksityiskohtaisten ohjeiden tekeminen eri ohjelmille.....	44
6.2.1 Siemens NX 8.0	44
6.2.2 Autodesk Inventor professional 2012	45
6.2.3 ProE Wildfire 5.0	45
6.2.4 Solidworks 2011	45
6.3 Ilmaisohjelmat 3D-mallien muokkauksessa	45
6.3.1 FreeCad	46
6.3.2 Blender	47
6.3.3 Wings 3D	47
6.3.4 123D Design	48
6.4 Tulosten tarkastelu	49
7 PILOTTI.....	51
7.1 Mallinnus	51
7.2 Mallitiedoston muuntaminen tulostettavaan muotoon.....	52
7.3 Tulosten tarkastelu	53
8 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	55
8.1 3D-tulostusprosessit.....	55
8.2 3D-mallien virheet ja niiden korjaus.....	55
8.3 Ohjeet 3D-mallien muokkaukseen.....	56
8.4 Ilmaisohjelma muokkaukseen.....	56
8.5 Ohjeiden testaus	57
8.6 Loppusanat.....	57
LÄHTEET.....	58
LIIKTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Prohoc Oy:n organisaatiokaavio	s. 10
Kuva 2.	Oilstick 320	s. 12
Kuva 3.	Prohoc OilyWater unit	s. 12
Kuva 4.	Piirretty luonnos ja sen pohjalta tehty kappalemalli	s. 14
Kuva 5.	Siemens NX:llä tehty pintamalli	s. 14
Kuva 6.	Siemens NX:llä tehty solidimalli	s. 15
Kuva 7.	Kuva tulostetusta pienoismallista	s. 16
Kuva 8.	Esimerkki yksinkertaistetusta yksityiskohdasta	s. 18
Kuva 9.	Kolmion pisteet ja suunta	s. 19
Kuva 10.	Työkaluradat viipalodussa 3D-mallissa	s. 21
Kuva 11.	Lasersäde kovettaa kappaleelle uutta kerrosta	s. 23
Kuva 12.	Sls-menetelmän periaate	s. 24
Kuva 13.	Kuva FDM-menetelmän sulatuspäästä	s. 25
Kuva 14.	LOM-menetelmän prosessi	s. 27
Kuva 15.	SGC-menetelmää selittävä kuva	s. 28
Kuva 16.	Inkjet Printing-menetelmän eri osat	s. 29
Kuva 17.	Multijet modelling-menetelmä	s. 30
Kuva 18.	PLT-prosessin kulku pikamallinteen valmistuksessa	s. 31
Kuva 19.	LENS-tekniikan toimintaperiaate	s. 32
Kuva 20.	PPCI-menetelmän periaate	s. 33

Kuva 21.	Sulaa metallia annostelevan suuttimen rakenne	s. 34
Kuva 22.	3D-tulostimella tulostettu kappale	s. 35
Kuva 23.	Tulostettu kappale ja tukirakenteet	s. 36
Kuva 24.	Tulostamisessa materiaalina käytettävä jauhe	s. 38
Kuva 25.	Pienoismalli Wehocoat-laitteesta	s. 39
Kuva 26.	Eräissä mallissa näkyviä virheitä	s. 41
Kuva 27.	3D-mallin tekemistä FreeCad -ohjelman avulla	s. 46
Kuva 28.	Blenderin muokkausnäkyvä	s. 47
Kuva 29.	Wings 3D-ohjelman muokkausnäkyvä	s. 48
Kuva 30.	123D Design –mallinnusohjelma	s. 49
Kuva 31.	Tulostettava 3D-malli	s. 51
Kuva 32.	Korjatut pinnat näkyvät valkoisella värillä	s. 54

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Yleisohjeet**LIITE 2.** Siemens NX 8.0-ohjeet**LIITE 3.** Autodesk Inventor 2012 Professional-ohjeet**LIITE 4.** ProE Wildfire 5.0-ohjeet**LIITE 5.** Solidworks 2011-ohjeet**LIITE 6.** Raportti

1 JOHDANTO

Prohoc oli ostanut 3D-tulostimen, jolla tehtiin pääasiassa pienoismalleja ja prototyypejä lähialueen yrityksille. Tulostin oli ollut heillä käytössä jo yli vuoden. Eniten tulostimella tehdään pienoismalleja, esimerkiksi voimalaitoksille tulevista moduuleista, moottoreista ja generaattoreista.

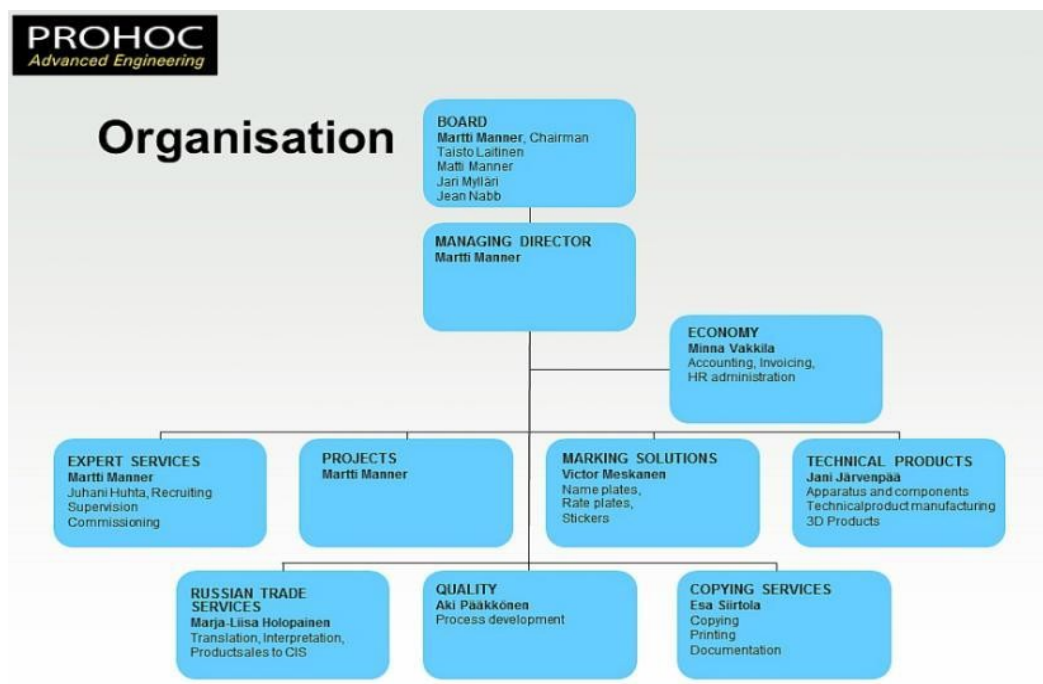
Tulostuksessa oli ongelmia joidenkin tulostettavien 3D-mallien kanssa. 3D-mallien virheet aiheuttivat sen, että tulostettu kappale sisälsi virheitä. Virheiden korjaaminen vei paljon aikaa ja vaati paljon töitä riippuen 3D-mallin monimutkaisuudesta.

Työn valvomisen ja ohjaamisen teki koulun puolelta lehtori Juha Hantula ja Prohoc Oy:n puolelta valvojana toimi 3D-tulostuksen valvoja Saeed Mokabber. Opinnäytetyön aiheeksi rajattiin yleisohjeiden tekeminen mallintamiseen ja eri 3D-mallinnusohjeiden tekeminen tulostettavia malleja varten. Opinnäytetyössä tehtiin laadittujen ohjeiden perusteella myös testi, jossa testattiin ohjeiden toimivuutta 3D-malliin, joka sisälsi virheitä.

Virheelliset 3D-mallit tulivat suurimmaksi osaksi yhdestä ja samasta yrityksestä. Sieltä tulevat mallit sisälsivät kutakuinkin samanlaisia virheitä, joiden korjauksessa kuluu kauan aikaa. Virheet johtuivat suurimmaksi osaksi siitä, että samaa 3D-mallia oli liikuteltu ohjelmasta toiseen eri tiedostoformaateissa ja epäiltiin, että 3D-mallissa olisi eri osien revisioita. Tehty kokeilu osoitti, että valmiiksi muokatut 3D-mallit nopeuttivat tulostamisen aloitusta ja säästivät materiaalia.

2 PROHOC OY ESITTELY

Prohoc Oy:n toimitilat sijaitsevat Vaasassa. Prohoc on monialainen palveluntuotto yritys, jonka toiminta-ajatuksena on tuottaa asiakkailleen sellaisia kokonaispalveluita ja tuotteita, jotka lisäävät asiakkaiden toiminnan tehokkuutta ja kilpailukykyä. Prosessit on sertifioitu ISO-9001 -laatustandardin, ISO 14001 - ympäristöstandardin sekä OHSAS 18001-työ, terveys ja turvallisuusstandardin mukaisesti. Alla näkyy organisaatiokaavio (**Kuva 1.**). Päätoimiala on Expert Services, mihin kuuluvat asiantuntijapalvelut. /28/



Kuva 1. Prohoc Oy:n organisaatiokaavio.

Vuosi 2012 oli Prohocilla vahva. Liikevaihto saavutti kaikkien aikojen ennätysten ollen 4,85 M€. Kasvua vuodesta 2011 kertyi 34 %. Voimakkainta kasvu oli Expert Services-yksikössä. /28/

2.1 Asiantuntijapalvelut

Yrityksen asiantuntijat toimivat pääasiassa asiakkaiden vientiprojekteissa ympäri maailmaa. Palvelut koostuvat suunnittelusta, asennusvalvonnasta ja käyttöönotosta. Suunnittelupalvelut tuotetaan osana asiakkaan omaa projektiryhmää tai erillisenä suunnittelupalveluna. /28/

Prohoc palvelee myös Venäjän-kauppaan liittyvissä asioissa ja erityisesti energiatekniikan alalla. Palveluvalikoima Venäjän-kaupassa koostuu monikielisestä viestinnästä, vientikaupan asiantuntijapalveluista, markkinointiviestinnästä, vientikonsultoinnista, Venäjän-kaupan informaatiopalveluista ja teknisestä kaupasta. /28/

2.2 Tekniset palvelut

Prohoc maahantuo, varastoi ja markkinoi kojeita ja komponentteja, jotka ovat lähinnä sähkö- ja prosessitekniisiä mittaustekniikkaan liittyviä laitteita ja järjestelmiä. Palveluihin kuuluu myös muoviputket, putkikaapelit, 3D tulostuspalvelut, kopiolaitos ja merkintätuotteet, johon kuuluvat kilvet, tarrat ja 3D-linssikilvet. Prohoc toteuttaa ja valmistaa oman tuotekehityksen avulla yhteistyössä asiakkaan kanssa heidän tarvitsemiansa laitteita ja ratkaisuja. /28/

Yritys on kehittänyt reaaliaikaisen voiteluöljyn kulutuksen mittausjärjestelmän (**Kuva 2.**) Oilstick 320:n. Järjestelmä liitetään suoraan moottorin valvontajärjestelmään, jolloin saadaan reaaliaikaista tietoa voiteluöljyn kulutuksesta. Pinnan mittauksen yhteyteen voidaan integroida myös automaattinen öljynlisäysjärjestelmä. /15/



Kuva 2. Oilstick 320

Toinen Prohocin kehittämä laite on Prohoc OilyWater unit, eli POW. POW (**Kuva 3.**) on mittaustekninen tuote öljyvesiseoksen koostumuksen, pinnan sekä rajapinnan mittauksiin. Sillä on mahdollista automatisoida öljyn ja veden erottelu ja käyttää sitä öljynpuhdistuksen ja käsittelyn ohjaukseen. /18/



Kuva 3. Prohoc OilyWater unit

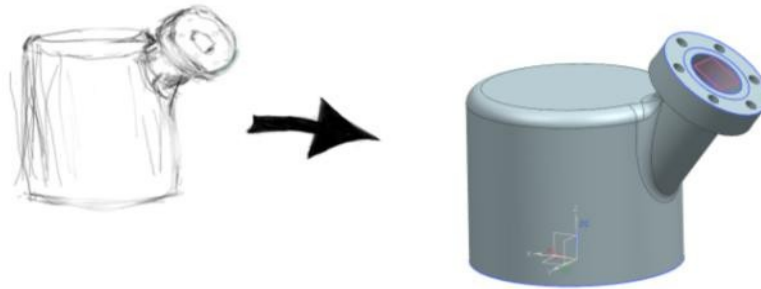
3 3D-TULOSTUSPROSESSI

3D-tulostuksessa tarkoituksena on saada 3D-mallinnetusta kappaleesta fyysinen kappale, jota voidaan käyttää esimerkiksi markkinoinnissa, havainnollistamisessa, taiteessa, tuotekehityksessä ja pienoismalliteollisuudessa. Nykyään internetistä voi löytää paljon jo valmiita 3D-malleja, jotka pystytään tulostamaan välittömästi suurimmalla osalla markkinoilla olevista 3D-tulostimista. 3D-tulostusta tarjoavat yritykset saavat yleensä 3D-mallinsa 3D-tulosteen tilaajalta, joka on joko mallintanut mallinsa itse tai alihankkijan avulla. /13/

3.1 Mallinnus

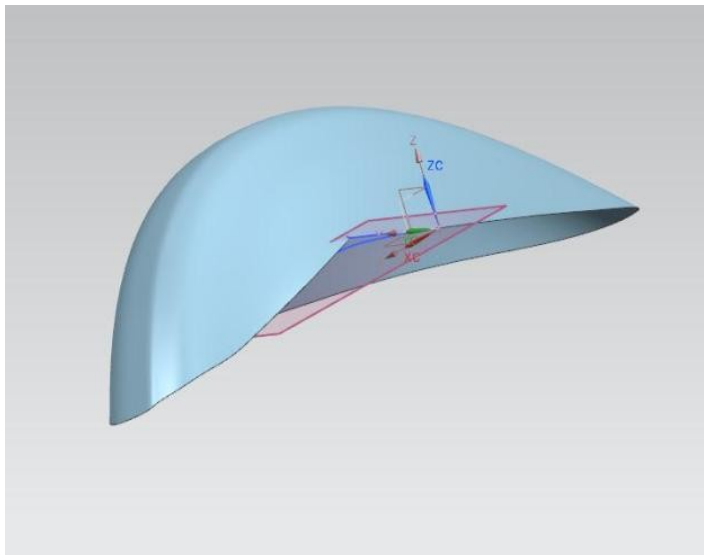
3D-mallinnuksessa on otettava huomioon mallin käyttö. 3D-malleja on enimmäkseen käytetty tietokoneavusteisessa suunnittelussa, jonka pääasiallinen tarkoitus on ollut antaa tuotannolle tarvittavat dokumentit kappaleiden valmistuksessa /7, 31-34/. Nykypäivänä tuskin mitään kaupallista tuotetta tehdään ilman jonkinlaista 3D-mallinnusta. 3D-malleja käytetään myös joissain elokuvissa ja animaatioissa, jolloin ulkonäöllä on suurempi painoarvo kuin teknisillä näkökulmilla. Tässä kappaleessa keskitytään 3D-mallien tekemiseen 3D-tulostamista silmällä pitäen. /13/

Mallinnusprosessi lähtee liikkeelle ideoinnista ja luonnostelusta, joiden jälkeen siirrytään itse mallinnuksen pariin (**Kuva 4.**). Mallista pyritään tekemään varsinkin teollisuudessa mahdollisimman tarkka valmistuksen kannalta. Teollisuudessa tehtävät kokonaisuudet koostuvat useasta eri osasta, jolloin on tarpeen tehdä kokoonpanomalli. Kokoonpanomallien kanssa on mahdollista käyttää ulkopuolelta tuotuja osia eri mallikirjastoista, joita löytyy internetistä ja joissain mallinnusohjelmistoissa on mahdollisuus ostaa erikseen komponenttikirjastoja. /22, 99-104/



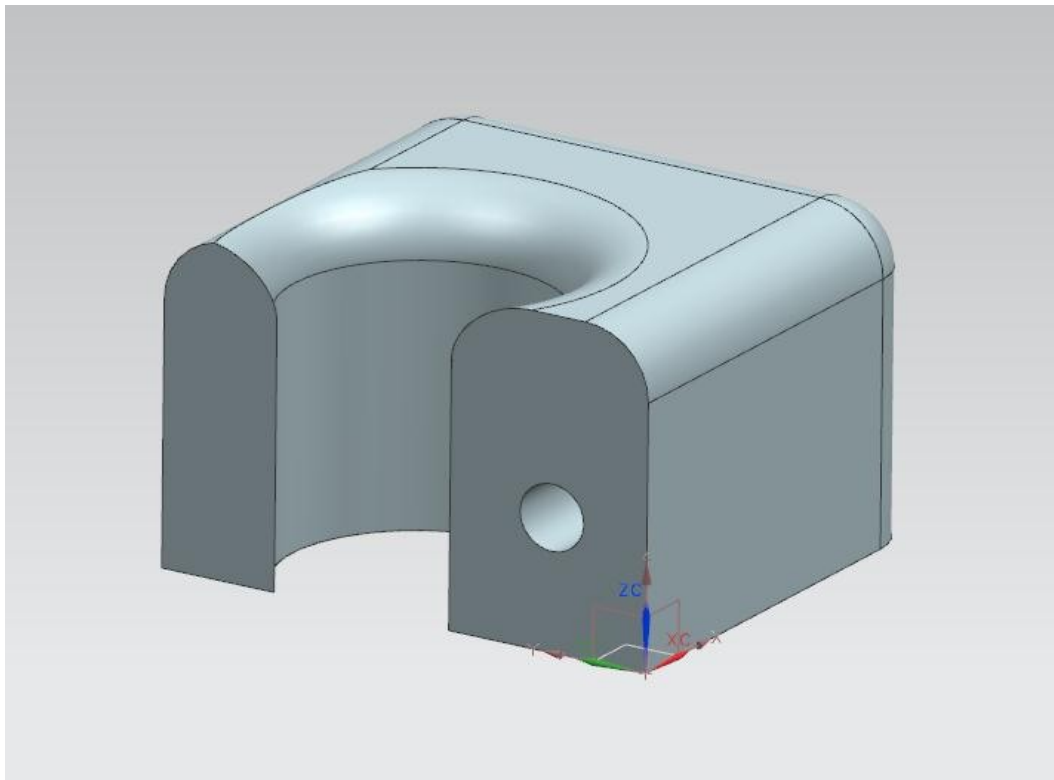
Kuva 4. Piirretty luonnos ja sen pohjalta tehty kappalemalli

Usein monimuotoisten mallien mallinnuksessa on käytetty ns. pintamallinnusta, jolloin rautalankamallin ympärille on ainoastaan laitettu kuori. Tämä malli ei ole solidimalli ja ei itsessään sovi tulostukseen. Pintamallit ovat yleisempiä monimutkaisten muotojen malleissa, kuten auton monimuotoisessa ulkomuodossa. 3D-tulostusta varten se olisi pursotettava, jotta olisi jotain tulostettavaa (**Kuva 5.**). /22, 20-21/



Kuva 5. Siemens NX:llä tehty pintamalli.

Suurin osa kaikista malleista on kuitenkin kappale- eli solidimalleja. Tämä mallintamistapa koostuu eri valmiista umpinaisista muodoista, kuten ympyrä, kolmio, neliö ja kartio. Näitä perusmuotoja pystytään muokkaamaan esimerkiksi leikkaamalla ja pursottamalla, jolloin kappaleeseen lisätään tai siitä poistetaan sopivanmuotoisia kappaleita (**Kuva 6.**). Nykyisin yleisin tapa mallintaa on tehdä ns. aloituspiirros ja pursottaa se. Tämä antaa paljon joustoa mallinnusprosessiin ja sitä voidaan pitää melko tehokkaana tapana. Kappalemallinnus on erityisen hyödyllinen teollisuudessa ja paljon suositumpi kuin pintamallinnus, sillä kappalemallinnuksessa pystytään helpommin määrittelemään mallinnettavan kappaleen mitat. /22, 26-27/



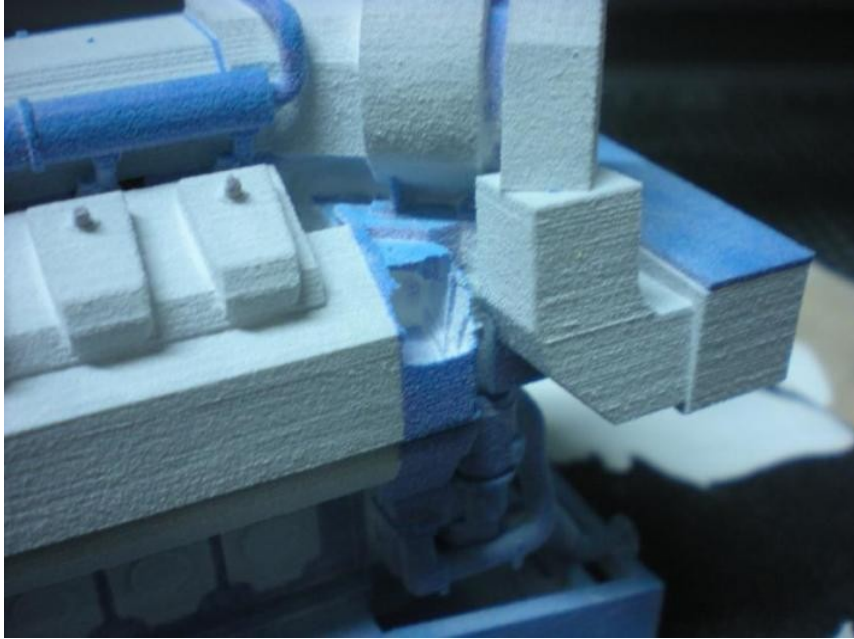
Kuva 6. Siemens NX:llä tehty solidimalli.

3.1.1 3D-mallin vaatimukset

Tulostettavaa mallia tehdessä vaatimukset ovat hieman erilaiset kuin normaalisti teollisuudessa. 3D-tulostetta käytetään suurimmaksi osaksi havainnollistamaan jotain 3D-mallia ja joissain tapauksissa sitä käytetään prototyypinä teknisen toimivuuden tarkastamisessa. 3D-tulostettuja kappaleita on mahdollista käyttää myös valumuottien tekemiseen. /13/

Ensimmäinen vaatimus onkin, että tulostettu malli kestää rasituksen, mitä se joutuu kokemaan kappaleen käsittelyssä. Eräs hyvä esimerkki on pienoismalli. Pienoismallin ei tarvitse olla hirvittävän kestävä, sillä sen tarkoitus on olla lähinnä koristeena, mutta sen tulee kuitenkin kestää ympäristön rasitukset. Tulosteen ensimmäinen ongelma on seinämien paksuus, mikäli kyseessä on ontto kappale. Pienoismallit tehdään yleensä skaalaamalla malli pienemmäksi, jolloin seinämien paksuus pienenee radikaalisti, varsinkin kun kyseessä on isojen laitteiden pienoismallit (**Kuva 7.**). /13, 67-68/

Kestävyysongelma on tullut erityisen hyvin esille opinnäytetyön aikana Prohoc Oy:ssä. Arkkitehtuurisissa 3D-luonnoksissa on lähes samanlainen ongelma talojen seinien paksuudessa. 3D-malleja pitääkin yleensä muokata kestävämmän ulkoista rasitusta paremmin, mutta kuitenkin järkevästi, että tulostuksessa käytettävä raaka-aine ei menisi hukkaan.



Kuva 7. Kuva tulostetusta pienoismallista

Mallin tarkkuuteen liittyvät vaatimukset riippuvat käyttökohteesta. Joissain prototyypeissä on tarpeellista saada reiät kohdilleen, mikäli kysymys on jonkin kokoonpanon osan korvaamisesta. Tarkkuutta on vaikea saada 3D-mallinnuksen aikana paremmin vastaamaan 3D-tulostimen kykyjä, esimerkiksi reikien kohdalla, mutta joissain tapauksissa reikiä on hyvä suurentaa tai siirtää tulostettu kappale suoraan jälkikäsittelyyn, jossa reiät viimeistellään esimerkiksi poraa käyttämällä. Poraa joudutaan käyttämään usein mm. FDM-menetelmällä toimivan 3D-tulostimella tehtyjen mallinteiden kanssa.

Pintamallit eivät ole yleensä umpinaisia malleja ja se vaatiikin yleensä pursotuksen mallista. Pintamalleihin voi törmätä esimerkiksi ergonomiaa tutkivissa 3D-tulostuksissa. Monimuotoisten pintamallien kanssa ongelmia saattaa tulla erillään olevista pinnoista, jolloin kappale ei ole umpinainen. /22, 29-30/

3.1.2 Koko

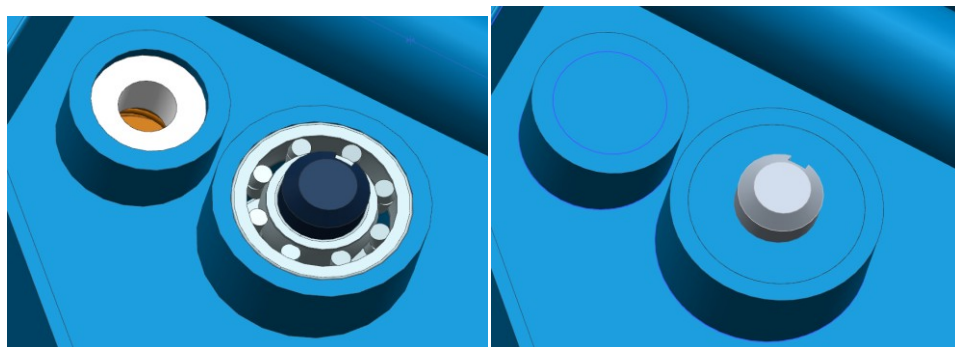
Kaikissa 3D-tulostimissa on maksimikoko. Esimerkiksi Prohoc Oy:llä käytössä oleva Zprinter 650 pystyy tulostamaan maksimissaan 254 x 381 x 203 mm isoja

kappaleita. Kaikkien tulostettavien kappaleiden olisikin hyvä mahtua tuolle alueelle, mutta tämä ei kuitenkaan ole pakollista. Isommat kappaleet voidaan halkaista esikäsitellyssä, jolloin kappaleet voidaan tehdä vaikka kahdesta eri osasta ja liimata yhteen jälkikäsitellyssä. /24/

3D-tulostimia valmistavat yritykset ovat kasvattamassa tulostustilavuutta ja yksi esimerkki tästä onkin Objetin tulostin, jonka avulla pystytään tulostamaan 1000 x 800 x 500 mm kokoisia kappaleita. Etuja suurissa rakennustilavuuksissa on mm. se, että pikamallinnettavia malleja ei tarvitse pilkkoa pienempiin osiin. Isojen osien tulostaminen yhdellä kertaa säästää paljon aikaa. /14/

3.1.3 Yksinkertaistaminen

Yksinkertaisissa 3D-malleissa, jotka koostuvat ainoastaan yhdestä osasta, on yleensä vähemmän ongelmia kuin kokoonpanoissa. Kokoonpano on hyvä muokata yhdeksi osaksi käytetyn 3D-mallinnusohjelman avulla. Mikäli jotkin yksityiskohdat eivät ole välttämättömiä, kuten reiät, ne on syytä poistaa. Pienten eri osien yksinkertaistaminen on myös tarpeellista, kuten pienten laakereiden näkyminen täydellisinä joissain kokonaisuuksissa (**Kuva 8.**). Jotkin yksityiskohdat eivät näy ollenkaan lopullisessa pikamallinteessa, jolloin niiden yksityiskohtainen mallintaminen on turhaa. /4/

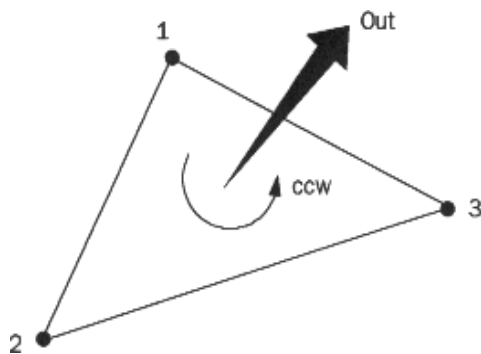


Kuva 8. Esimerkki yksinkertaistetusta yksityiskohdasta

3.2 Mallin tiedostoformaatin muuntaminen

Ennen tulostamista malli tulee muuntaa sellaiseen muotoon, mitä 3D-printterin ohjelmisto ymmärtää. 3D-mallinnusohjelmien valmistajia on monta ja kaikilla on eri tiedostoformaatit joihin ne tallentavat 3D-malleja. Eri formaatteja, joita 3D-printterit tunnistavat on muutamia. STL-formaatti oli ensimmäinen tiedostomuoto, mitä pikamallinnuksessa käytettiin. Nykyään on muitakin tiedostoformaatteja, kuten VRML. /6, 251-273/

Yksi yleisimmistä tiedostoformaateista 3D-tulostimissa on STL. STL on lyhennys sanoista StereoLithography ja tässä tiedostomuodossa malli on hajotettu eri kolmioihin 3D-koordinaatistossa. Kolmioille on annettu kolme pistettä ja suunta, joka on mallista ulospäin (**Kuva 9.**). 3D-malli on periaatteessa pelkkä pinta, mutta pinnan normaalin eli suunnan määrittäminen kertoo umpinaisessa kappaleessa paksuuden. /20/



Kuva 9. Kolmion pisteet ja suunta /21/

VRML tulee sanoista Virtual Reality Modelling Language. VRML-tiedostoformaattiin pystytään sisällyttämään 3D-grafiikkaominaisuuksia, kuten textureja. 3D-tulostaessa tämä tarkoittaa sitä, että mikäli 3D-tulostin tukee värejä, niin malliin on mahdollista saada vaikka kuva. Alun perin VRML oli tarkoitettu WWW:ssä tapahtuvaan käyttöön, esimerkiksi virtuaalimaailmoissa, sillä siihen oli mahdollista lisätä hyperlinkkien avulla ääntä ja kuvia. VRML

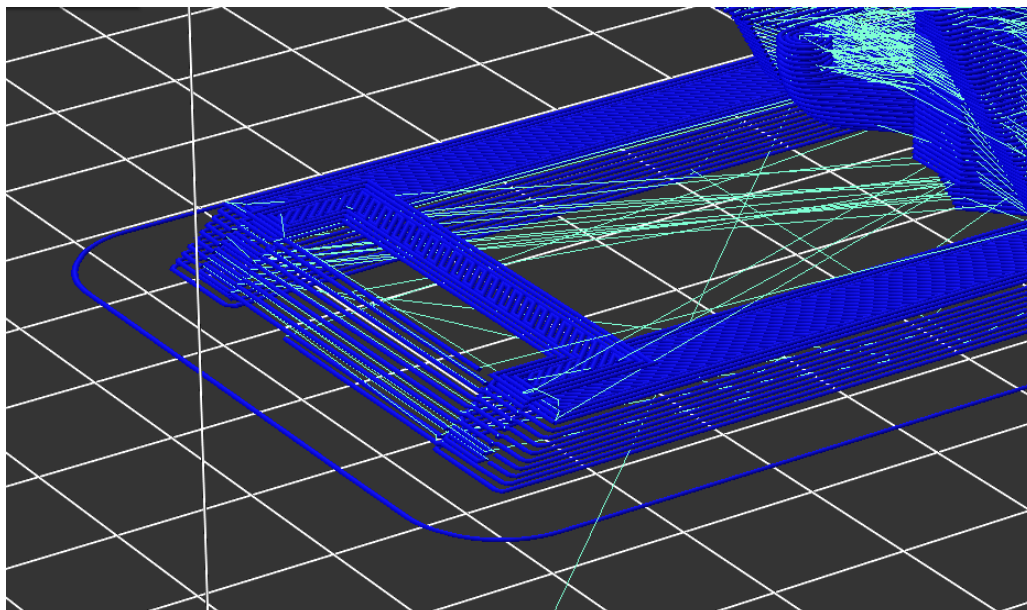
soveltuu kuitenkin myös neutraaliksi tiedonsiirtoformaatiksi, sillä useissa CAD-ohjelmistoissa on tuettuna 3D-mallin tallentaminen VRML-muodossa. /6, 272-273/

3D-mallinnusohjelmistoissa on mahdollisuudet tallentaa mallit eri muodoissa ja yksi yleisimmistä tiedostomuodoista on .step/.stp-muodot. 3D-malliformaatti stepiä pystyy lukemaan lähestulkoon kaikki teollisuudessa käytössä olevat 3D-suunnitteluohjelmistot. STEP on myös Iso-standardisoitu (ISO 10303). /19/

Mikäli käytössä oleva 3D-mallinnusohjelmisto ei tue 3D-tulostimessa käytössä olevia tiedostoformaatteja niin ainoaksi mahdollisuudeksi tulee siirtää 3D-malli yleisesti tuetussa tiedostomuodossa johonkin eri ohjelmaan, jossa tiedostoformaatin vaihto onnistuu. Eri tiedostoformaatteja käytettäessä tulee kääntäjiä olla kaksi: lukeva ja kirjoittava. Tiedostoformaattien muuttaminen 3D-mallissa eli geometriatiedon siirtäminen eri tiedostomuotoon aiheuttaa joskus ongelmia. Ongelmat voivat tulla tiedoston kääntäjän epätäydellisyydestä tai jopa keskeneräisyydestä. CAD-ohjelmistoissa voi olla eroja mm. matemaattisessa määrittämissä, esitystavoissa ja tarkkuuksissa. Seurauksena tällaisissa tapauksissa saattaa olla mallin pintojen väliin jääviä reikiä, mitä joudutaan korjaamaan manuaalisesti. /6, 263-266/

3.3 Mallin viipalointi ja lopullinen tulostustiedosto

Tiedostoformaatin muuntamisen jälkeen 3D-tulostimet eivät yleisesti ottaen ymmärrä, että mitä sillä 3D-mallilla pitäisi tehdä. Kaikki nykyaikaiset 3D-tulostimet perustuvat siihen, että tulostettava kappale ”rakennetaan” yksi kerros kerrallaan rakennusalustalle. Ennen kuin 3D-tulostin ymmärtää tehdä mitään, tarvitsee se tietoa työkaluradoista, mallin korkeudesta, rakennettavien kerrosten paksuudesta, nopeudesta ja tulostimesta riippuen myös tukimateriaalin käytöstä (**Kuva 10.**). /6, 171-173/



Kuva 10. Työkaluradat viipalodussa 3D-mallissa

Työkaluradoilla tarkoitetaan yhden kerroksen rakentamiseen tarvittavia työkaluratoja, mitkä 3D-tulostimen prosessointiohjelma tekee ymmärtämälleen 3D-mallille. Työkaluradat ovat x-, y- ja z-koordinaatistossa olevia pisteitä, joiden mukaan tulostimen tulostuspää liikkuu. 3D-tulostimet eroavat CNC-työstökoneista ja niiden työkaluradoista kuitenkin siinä, että esimerkiksi CNC-työstökoneella työkalu voi liikkua samaan aikaan x-, y- ja z-akselilla. 3D-tulostimessa z-akseli ei liiku, ennen kuin x- ja y-akseli ovat tehneet työkaluratansa loppuun. Työkaluratakäskyjen yhteyteen laitetaan käskyt käytettävän materiaalin, kuten tukimateriaalin ja itse tulostusmateriaalin käytöstä. /6, 171-173/

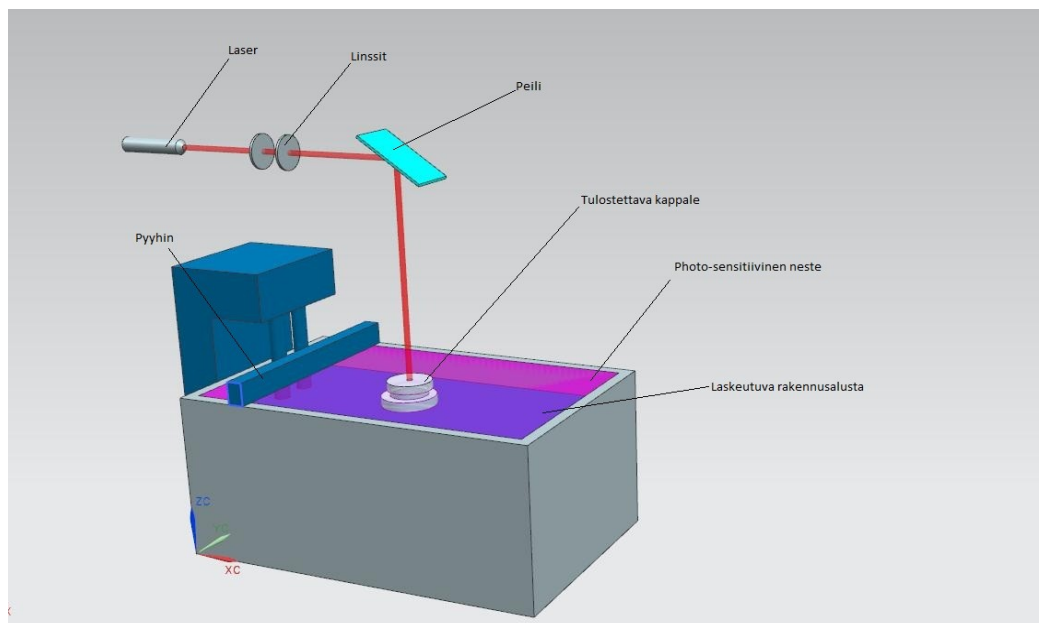
Mallin prosessointiin saattaa mennä helposti useita minuutteja, riippuen tietenkin tietokoneen laskentatehosta, 3D-mallin monimutkaisuudesta, 3D-mallin z-suunnassa olevasta korkeudesta ja käytettävästä ohjelmistosta. Lopputuloksena saadaan käskyt, jotka mallin tulostamisen alkaessa annetaan 3D-tulostimelle. Mikäli 3D-mallin prosessointiin kuluva aika halutaan vähentää, mallia tulisi yksinkertaistaa. /6, 171-173/

Tulostamisen aikana tulostin suorittaa kaikki 3D-mallin prosessoinnin aikana saadut työkaluradat. Lopputuloksena saadaan fyysinen mallikappale, joka on samankokoinen kuin mallinnettu 3D-mallikin CAD-ohjelmassa. Pinta on hieman erilainen tulostetussa kappaleessa, koska pikamallinne on tehty yleensä kerros kerrokselta. Eri tapoja saada aikaan 3D-tulostettuja kappaleita on monia. Osa näistä tekniikoista ei ole kaupallistettu vielä täysin, mutta 3D-tulostuksen suosion noustessa voidaan odottaa näidenkin tekniikoiden kaupallistumista, mikäli niillä saavutetaan jonkinlaista etua vanhoihin verrattuna. /6, 171-178/

3.3.1 Stereolithography (SLA)

Stereolithography eli SLA on vuonna 1986 patentoitu pikamallinnusmenetelmä. SLA oli myös ensimmäisiä mahdollisia menetelmiä, joita käytettiin 3D-tulostamisessa. Kyseisessä menetelmässä rakennetaan 3D-kappaleita nestemäisestä photo-sensitiivisestä polymeeristä, joka kovettuu välittömästi altistuttuaan UV-valolle. 3D-tulosteet rakennetaan kerros kerrallaan, kuten lähes kaikissa muissakin kaupallisissa 3D-tulostimissa. Tämä menetelmä käyttää säleikkömäisiä tukirakenteita 3D-mallin ulkonemia tulostettaessa. /8, 139-142/

SLA prosessissa STL-tiedosto prosessoidaan viipaloimalla se pieniin osiin. Jokainen viipale heijastetaan laserin avulla UV-valolle herkkään resiiniin yksi kerrallaan, jolloin resiinin pinta kovettuu (**Kuva 11.**). Joka kerroksen jälkeen pikamallinnettavaa kappaletta siirretään nesteessä yksi kerros alemmas ja laitteistossa oleva pyyhin pyyhkäisee resiinin pinnan. Yhden kerroksen paksuus on yleensä 0.1 mm. Kappaleen jälkikäsittelyyn kuuluu ylimääräisen tukirakenteen poistaminen ja ylimääräisen resiinin kuivattaminen UV uunissa. /8, 139-142/



Kuva 11. Lasersäde kovettaa kappaleelle uutta kerrosta

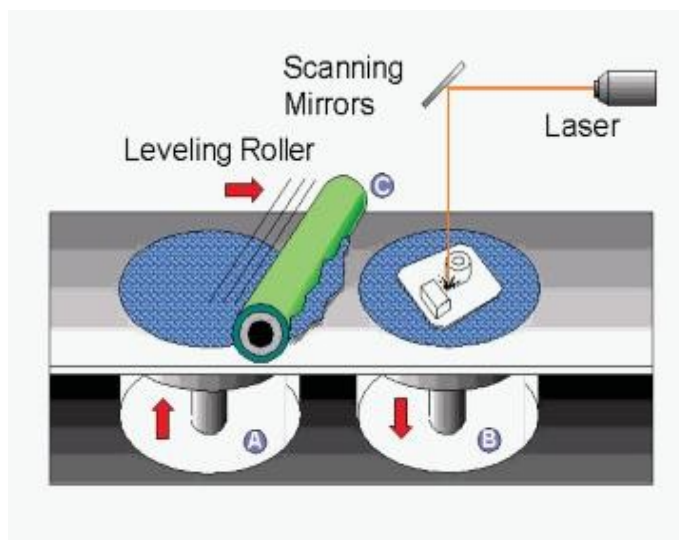
Prosessi oli ensimmäinen pikamallinnusmenetelmä, joka kaupallistettiin ja täten kaikkia sen jälkeen tulleita menetelmiä on verrattu siihen. SLA:n etuja ovat hyvä tarkkuus, pikamallinteen hyvä ja tasalaatuinen pinta, prosessin luotettavuus ja yksityiskohtien tulostus. Menetelmässä on huonoa korkea hinta, materiaalivaihtoehtoja on vähän ja kappaleen jälkikäsittelyyn kuluu paljon aikaa. /8, 139-142/

3.3.2 Selective Laser Sintering (SLS)

SLS on laserin avulla tapahtuvaa sintrausta, jossa lasersäteiden avulla sulatetaan jauhemaisessa muodossa olevaa ainetta. Jauhe tuodaan kerroksittain rakennusalustan päälle ja sulamaton jauhe tukee rakennettavaa kappaletta, jolloin tukevia rakenteita ei tarvitse erikseen sulattaa. /8, 142-144/

SLS:ssä käytettäviä sulatettavia materiaaleja ovat esimerkiksi nylon, elastomeerit ja eri metallit. 3D-tulostamisen aikana laser sulattaa pikamallinnuksessa käytettävän ohuen materiaalikerroksen tulostamista varten prosessoidun 3D-mallin mukaan, jonka jälkeen rakennusalusta laskeutuu yhden rakennettavan

kerroksen verran alaspäin ja uusi jauhekerros tuodaan rakennusalustan päälle. Yleensä jauhekerros tuodaan eräänlaisen telan avulla, joka levittää sintrattavan jauheen tasaisesti. Tätä kiertoa jatketaan niin kauan, että kappale on valmis (**Kuva 12.**) /8, 142-144/



Kuva 12. SLS-menetelmän periaate /8, 142-144/

Valmiissa kappaleessa on matta ja hieman jauhomainen pinta. Sintraamalla saadaan tehtyä tarkkoja kappaleita ja riippuen materiaalivalinnasta saadaan niistä myös todella kestäviä. SLS-menetelmä on hyvin kiinnostava menetelmä suuren materiaalivalikoiman ansiosta, joka vaihtelee muoveista eri metalleihin. Jauhe tukee kappaletta sen rakennusvaiheessa, joten jälkikäsittelyssä ei tarvitse poistaa minkäänlaisia rakenteita, joita pikamallinnuksen aikana yleensä syntyy ja eri kappaleita voidaan sijoittaa päällekkäin pikamallinnettavaksi. Kappaleen valmistaminen on kohtuullisen nopeaa ja joissain tapauksissa pystytään valmistamaan jopa 25 mm korkeutta tunnissa. /8, 142-144/

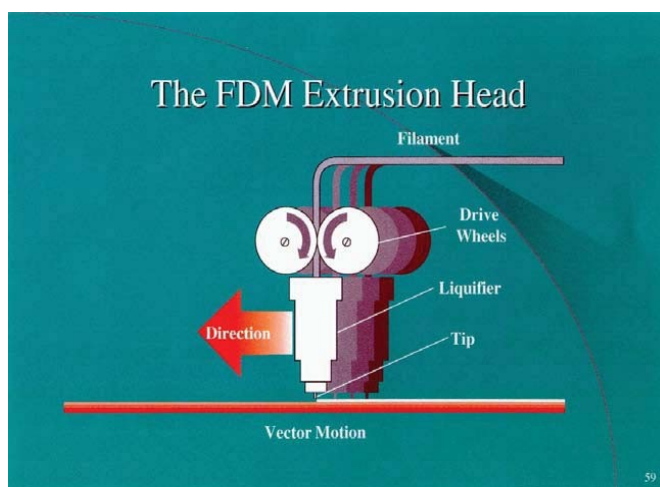
Huono puoli tässä menetelmässä on pinnan laatu, joka jää usein hieman huokoisen näköiseksi, mikäli kappaletta ei käsitellä hiekkapuhalluksella. Kappaleeseen johtuu lasersäteilystä lämpöä, joka johtaa siihen, että kappaleen jäähtymistä

joudutaan odottamaan jopa tunteja. 3D-tulostamisen aloittamiseksi on odotettava, että tulostusmateriaalina käytettävä jauhe lämpenee. Prosessissa tulee tulostuksen aikana olla suojakaasu, joka suojaa tulostustapahtumaa ilman epäpuhtauksilta ja se aiheuttaa kustannuksia. /8, 142-144/

3.3.3 Fused Deposition Modelling (FDM)

FDM on maailmalla toiseksi eniten käytetty tulostusmenetelmä SLA:n jälkeen. Tässä menetelmässä käytetään kestopuovia, jota puristetaan lämmitetyn suuttimen kautta rakennusalustalle. Menetelmä on melko halpa verraten edellä esitettyihin, sillä siinä ei käytetä avuksi laseria vaan sähköllä toimivaa vastusta, joka lämmittää muovin juoksevampaan muotoon. /8, 145-147/

Pikamallinnusprosessissa tulostimen suutin lämmitetään sellaiseen lämpötilaan, jossa muovi sulaa, mutta ei kuitenkaan pala. Suuttimen kautta työnnetyn kestopuovin avulla rakennetaan kappaleet kuten muissakin 3D-tulostusmenetelmissä, eli kerros kerrallaan (**Kuva 13.**). Materiaali tulee suuttimeen muovilankana. Tässä menetelmässä ovat erinäiset tukirakenteet erityisen tarpeellisia, sillä ulkonevia osia ei muuten tue mikään. /8, 145-147/

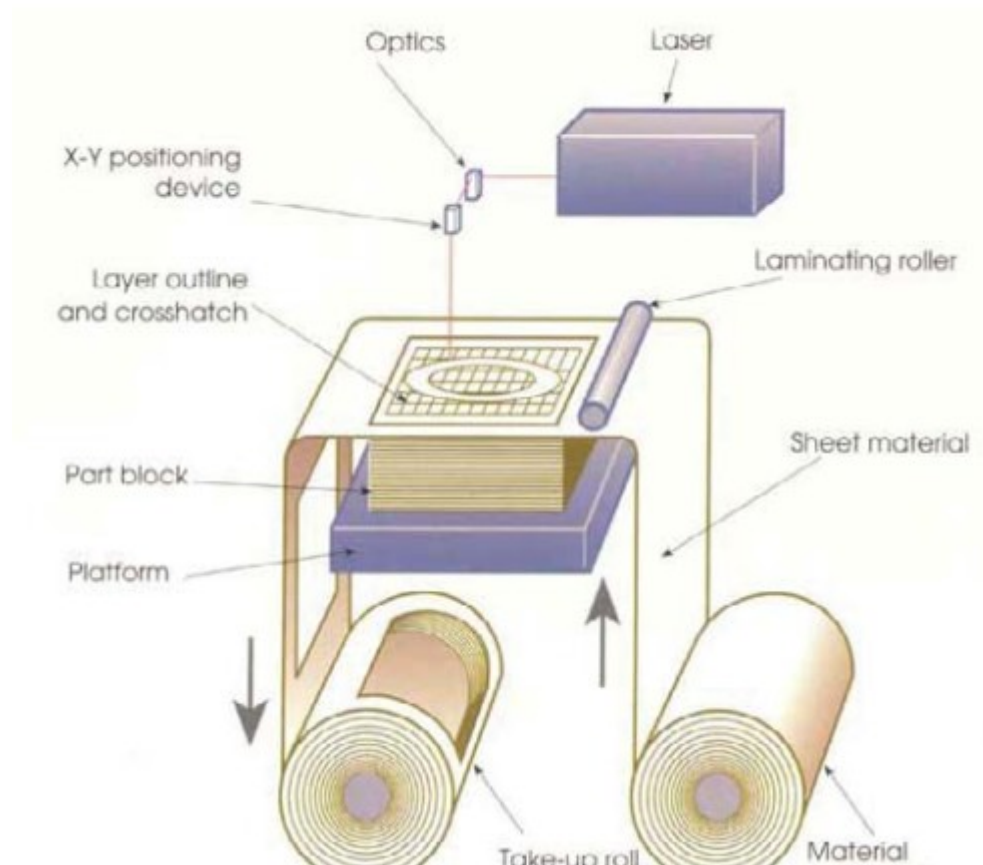


Kuva 13. Kuva FDM-menetelmän sulatuspäästä /8, 145-147/

Edut tämän tapaisissa 3D-tulostimissa ovat suurimmaksi osaksi hinnassa ja soveltuvuudessa toimistokäyttöön. Käyntiääni on hiljainen ja osat ovat melko kestäviä eri prototyypin testaamisessa. Uusissa FDM-tulostimissa on mahdollisuutena käyttää veden avulla poistettavaa tukirakennetta, joka voidaan poistaa veden avulla nopeuttaen jälkikäsittelyyn käytettävää aikaa. Yleisin materiaali lienee ABS-muovi, jolla on hyvät ominaisuudet keston suhteen. Kestomuoveilla on myös useita eri väri vaihtoehtoja, mitkä pystytään joissain 3D-tulostimissa vaihtamaan jopa tulostuksen aikana, mikäli tulostimissa on monta eri tulostuspäätä. Heikkoudet tässä prosessissa ovat tarkkuus, tukirakenteiden tarve ja kappaleen kestävyys kohtisuoraan rakennus akselia vasten. /8, 145-147/

3.3.4 Laminated Object Manufacturing (LOM)

LOM-menetelmässä käytetään muovien sijasta paperia. Fyysiset tulostettavat kappaleet saadaan aikaan paperin, liiman ja laserin avulla. Paperi on päällystetty liimalla, joka aktivoituu lämmöstä. Prosessi lähtee liikelle siitä, että paperi tuodaan rakennus alustalle ja lämmitetään laminointitelalla kiinni alustaan. Laser leikkaa paperista tulostettavan mallin kerroksen ja tekee ylimääräiseen paperiin ristikon muotoista kuviota, että sen poistaminen olisi jälkikäsittelyssä helpompaa (**Kuva 14.**). /8, 148-149/



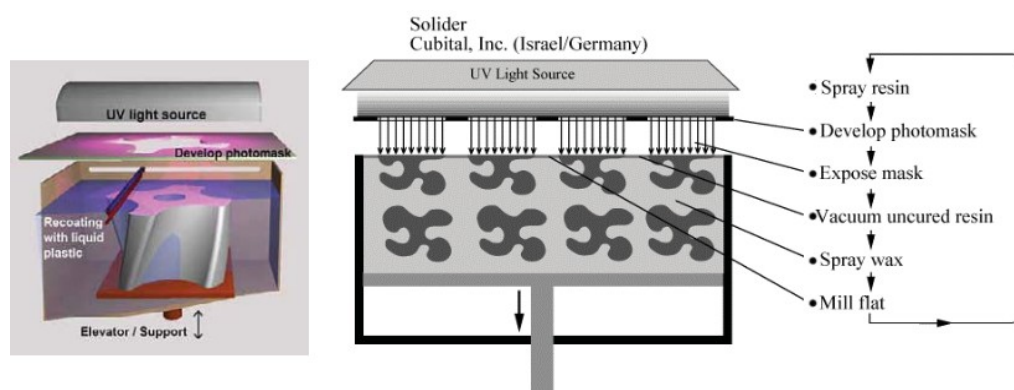
Kuva 14. LOM-menetelmän prosessi /8, 148-149/

Hyvät puolet tässä menetelmässä ovat raaka-aineen hinta ja se, että menetelmä ei vaadi tukirakenteita. Rakennusvaiheessa olevat jännitykset jäävät olemattomiksi, jolloin lopullinen kappale on hyvin tarkka kopio tulostetusta 3D-mallista. 3D-tulostetulle kappaleelle ominaiset portaat jäävät melko pieniksi, sillä yhden kerroksen paksuus on paperin paksuuden verran. Tulostusajat ovat kohtuulliset verrattuna muihin menetelmiin. Huonoina puolina voidaan pitää sitä, että onttojen kappaleiden valmistus ei onnistu tällä menetelmällä ja kappaleen kestävyys z-akselin suunnassa on todella huono. /8, 148-149/

3.3.5 Solid Ground Curing

SGC-menetelmä käyttää lähestulkoon samanlaista lähestymistapaa kappaleen valmistamisessa kuin SLA. Kappaleen valmistuksessa rakennusalustan pinnalle

suihkutetaan photo-sensitiivistä nestettä, jonka jälkeen rakennettavan kappaleen poikkileikkaus heijastetaan nesteen päälle erillisen maskin läpi. Yksi kappaleen kerros kovettuu ja kone imee ylimääräisen nesteen pois ja korvaa tyhjän tilan vahalla, joka tukee rakennettavaa kappaletta. Kerros tasoitetaan ja uusi photo-sensitiivinen kerros lisätään kerroksen päälle (**Kuva 15.**) /8, 150-152/



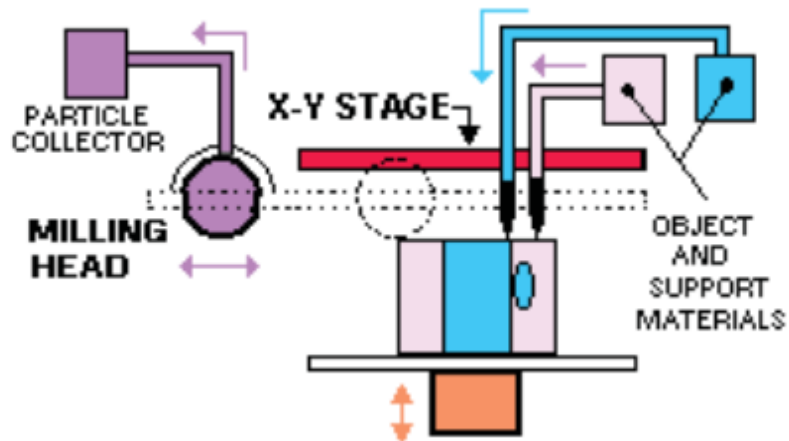
Kuva 15. SGC-menetelmää selittävä kuva /8, 150-152/

Loppukäsittelyyn kuuluu vahan ja kappaleen upottaminen liuottimeen, jossa tukirakenteena käytetty vaha saadaan liuotettua pois. Koska prosessissa tulee tukimateriaalina itsessään vahaa, kappaleita on mahdollista rakentaa päällekkäin, vaikka koko rakennustilavuus täyteen. Menetelmän avulla pystytään myös rakentamaan hyvin monimutkaisia kappaleita ilman, että se lisäisi rakennusaikaa kappaleen teossa. Kappaleiden tarkkuus on suuri ja kappaleille ei tapahdu kutistumista juuri yhtään. Huonoja puolia menetelmässä on käytön monimutkaisuus, jonka takia konetta ei kannata jättää valvomatta, kone vie paljon tilaa ja on todella kallis. /8, 150-152/

3.3.6 Inkjet Printing

Inkjet Printing-menetelmässä kappaletta rakentava tulostuspää liikkuu lähes samalla lailla kuin normaalin tulostimen kirjoituspää. Kappaleen tekeminen muistuttaa paljon FDM-menetelmää, mutta kerrosten välissä pinta tasoitetaan

(**Kuva 16.**) Materiaalia ruiskutetaan pieninä pisteinä, jotka kovettuvat nopean lämmönlaskun seurauksena. /8, 150-152/

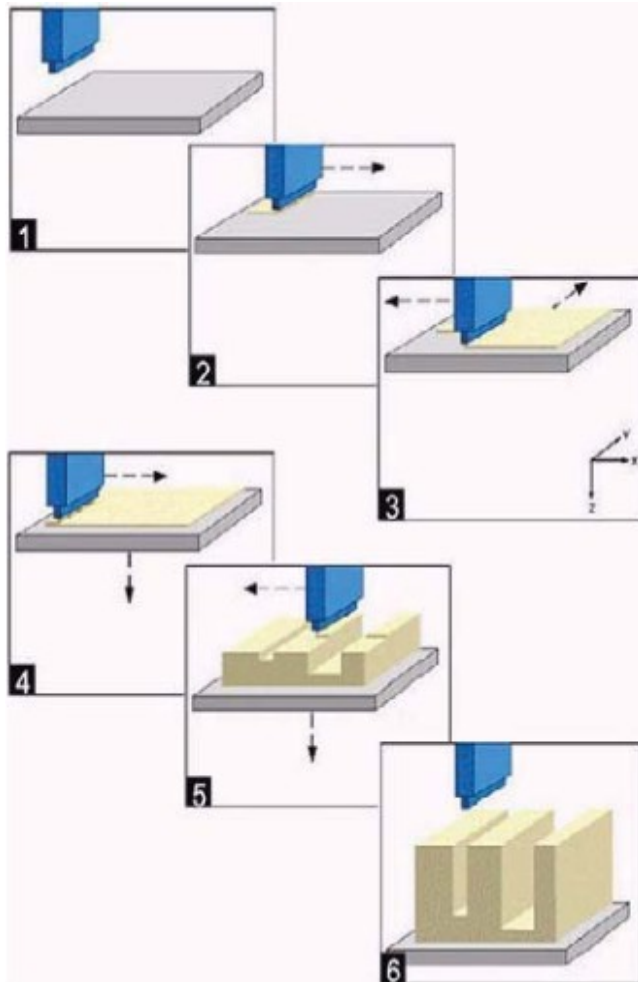


Kuva 16. Inkjet Printing-menetelmän eri osat /8, 152-154/

Lopputuloksena saadaan hyvin tarkka fyysinen kappale 3D-mallista. Materiaalin tuonti on vähäistä ja kerrokset pysyvät ohuina ja tasalaatuisina johtuen kerrosten tasoittamisesta kerrosten välissä. Kestävyys ei ole kovin hyvä ja menetelmä on hidas isoille kappaleille. Materiaalivalikoima on myös todella pieni. /8, 152-154/

3.3.7 Multijet modelling

Multijet modelling-menetelmä on lähes identtinen Inkjet Printingin kanssa, mutta tässä on käytössä enemmän suuttimia ja niiden avulla on mahdollista tehdä kappaleita nopeammin, eikä kerrosten välistä tasoitusta tehdä (**Kuva 17.**). Suuttimia on satoja ja niiden avulla päästään samoihin tarkkuuksiin edellisen esitellyn menetelmän kanssa. /8, 154-156/



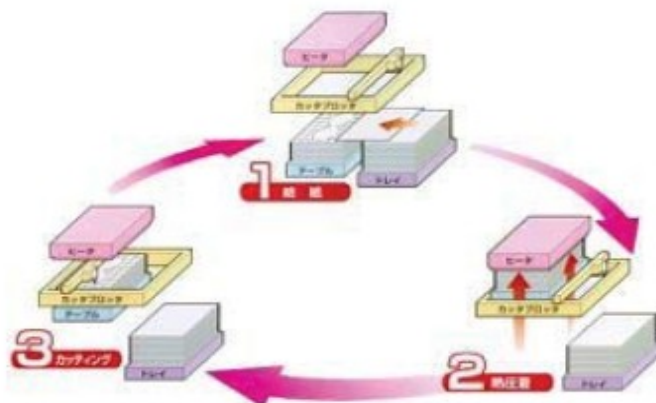
Kuva 17. Multijet modelling-menetelmä /8, 154-156/

Monisuuttimisen 3D-tulostimen avulla on mahdollista tuottaa kappaleita nopeasti ja suurella tarkkuudella. Nykyään myös värien lisääminen on mahdollista. Tämä menetelmä on nopeampi verrattuna Ink jet printing-menetelmään, mutta kappaleiden kestävyys on edelleen heikko. /8, 154-156/

3.3.8 Paper Lamination Technology

PLT-menetelmä on lähestulkoon sama kuin LOM, mutta tässä menetelmässä ei käytetä laseria muodon leikkaamisessa vaan leikkuria. Prosessissa paperi syötetään rakennusalustalle, jonka jälkeen se painetaan kovalla paineella kuumennuslevyä vasten. Tämän jälkeen leikkuri leikkaa paperista yhden

kerroksen oikean muotoiseksi ja päälle tulee uusi kerros paperia (**Kuva 18.**) /8, 157-159/



Kuva 18. PLT – prosessin kulku pikamallinteen valmistuksessa /8, 157-159/

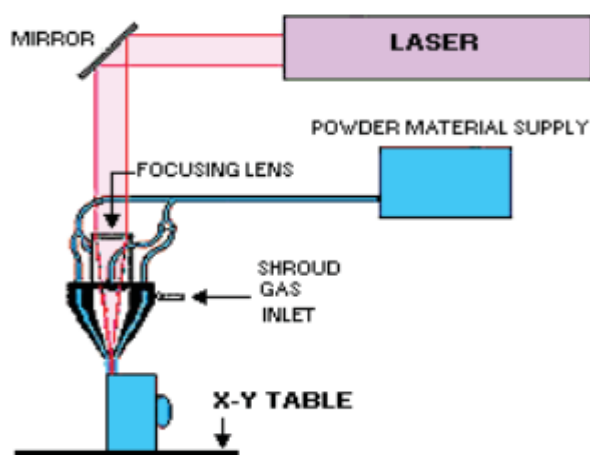
Hyvät puolet PLT:ssä kohdistuu mallin kovuuteen. Kappaleessa ei myöskään ole ylimääräisiä jännityksiä, joten mitat pitävät hyvin paikkansa. Paperina voidaan käyttää normaalia toimistopaperia, joten käyttö on verrattain halpaa. 3D-tulostin ei vie hirvittävästi tilaa, joten se sopii myös toimistokäyttöön. Tämän menetelmän heikkouksia ovat kappaleen herkkyys kosteudelle ja johtuen mallinnustavasta ei tällä menetelmällä pysty tekemään kunnolla onttoja kappaleita. /8, 157-159/

3.3.9 Laser Engineered Net Shaping (LENS)

Laser Engineered Net Shaping on tekniikkaa, joka on vasta kehittymässä kaupalliseen muotoonsa. Tässä tekniikassa käytetään suuritehoista laseria sulattamaan jauhemaisessa muodossa olevaa metallia kerros kerrallaan. /8, 157-159/

LENS-tekniikka muistuttaa hyvin paljon FDM-tekniikkaa, mutta eroaa ratkaisevasti käytetyissä materiaaleissa ja sulatustavassa. Kerroksittain valmistettavassa pikamallinteessa laser sulattaa jauhemaisessa muodossa olevaa

metallia laserin avulla kerros kerrallaan. Jauhetta sulattava laserpiste liikkuu X–Y koordinaateissa liikkuvan pöydän avulla ja kerroksen tultua valmiiksi, nousee jauhetta sulattava tulostuspää yhden kerroksen ylöspäin. Jauheen sulatuksessa tulee käyttää suojakaasua sulan hallitsemiseen ja että käytetty materiaali ei reagoisi ilman hapen kanssa. Jauhemaaisessa muodossa oleva metalli tulee sulatuspisteeseen joko painovoiman avulla tai käyttämällä paineistettua kaasua (Kuva 19.). /8, 157-159/



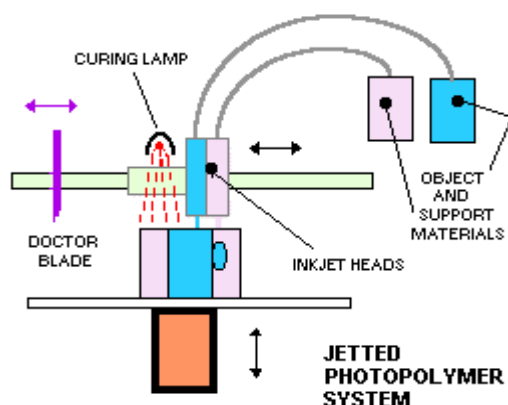
Kuva 19. LENS –tekniikan toimintaperiaate /8, 157-159/

Tämä tekniikka antaa tulostetulle mallille hyvät metallurgiset ominaisuudet kohtuullisella nopeudella. Kappaleet vaativat yleensä jälkikäsittelyä koneistuksen, mikäli kappaleen käyttötarkoitus niin vaatii.

Tekniikan käyttökohteet eivät jää ainoastaan pikamallinteiden valmistamiseen, sillä sitä voidaan käyttää joidenkin kappaleiden päällystämiseen ja kulumisesta johtuviin korjaustoimenpiteisiin. LENS-tekniikan yksi etu on suuri joustavuus materiaaleissa. Kappaleeseen tuotava lämpö jää pieneksi, jolloin lämmöstä johtuvat muutokset jäävät myös hyvin pieniksi. /12/

3.3.10 Photopolymer Phase Change Inkjets

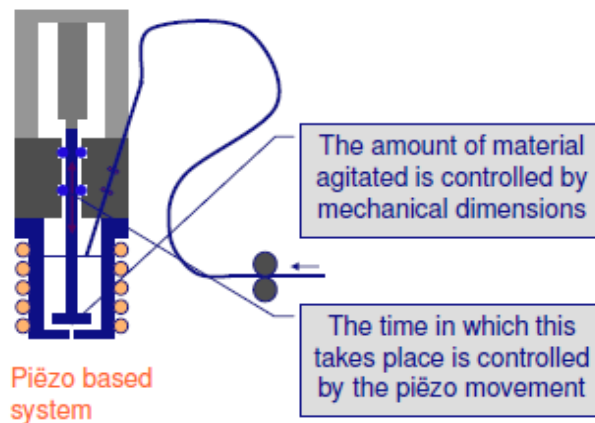
Tämä menetelmä perustuu photo-sensitiivisen nesteen eli photopolymeerin tilan muutokseen UV-valon avulla. Menetelmä on samantapainen Inkjet Printing-menetelmän kanssa, mutta rakennusmateriaalina ja tukirakenteena käytetään UV-valossa kovettuvaa photopolymeeriä. Tulostinpäässä on rakennusainesuuttimen ja tukirakennesuuttimen lisäksi UV-valo, jonka avulla aineiden kovettaminen tapahtuu. Kerrokset tasoitetaan aina ennen kuin uuden kerroksen valmistus aloitetaan, aivan kuten Inkjet Printing-menetelmässäkin (**Kuva 20.**) /8, 160-161/



Kuva 20. PPCI-menetelmän periaate /17/

3.3.11 Liquid Metal Jet Printing (LMJP)

Liquid Metal Jet Printing-menetelmä on ainakin toistaiseksi melko vähän tunnettu 3D-tulostusmenetelmä. Pikamallinnusprosessissa rakennusmateriaalina käytetty metalli lämmitetään induktion avulla sellaiseen muotoon, että siitä pystytään muodostamaan todella pieniä pisaroita. Pisarat saattavat olla jopa 70 μm . Pisarat saadaan aikaan piezo-elementin aikaansaamalla iskuaallolla sulaan metallin, joka synnyttää suuttimen päähän sulan pisaran (**Kuva 21.**) /9/



Kuva 21. Sulaa metallia annostelevan suuttimen rakenne /9/

Menetelmä on melko hidas ja vielä kehittyvä. LMJP-menetelmää ei ole vielä kaupallistettu ja on osittain vielä tutkimuksen alla. Menetelmän avulla pystytään tekemään metallisia kappaleita, jossa lämmöntuonti pysyy melko hyvin kurissa pisaramenetelmän ansiosta ja tulostetussa kappaleessa ei löydy merkittävää määrää huokoisuutta. /9/

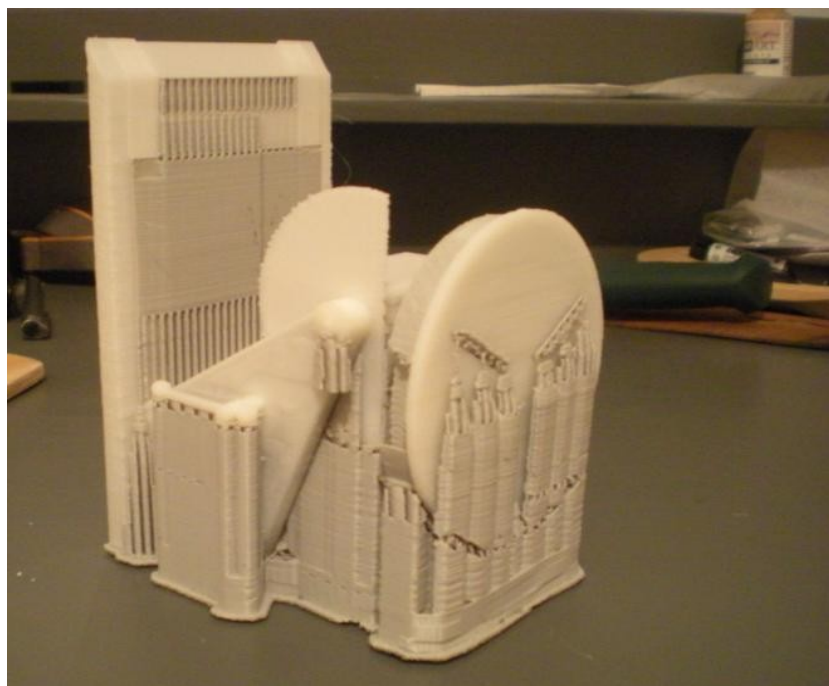
3.4 Jälkikäsittely

Tulostetun 3D-mallin jälkikäsittely voi olla aikaa vievää, riippuen mallin monimutkaisuudesta ja käytetystä pikamallinnusmenetelmästä. Jälkikäsittelyyn kuuluu kaikki ne toimenpiteet, jotka tehdään ennen kuin kappale luovutetaan asiakkaalle. Työstöt ovat suurimmaksi osaksi mekaanista työtä ja ne vievät paljon aikaa, joten jälkityöstöä kannattaa välttää, mikäli siitä ei saada varsinaista hyötyä. /6, 176-177/

Yleisin jälkikäsittelyyn kuuluva toimenpide on tukirakenteiden poistaminen. Tukirakenteet ovat tukeneet rakennusvaiheessa jotain osaa, joka olisi muutoin ollut mahdotonta rakentaa. Tämä näkyy varsin hyvin Dimension 3D-tulostimella tehdyssä kappaleessa, joka tehtiin Technobotniassa. Tukirakenteen poistaminen saattaa kestää parhaimmillaan jopa 15 tuntia, mutta se riippuu täysin tulostettavasta kappaleesta. Joissain tapauksissa esimerkiksi väriä lisätään

tulostetun mallin pintaan. Malliin pystytään myös liimaamaan mahdollisia rikkoontuneita osia ja niin myös tehtiin, kun alla olevan kuvan mallista pyrittiin poistamaan kaikki ylimääräiset tukirakenteet, mitkä näkyvät harmaana aineena (Kuva 22.). Tulostettuihin malleihin on mahdollista lisätä myös kierteitettyjä holkkeja, mikäli mallinteen avulla on tarkoitus testata soveltuvuutta johonkin rakennelmaan. Monesti kappale jää sisältä hieman ontoksi, jolloin on mahdollista täyttää kappaleen sisusta hartsilla ja saada näin kappaleelle hieman enemmän kestävyyttä. Tulostamisen tavasta riippuen voi mallin ulkopinta olla myös hieman karkea, jolloin sitä voidaan hioa sileämmäksi. Mikäli pyritään tekemään kahta sisäkkäin menevää kappaletta, kappaleita joudutaan hiomaan tulostuksen jälkeen.

/5/



Kuva 22. 3D-tulostimella tulostettu kappale

Jälkikäsittelyssä tulee ottaa aina huomioon siihen käytetty aika ja siitä saavutettava hyöty. Jälkikäsittely on tapauskohtaista ja joskus jälkikäsittelyä ei tarvita ollenkaan tai se on hyvin vähäistä. Jälkikäsittely on erityisen vähäistä

käytettäessä tulostustapaa, jossa käytettävänä materiaali on jauhemaisessa muodossa. Tällöin kappaleen tulostamisessa käytetty jauhe samalla tukee rakennettavaa kappaletta. Prohoc Oy:llä oleva 3D-tulostin oli juuri tällainen. Jälkikäsittelyyn kuluva aika on osa pikamallinnusprosessia ja siihen saadaan helposti kulutettua aikaa. Ongelmaksi muodostuukin yleensä tulostettujen kappaleiden hajoaminen jälkikäsittelyprosessissa esimerkiksi tukirakenteiden poiston aikana. 3D-tulostettu kappale joudutaan tällaisissa tapauksissa liimaamaan kasaan, jolloin liiman kuivuminen vie oman aikansa ja saattaa pahimmillaan sotkea kappaletta ja aiheuttaa enemmän töitä. Technobothniassa tulostetun kappaleen jälkikäsittely aiheutti kappaleen rikkoontumisen monessa ohuessa kohdassa, jolloin sitä jouduttiin liimaamaan (**Kuva 23.**) /5/



Kuva 23. Tulostettu kappale ja siitä poistetut tukirakenteet

3.5 Päätelmät 3D-tulostusprosesseista

3D-tulostaminen on hiljalleen yleistymässä halvempien 3D-tulostimien tullessa markkinoille. Internetistä löytyy myös selkeät ohjeet, kuinka jokainen pystyy tekemään oman 3D-tulostimensa. Tulostimien käyttöalueet ovat muuttuneet hieman siitä, mitä ne ovat alun perin olleet. Aluksi 3D-tulostimet olivat lähinnä

insinöörien työkalu, jolla pystyttiin tekemään arvioita esimerkiksi suunnittelun kappaleen valmistuksesta, ergonomiasta ja ulkonäöstä.

Nykyisin 3D-tulostimia voidaan käyttää jopa pienten tarve-esineiden valmistukseen, taiteeseen ja lääketieteen eri sovelluksiin. Käytettävät materiaalit ovat kehittyneet ja on mahdollista tehdä kulutusta kestäviä kappaleita, kuten titaanisia tekoniveleitä. Nykyaikaiset 3D-tulostimet käyttävät tukirakenteissa veteen liukenevia aineita, jotka on helppo poistaa valmiista kappaleesta. 3D-tulostimen hyödyt saadaan helposti esille esimerkiksi prototyyppien teossa. VIA University Collegessa oppilaita rohkaistaan käyttämään 3D-tulostinta ja 3D-skanneria projekteissaan ja saamaan täten tärkeää tietoa esimerkiksi jonkin isomman kokonaisuuden rakentamisesta. /16/

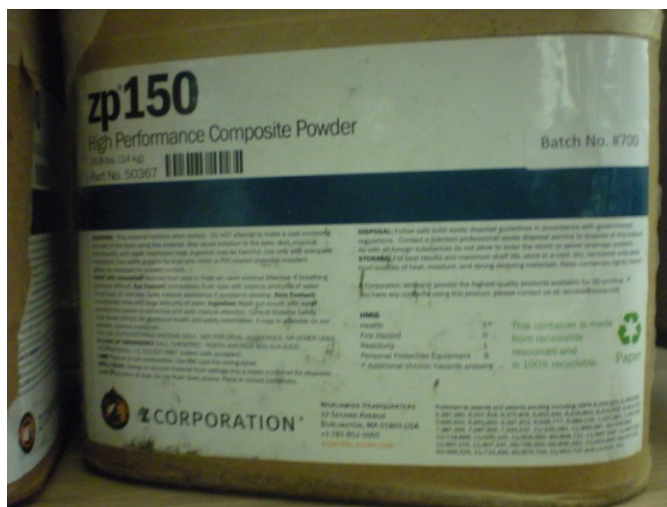
Tulevaisuudessa 3D-tulostuksesta tulee luultavasti paljon helpompaa ja halvempaa. Pyrkimyksenä monella valmistajalla tuntuukin olevan se, että 3D-tulostimista tulisi yhtä normaali laite toimistoon kuin normaalista mustesuihkutulostimesta. 3D-tulostus automatisoi valmistuksen täysin ja on sen takia melko houkutteleva vaihtoehto normaalille sarjapainotteiselle valmistukselle. Mikäli 3D-tulostimien valmistusnopeus saadaan tarpeeksi suureksi, teollisuudessa voitaisiin tulevaisuudessa tehdä osia täysin automatisoidusti ja 3D-malleihin tehdyt muutokset saataisiin välittömästi tuotantolinjalle ilman suurempia ongelmia.

4 ZPRINTER 650

Prohoc Oy:llä on käytössä Zprinter 650 3D-tulostin, jolla tulostetaan fyysisiä kappaleita 3D-malleista. Tulostusprosessi tapahtuu kerroksittain, kuten kaikissa muissakin 3D-tulostimissa nykypäivänä. Printterin käytöstä on pyritty tekemään helppoa, että sen käyttöönotto olisi mahdollisimman vaivatonta. /28/

4.1 Ominaisuudet

Zprinter 650 perustuu osaksi SLS-teknikkaan, mutta laserin sijaan se käyttää värillistä kovetinainetta. Jauheena käytetään korkealaatuista komposiittijauhetta, jota voi myös hioa, porata ja maalata (**Kuva 24.**). Kaikki jauhe, mitä ei käytetä kappaleen valmistamiseen, tukee rakennettavaa kappaletta ja voidaan kierrättää. Eri värejä löytyy 390 000, joten tällä tulostimella pystytään tekemään todella havainnoillistavia kappaleita ilman maalaamista. /1/



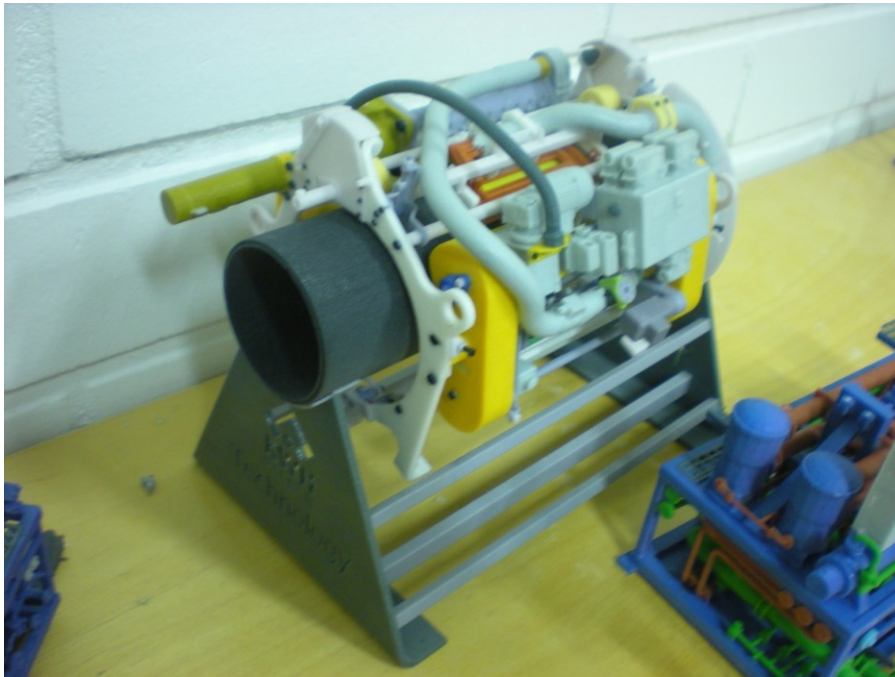
Kuva 24. Tulostamisessa materiaalina käytettävä jauhe

Tulostin on käytössä melko hiljainen ja jauhon leviämistä ympäristöön pyritään rajoittamaan sillä, että tulostimen sisällä on jatkuva alipaine. Kerrosten paksuus on valittavissa 0.09–0.10 mm, joka antaa tehdyille kappaleille hyvän tarkkuuden.

Tehdyt kappaleet käsitellään irtonaisen jauheen poistamisen jälkeen pinnoitteella, joka parantaa mallin pinnan värit ja vahvistaa mallin ulkokuorta. Tämä prosessi on erityisen tärkeä kappaleiden kestävyuden kannalta. /1/

4.2 Käyttö

Prohoc Oy on käyttänyt 3D-tulostintaan mm. pienoismallien tekemiseen ja havainnollistavien 3D-mallien tulostamiseen (**Kuva 25.**). Suunnittelussa 3D-mallien pohjalta tehdyillä pikamallinteilla saadaan tietoa mm. valmistettavuudesta ja samalla nähdään mahdolliset virheet mallissa ennen valmistukseen siirtymistä. Arkkitehtuurisissa tulostuspalveluissa voidaan tulostaa talon pienoismalli ja tarkastella sen sopivuutta ympäristöön, joka voidaan myös tulostaa. Suurimmaksi osaksi 3D-tulostamista käytetään nimenomaan visuaalisena apuvälineenä. /2/



Kuva 25. Pienoismalli Wehocoat-laitteesta.

4.3 Ohjelmisto

3D-tulostimen mukana tulee ohjelmisto, jonka avulla 3D-malliin on mahdollista määritellä värit, ontto sisusta ja kappaleen asettelu tulostusalustalle. Malleja pystytään myös korjaamaan erinäisillä komennoilla, mikäli 3D-mallin pinta on rikki jostain syystä. 3D-mallista voidaan myös poistaa joitain osia ennen kuin sitä aletaan tulostamaan. /11/

4.3.1 Zprint

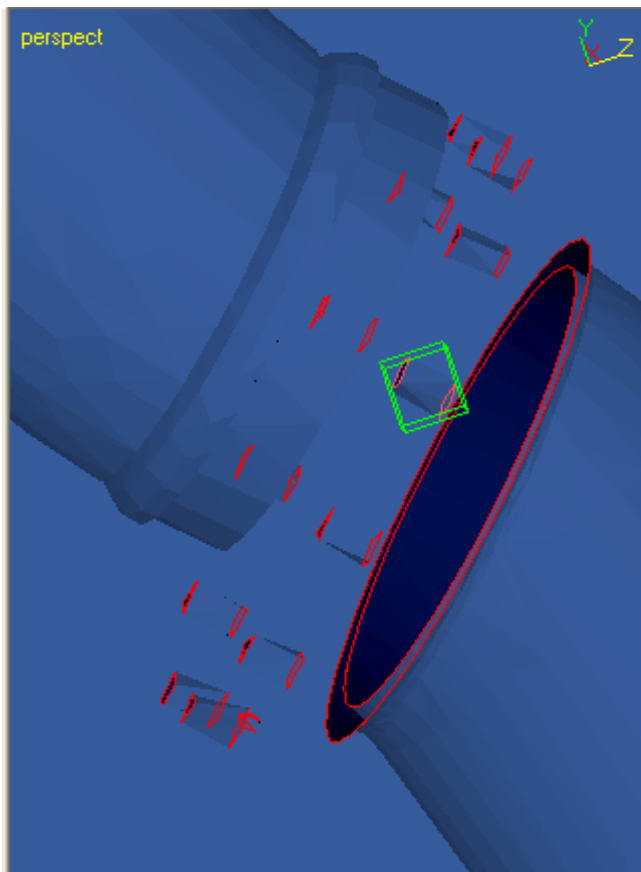
Zprint-ohjelmalla pystytään asettamaan 3D-malli Zprinterin tulostusalustalle. 3D-mallia voidaan siirtää x-, y- ja z-suunnassa sekä skaalata haluttuun kokoon. Ohjelma pystyy lukemaan eri 3D-tiedostoformaatteja, kuten .stl, .ply, .wrl, .3ds ja .zpr -tiedostoformaatteja. Ohjelman avulla pystytään ennakoimaan 3D-tulostamisen kesto ja paljonko käytettävää materiaalia mallin tekemisessä menee. Ominaisuuksiin kuuluu myös värillisten kovettimien määrän seuraaminen. /25/

4.3.2 Zedit Pro

Zedit Pro on Zprinterin kanssa käytettävä ohjelma, minkä avulla pystytään tekemään malliin korjauksia. Ohjelmaa voidaan käyttää väritykseen ja korjaamaan jotain pieniä virheitä 3D-mallissa. Helppokäyttöisyys tulee esille lähinnä automaattisessa korjaustyökalussa, joka korjaa melko hyvin kaikista helpoimpia virheitä mallista ja joskus jopa kaikki virheet, riippuen mallin virheiden monimutkaisuudesta. /26/

Zedit ei välttämättä pysty automaattisesti korjaamaan kaikkia virheitä, mitä 3D-mallissa on. Nämä jäljelle jääneet virheet joudutaan yleensä korjaamaan käsin, joka on melko aikaa vievää puuhaa. Zedit Pro ilmoittaa mahdollisista virheistä, kuten avonaisista pinnoista (**Kuva 26.**). Ohjelman avulla on mahdollista poistaa pintoja ja myös antaa pinnoille paksuus, mikäli sitä ei olla määritelty. Isoja ja monimutkaisia malleja muokatessa saattaa mennä kauan. Korjattavat kohteet ovat yleensä liian ohuita pintoja, rikkiniäisiä pintoja, pintojen normaalien väärä suunta tai pinnat jotka ovat irtonaisia toisistaan. Muokkaukset korjaavat yleensä vain

yhden pinnan kerrallaan, jolloin monta virhettä sisältävät 3D-mallit tuottavat paljon työtä korjauksia tekeväälle henkilölle.



Kuva 26. Eräässä mallissa näkyviä virheitä

Käytetyn Zedit Pron versio oli 1.1. Zedit Pro on tehnyt Deskartes Oy ja siitä on tarjolla jo päivitetympi versio nimellä 3Data Expert. Uudessa versiossa on paranneltu ohjelman kykyä käsitellä suuria määriä yksityiskohtia sisältäviä malleja ja korjauskomentojen käsittelyä on paranneltu. Lisäosina ohjelmaan tarjotaan eri kääntäjiä yleisimmille CAD-malleille, kuten STEP ja IGES-tiedostoille. /27/

5 ONGELMAT TULOSTAMISESSA

Opinnäytetyötä alettiin tehdä pääasiassa sen takia, että saataisiin selviteltyä 3D-tulostuksessa olevat ongelmat joidenkin 3D-mallien suhteen. Prohoc Oy:llä ei ollut käytettävissä omaa 3D-mallinnusohjelmaa, joten muokkaus tuli suorittaa aina Prohoc Oy:n ulkopuolella. Tämä aiheutti yleensä sen, että yhden 3D-mallin saaminen tulostettavaksi saattoi vaatia kahden viikon muokkaustyön malliin.

5.1 Pinnat

Suurin ongelma oli se, että joissain osissa seinämät olivat liian ohuet tai tulostettava solidimalli on ollut pinnaltaan rikkinäinen. Rikkinäinen pinta ei tulostu tai aiheuttaa häiriöitä tulostettavaan kappaleeseen. Häiriöt näkyivät Zprint-ohjelmassa puuttuvina tilavuuksina ja valmiissa kappaleissa värien häiriöinä.

Ongelmia oli erityisesti värien kanssa. Mikäli kappaleen sisälle tehtiin jokin korjaus, virheen korjauskohta peilautui kappaleen ulkopintaan ja siihen tuli valkoisella värillä soikeanmuotoinen piste. Peilautuminen tapahtui yleensä z-suunnassa eli rakennussuunnassa. Virheet kappaleen värissä näkyivät vasta 3D-tulostuksen jälkeen.

5.2 3D-mallinnusohjelmat

Eri CAD-ohjelmissa käytetään eri kääntäjiä ja niiden eri versiot eivät välttämättä toimi aina keskenään. Kaikkia malleja ei oltu myöskään tehty solidimalleina vaan käytössä ollut 3D-mallinnusohjelma oli tarkoitettu lähinnä pintojen mallintamiseen ja 3D-ympäristöjen tekemiseen. Tällöin se ei käsittele 3D-malleja samalla tavalla kuin solidimallintamisessa käytettävät ohjelmat.

5.3 3D-mallien muokkaus

Tulostettavaksi saatuja 3D-malleja pystytään muokkaamaan 3D-tulostimen mukana tulleella Zedit Prolla. Ohjelma on pätevä pieniin korjauksiin ja helppokäyttöinen. Yksittäisten virheiden korjaaminen vie kuitenkin aikaa ja aikaa saataisiin säästettyä melkoisesti, mikäli malli olisi alusta asti hyvin tulostuva.

Erityisen työläitä olivat mallit, joissa oli identtisiä osia päällekkäin. Pahimmassa tapauksessa 3D-mallit olivat kulkeneet ohjelmistosta ohjelmistoon eri tiedostoformaateissa, jolloin tulostettavasta 3D-mallista saattoi puuttua esimerkiksi joitain pintoja.

5.4 Päätelmät

Koska Prohoc Oy:llä ei ole käytössään kaupallista 3D-mallinnusohjelmaa, millä muokkauksia pystyttäisiin tekemään, on tarpeen tehdä ainakin ohjeet 3D-kokoonpanojen yksinkertaistamiseen eri ohjelmilla ja yleisesti. Ohjeiden avulla pystyttäisiin saamaan helpommin tulostettavia kappaleita ja käytännössä se tarkoittaisi sitä, että 3D-mallin muokkaus tulostettavaksi olisi enemmän asiakkaan vastuulla. Mikäli asiakas ei pysty tai halua tehdä muutoksia 3D-malliin, silloin muokkauksia pitää yrittää tehdä Prohoc Oy:llä jonkin ilmaisohjelman avulla. Ilmainen ohjelma tulee kuitenkin olla sellainen, minkä avulla pystytään lukemaan yleisimpiä tiedonsiirtoformaatteja, kuten STEP-, STL-, ja WRL-tiedostoja. Nykyiset ilmaisessa jakelussa olevat 3D-mallinnusohjelmat eivät ole hirvittävän käyttäjäystävällisiä, joten myös siihen on tehtävä ohjeet.

6 OHJEET ERI MALLINTAMISOHJELMILLE

Mallien yksinkertaistamiseen 3D-tulostusta varten on hyvä olla ohjeita, sillä kaikki eivät tiedä käyttämiensä ohjelmien mahdollisuuksista tällaisissa tilanteissa. Ohjeet päätettiin tehdä ensisijaisesti potentiaalisten asiakkaiden käyttämille ohjelmille sekä yleiset ohjeet antamaan jonkinlaista suuntaa sen suhteen mitä tulee ottaa huomioon 3D-tulostettavaa mallia tehdessä/muokatessa. Kaikkiin ohjeisiin tuli paljon kuvia auttamaan asian ymmärtämistä.

6.1 Yleisten ohjeiden tekeminen

Yleiset ohjeet kirjoitettiin niin, että siinä tulisi suurimmaksi osaksi esille niitä ongelmakohtia, joita 3D-mallien pikamallinnuksessa on tullut esille. Yksiä suurimpia helpottavia tekijöitä on 3D-mallin tekeminen solidimalliksi, jossa kappale on sisältä umpinainen. Seuraavaksi tärkein asia oli kappaleen koon muuttaminen ja siitä seuraava seinämien oheneminen. Lopuksi käsiteltiin sallitut tiedostoformaatit (LIITE 1).

6.2 Yksityiskohtaisten ohjeiden tekeminen eri ohjelmille

Eri ohjelmistoille on hyvä tehdä selkeät ohjeet mikäli niissä löytyy jokin helpottava työkalu 3D-mallien yksinkertaistamiseen 3D-tulostusta varten. Kaikki mallinnusohjelmien kehittäjät eivät aivan vielä ole saaneet aikaan työkaluja joiden avulla pystyttäisiin tekemään monimutkaisemmista kappaleista yksinkertaisia sisältä umpinaisia 3D-malleja nimenomaan 3D-tulostusta ajatellen. Monessa ohjelmistossa oli tarkoituksena ollut selvästi yksinkertaistaa kappaleita lähinnä sen takia, että esimerkiksi tietokone pystyisi käsittelemään kappaleita ilman hidasteluja.

6.2.1 Siemens NX 8.0

Tämän 3D-mallinnusohjelman kokoonpanojen yksinkertaistamiseen tarkoitettu työkalu oli tutustumisen jälkeen melko yksinkertainen, mutta tietenkin vaati hieman aikaa totutteluun. Ohjeita tehdessä pyrittiin käyttämään paljon kuvia, joista tulisi helposti ilmi kaikki vaiheet. Ohjeessa on käyty läpi kaikki eri työkalut,

joita ”Simplify Assembly” -työkalussa voidaan käyttää ja lisäksi käsiteltiin myös skaalaustyökalu, jolla on hyvä tarkistaa esimerkiksi seinämien paksuus kaikkien niiden muutosten jälkeen. (LIITE 2)

6.2.2 Autodesk Inventor professional 2012

Autodesk on tehnyt ”shrinkwrap” – työkalun inventoriin, mikä on tehty eri osakokoonpanojen keventämiseen mallinnuskäytössä. Sen käyttäminen pikamallinnuksessa oli nopeaa, mutta siitä puuttui Siemens NX:n Simplify Assembly -työkalun joustavuus. Työkalun suora käyttö ei välttämättä onnistunut heti ja ohjelma ei ymmärtänyt esimerkiksi kappaleen sisä- ja ulkopintoja kunnolla jos siinä oli erimuotoinen kuin pyöreä reikä. (LIITE 3)

6.2.3 ProE Wildfire 5.0

Wildfire 5.0 käyttää kappaleiden yksinkertaistamiseen ”shrinkwrap” -työkalua, jonka alkuperäinen käyttötarkoitus on ollut 3D-mallin tiedoston koon pienentäminen. Vaihtoehtoja 3D-kokoonpanomallin yksinkertaistamiseen oli rajatusti ja ne käsittivät reikien täytön, pintojen huomioimatta jättämisen, luurankomallien huomioimatta jättämisen, mallin laadun valitseminen ja mukaan saattoi valita myös eri aputasoja. Ohjeessa keskityttiin pelkästään eniten yksityiskohtia sisältävän ”Merged solid” – vaihtoehdon käyttöön, sillä sen avulla saadaan vähiten virheitä sisältävä kappale. (LIITE 4)

6.2.4 Solidworks 2011

Solidworksin yksinkertaistamistyökalu oli nimeltään Defeature. Tämä työkalu on alun perin tehty kappaleiden yksinkertaistamiseen, esimerkiksi jos halutaan pitää jotkin osat salassa. Samalla saadaan pienennettyä kappaleen kokoa ja sen käsittely isommissa kokoonpanoissa on helpompaa. (LIITE 5)

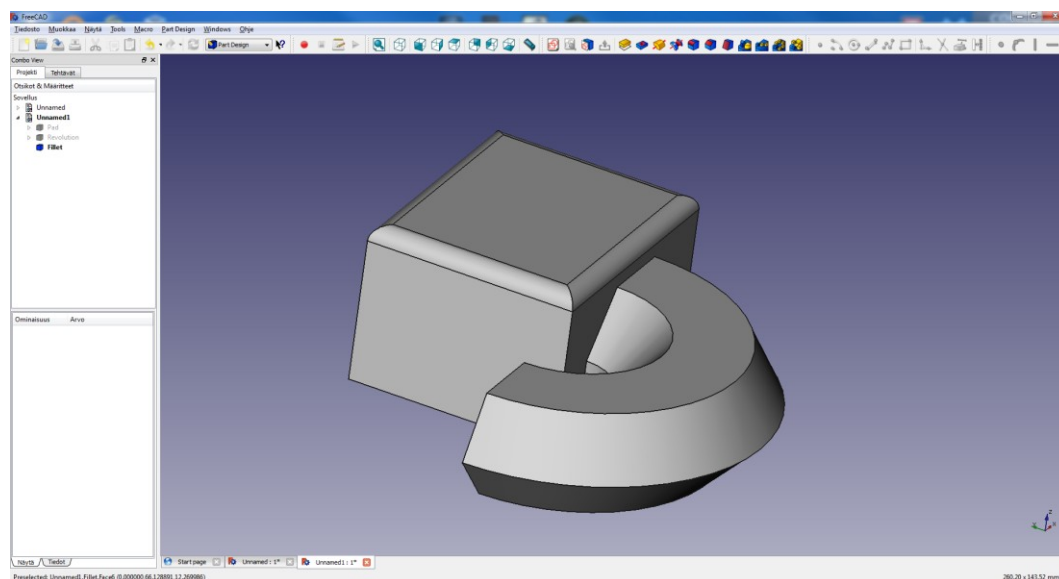
6.3 Ilmaisohjelmat 3D-mallien muokkauksessa

Pelkästään 3D-tulostamista varten tehtävissä muokkauksissa ei ole välttämättä järkevää ostaa täysiveristä CAD-ohjelmaa. Internet on saanut aikaan sen, että tietoja voidaan jakaa todella nopeasti ihmisten kesken ja tämä on luonut myös

hyvän pohjan open source -ohjelmille. Nämä ohjelmat ovat kaikkien käytössä ja niiden lähdekoodi voidaan kopioida ja tehdä sen pohjalta uusi versio ohjelmasta tai vaikkapa aivan täysin uusi ohjelma. Suurin hyöty näissä ohjelmissa on se, että päivityksistä tai mistään muustakaan ei tarvitse maksaa mitään. Ohjelmat kehittyvät koko ajan, mutta suurin kompastuskivi näissä ohjelmissa on yleensä käytettävyys, joissa kaupalliset ohjelmistot ovat edellä melkoisesti.

6.3.1 FreeCad

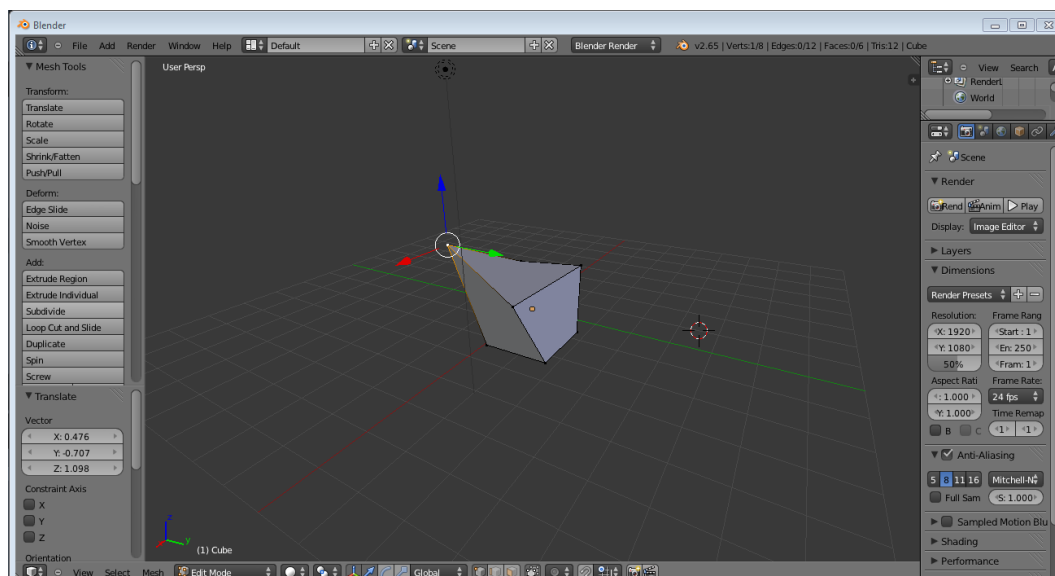
FreeCad on vapaaseen lähdekoodiin perustuva parametrinen 3D-mallinnusohjelma (**Kuva 27.**). FreeCad on samantapainen kuin SolidWorks ja muut kaupalliset 3D-mallinnusohjelmat. Vapaan lähdekoodin ansiosta FreeCad on jatkuvasti kehittyvä ohjelma ja tämä tekee siitä luultavasti tulevaisuudessa varteenotettavan vaihtoehdon 3D-mallinnuksessa. /10/



Kuva 27. 3D-mallin tekemistä FreeCad ohjelman avulla

6.3.2 Blender

Blender on tehty 3D-animointiin ja 3D-mallien tekemiseen. Ohjelmassa on työkalut eri 3D-mallien tekemiseen ja muokkaukseen (**Kuva 28.**). Käyttöliittymä tässä ohjelmassa on täysin erilainen verrattuna erilaisiin CAD-ohjelmiin, kuten Autodesk Inventoriin ja Siemens NX:ään. Ohjelma tukee monenlaisia 3D-formaatteja, kuten 3D Studio, AC3D, COLLADA, FBX Export, DXF, Wavefront OBJ, DEC Object File Format, DirectX, Lightwave, MD2, Motion Capture, Nendo, OpenFlight, PLY, Pro Engineer, Radiosity, Raw Triangle, Softimage, STL, TrueSpace, VideoScape, VRML ja VRML97. Eri tiedostojen muokkauksessa ohjelma on joustava, mutta 3D-mallien tarkka mallintaminen esimerkiksi 3D-tulostamista varten ei ole helppoa. Tämä ohjelma on vapaan lähdekoodin ohjelma ja täysin ilmainen. //

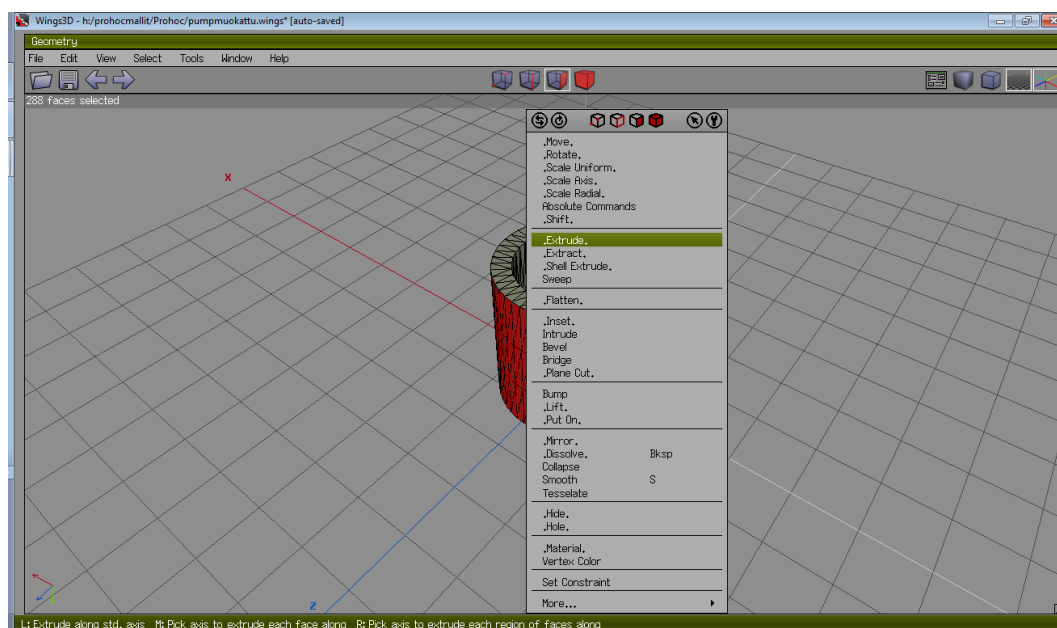


Kuva 28. Blenderin muokkausnäkö

6.3.3 Wings 3D

Wings 3D on helppokäyttöinen ja tehokas mallinnusohjelma. Ohjelma on koodattu Erlangin avulla, joka on Ericssonin jakama avoimen lähdekoodin

ohjelmointikieli. 3D-mallinnusta varten Wings 3D antaa kohtuullisen hyvät työkalut, mutta ei onnistu kuitenkaan tekemään mitään tarkkoja muutoksia esimerkiksi STL-malleihin. Muutoksia pystyttiin tekemään pursottamalla mallin kolmioita ja siirtämällä mallin viivoja. Muutosten tekeminen vaati aikaa, mutta käyttö oli kohtuullisen yksinkertaista. Ohjelma onkin käytössä enimmäkseen animaatioissa ja renderöinnissä. Wings 3D:n uusin versionumero on 1.4.1 ja se on julkaistu 7.2.2011 (**Kuva 29.**) /23/

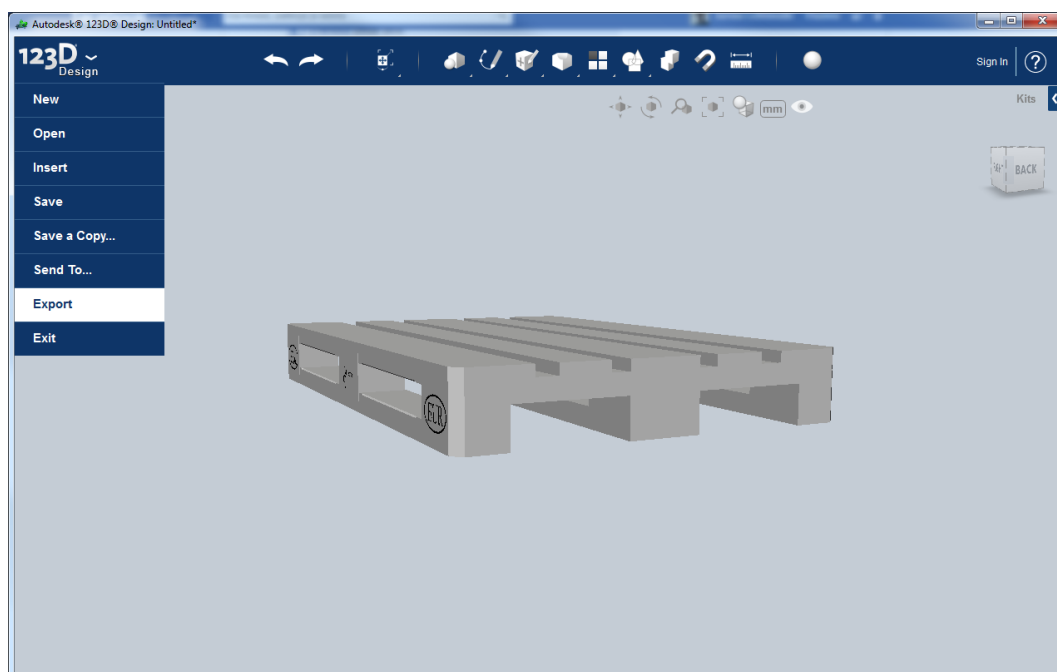


Kuva 29. Wings 3D -ohjelman muokkausnäkö

6.3.4 123D Design

123D Design on Autodeskin tuottama ilmainen ohjelma, jonka vahvuutena on helppokäyttöisyys (**Kuva 30.**). 123D Design on tehty 3D-tulostamista varten ja se näkyy ohjelman tukemissa tiedostomuodoissa. Ohjelmassa on pyritty helppokäyttöisyyteen monella eri tavalla ja siitä on pyritty tekemään mahdollisimman helposti lähestyttävä, vaikka ei omaisikaan ennestään kokemusta 3D-mallintamisesta. /3/

Ohjelma lukee nykyään STEP-, DWG- ja SAT-tiedostoja, mikä tekee tästä hyvän ohjelman pienten muokkauksen tekemiseen. Rajoitteet tässä ohjelmassa koskevat tallennettavaa tiedostomuotoa, sillä ohjelmalla pystytään tallentamaan ainoastaan STL-muotoon. STL-muodossa ei voida käyttää tekstuureja, jolloin pinnan väritystä ei voida muuttaa, ja tällöin moniväriset osat eivät säilytä värejään muokkauksen aikana. Myös muista mallinnusohjelmista tutut aputasot puuttuvat tästä ohjelmasta ja osien kokoonpanojen tekeminen on rajoitettua.



Kuva 30. 123D Design-mallinnusohjelma

6.4 Tulosten tarkastelu

Kaikilla edellä mainituilla ilmaisohjelmilla saadaan aikaiseksi joitain muutoksia 3D-malleihin, mutta niiden käyttö on yleensä vaikeaa ja vaatii hieman enemmän opettelua, mikäli on tottunut käyttämään perinteisiä CAD-ohjelmia. Etu kaupallisissa ohjelmissa verraten ilmaisohjelmiin on ohjelmien käytettävyys ja eri tiedostomuotojen tukeminen. Ilmaisohjelmien etuihin kuului niiden jatkuva

kehittyminen. Suurin osa edellä mainituista ohjelmista oli vapaan lähdekoodin ohjelmia eli niiden kehittyminen ei välttämättä jää siihen, että ohjelman alkuperäinen kehittäjä jättää ohjelman kehittämisen.

Kaupalliset ohjelmat ovat helppokäyttöisempiä, varmatoimisempia ja kaikista tarkastelluista kaupallisista ohjelmistoista löytyi 3D-kokoonpanomallin yksinkertaistamiseen sopiva työkalu. Lähes kaikki kaupalliset ohjelmat pystyivät kirjoittamaan ja lukemaan STEP-tiedostoa, jolloin nämä ohjelmat pystyvät lukemaan toisilla ohjelmilla tehtyjä malleja. Huonot puolet kaupallisissa ohjelmissa liittyy hintaan. Uudet versiot maksavat vielä lisää, mikäli ohjelmiston päivitys on tarpeen uusien työkalujen myötä. Parhaimmaksi kaupallisista ohjelmista selviytyi Siemens NX, sillä siinä oli muita ohjelmia enemmän hyviä työkaluja kappaleen yksinkertaistamiseksi.

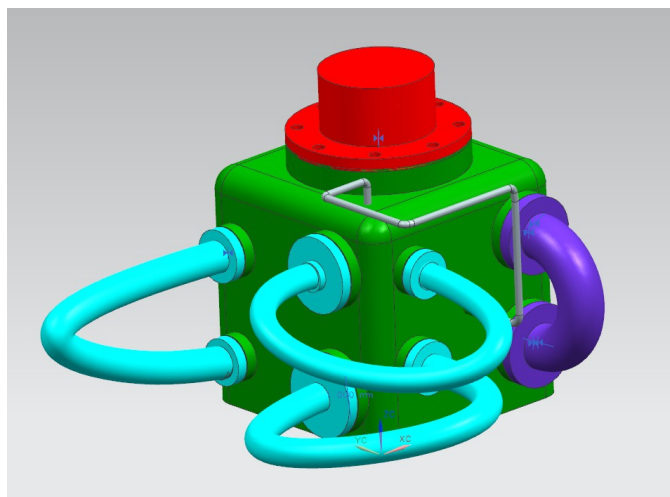
Ilmaisojelmat eivät maksa mitään, jolloin ne olisivat ihanteellisia pienissä töissä. Nykyiset ilmaisojelmat eivät kuitenkaan ole kovinkaan helppoja käyttää ja niitä ei oltu selvästikään tehty valmiiden mallien muokkaukseen 3D-tulostamista varten. Lähes kaikki ohjelmat tukivat STL-tiedostoformaattia, joka on yleisin 3D-tulostuksessa käytettävä tiedostomuoto. Ilmaisojelmista ainoastaan FreeCAD ja 123D Design tukivat STEP-tiedostoformaattia, joka on lähes kaikkien markkinoilla olevien 3D-mallinnusohjelmien tukema tiedostoformaatti ja sen takia tärkeä mallien muokkausta ajatellen. Näistä helppokäyttöisempi ja ennen kaikkea nopeampi käyttää oli 123D Design. Tämä ohjelma oli alun perin suunniteltu helppokäyttöiseksi ensikertalaiselle, joten se on tehty myös joustavaksi.

7 PILOTTI

Ohjeiden perusteella tehtiin pilottikokeilu, jonka avulla saatiin tuloksia ohjeiden käyttökelpoisuudesta. Tarkasteltavia asioita olivat mallien tulostettavaksi muokkaamisen nopeus Zedit Pro-ohjelmalla, tulostamisen nopeus ja raaka-aineiden kulutus. Kokeilussa vertailtiin kahta ulkopuolisesti samanlaista mallia, joista toinen oli yksinkertaistettu tehtyjen ohjeiden mukaan.

7.1 Mallinnus

Pilottimallin muokkauksessa käytettiin pääasiassa kolmea eri ohjelmaa. 3D-mallia aloitettiin tekemään Autodesk Inventor 2012 Professionalilla ja sen tekemistä jatkettiin Siemens NX 8.0:lla. 3D-malli (**Kuva 31.**) muutettiin STEP-tiedostoformaattiin ja muokattiin uudestaan Inventorilla. Inventorista malli siirrettiin taas Siemens NX 8.0:aan, jossa mallista tehtiin 2 eri 3D-mallia VRML-muodossa. Tiedostomuodoksi valittiin VRML, koska se tukee värejä.



Kuva 31. Tulostettava 3D-malli

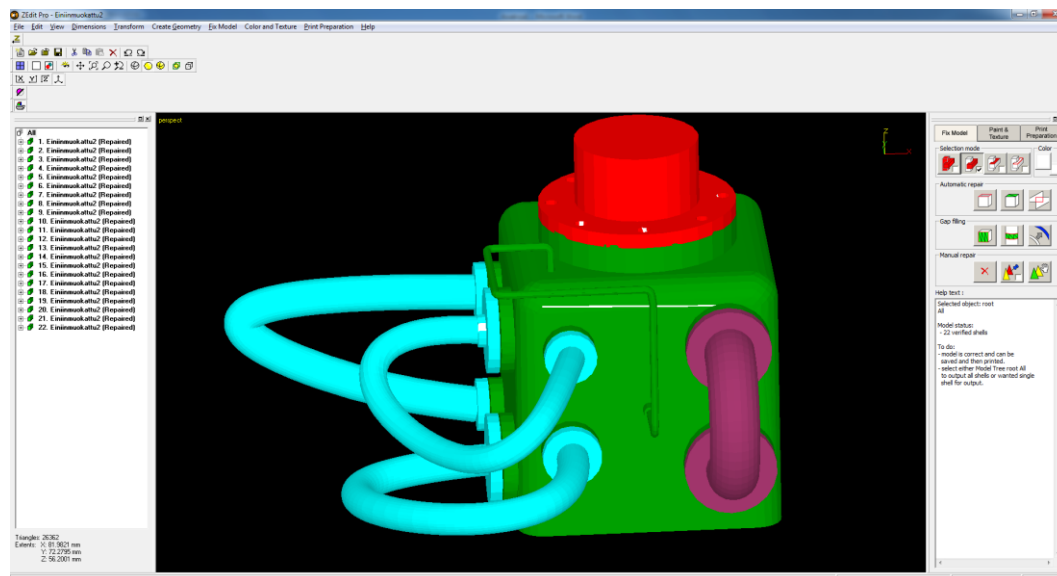
VRML-muodossa olevat mallit olivat samasta 3D-kokoonpanomallista, mutta eri tavalla muokattu ennen 3D-tulostusta. Toinen näistä malleista oli ns. alkuperäinen

3D-malli, johon oli laitettu muutama osa kahteen kertaan ja kuvaamaan esimerkiksi erilaisten revisioiden jäämistä tulostettavaan kappaleeseen. Lisäksi siihen laitettiin muutama ylimääräinen osa ja osa osista jätettiin irralleen rungosta, jolloin tulostin olisi tulostanut osat erillisinä kappaleina. Toinen tulostettava 3D-malli tehtiin alkuperäisen mallin pohjalta käyttäen Siemens NX 8.0 -mallinnusohjelman ”Simplify assembly” -työkalua, jolloin siitä saatiin tehtyä umpinainen solidimalli.

7.2 Mallitiedoston muuntaminen tulostettavaan muotoon

Tulostamista ennen 3D-mallia tulee yleensä korjata tai muokata sitä käyttämään vähemmän tulostuksessa käytettävää tulostusmateriaalia. Korjaukset tehdään Zedit Pro-ohjelmalla, jossa on mahdollista käyttää automaattista korjaustyökalua. Työkalun avulla pystytään korjaamaan yleisimmät ongelmat, kuten väärinpäin olevat pienet pintakolmiot ja rikkoutuneet pinnat.

Muokkaus ei vie paljoa aikaa, mikäli virheitä ei ole liikaa ja ne eivät ole mitenkään mahdottomia korjata. Zedit Pro tarvitsee virheen ympärille tarpeeksi ns. ehjää mallia, että sen korjaaminen on mahdollista. Värillisten mallien pintojen korjaaminen vie aikaa, koska korjattavan pinnan väri tulee valita aina ennen kuin korjaus tehdään. Tämä aiheuttaa ongelmia automaattisen korjauksen yhteydessä, sillä siinä ei ole mahdollista valita kaikkia mahdollisia korjausvärejä ennen korjauksen tapahtumista, jolloin kappale joudutaan värittämään käsityönä (**Kuva 32.**).



Kuva 32. Korjatut pinnat näkyvät valkoisella värillä

Paremmassa 3D-mallissa ei ollut korjattavia virheitä, jolloin 3D-mallin viimeistely tulostusta varten oli mahdollista aloittaa heti. Huonommassa mallissakin oli vain yksi virhe, joka saatiin korjattua automaattisella korjaustyökalulla. Viimeistelyssä voidaan tehdä tulostettavasta 3D-mallista ontto sisältä, jolloin saadaan säästettyä tulostusmateriaalia. Tässä tapauksessa onttoon malliin tulee tehdä reikä, josta kappaleen sisälle joutunut tulostusmateriaali saadaan poistettua.

7.3 Tulosten tarkastelu

Alkuperäistä eli huonompaa mallia piti korjata ennen tulostusta, mutta korjaukset tehtiin automaattisesti eikä se vienyt paljoa aikaa. 3D-malliin jääneet irtonaiset osat saatiin kiinnitettyä Zedit Pro -ohjelmassa melko vaivattomasti käyttämällä pursotustyökalua, mutta tämä edellytti tietenkin näiden virheiden tietämistä etukäteen. Ylimääräisten osien poistaminen ei ollut pakollista, mutta säästi mahdollisilta väri virheiltä, kun osat olivat päällekkäin ja erivärisiä. Huonoin ominaisuus tässä 3D-mallissa oli se, että sitä ei voinut tehdä itse ontoksi eikä tällöin voinut itse määrittää esimerkiksi seinämän paksuutta. Kappaleen sisällä oli jo alkuperäisessä mallissa ontto tila, jonka muokkaaminen pois olisi vienyt

enemmän aikaa, mutta mallin seinämävahvuus rungossa oli 4 mm, joten sen voidaan olettaa kestävän hyvin. Monessa tulostettavassa mallissa oli ollut ongelmana ohuet seinämät ja umpinainen kappale olisi tässä tapauksessa paljon parempi. Tämän kappaleen hyviä puolia oli erillisten osien muokattavuus, esimerkiksi ohuiden putkien muokkaaminen onnistuu kokoonpanomalleissa Zedit Pron avulla.

Tulostamista varten muokattu kappale oli paljon helpompi saada tulostettavaksi. Kaikki muutostyöt oli tehty ennen 3D-mallin viemistä tulostettavaan tiedostomuotoon ja se saatiin viimeisteltyä tulostettavaan kuntoon selvästi muokkaamatonta nopeammin. Mitään korjauksia ei ollut tarpeen tehdä ja malli saatiin muokattua sisältä ontoksi ja seinämävahvuudeksi pystyi valitsemaan halutun paksuuden. Ylimääräisen materiaalin poistamiselle pystyi tekemään reiän ja näin saadaan kaikki ylimääräinen tulostusmateriaali talteen myöhempää käyttöä varten.

Muokkausten jälkeen molemmat mallit olisivat tulostuneet ja vieläpä samassa ajassa. Etukäteen muokattu malli käytti vähemmän kovetinta ja tulostusmateriaalia verrattuna muokkaamattomaan malliin. Erona näissä kahdessa on tietenkin se, että etukäteen muokattuun malliin pystytään helposti määrittelemään ohuempi seinämävahvuus, kuten 2 mm sen sijaan että käytettäisiin 3 mm paksuutta seinissä.

Tässä tapauksessa käytettiin suhteellisen pieniä 3D-malleja eikä niissä ollut suurta määrää yksityiskohtia, joista olisi voinut tulla enemmän ongelmia tulostettavaan kappaleeseen. Paras tulos saadaan, jos muokkaukset 3D-malliin tehdään ennen tiedostoformaatin muuttamista 3D-tulostukseen. Mallien muokkaaminen ja korjaaminen Zedit Prossa on tehtävä suurimmaksi osaksi manuaalisesti, mikäli automaattinen korjaus ei pysty korjaamaan virheitä. Jos virheitä olisi ollut korjattavana kymmeniä, kuten irtonaisia osia, joita pitää pursottaa, mallin korjaamiseen menisi selvästi kauemman aikaa. (LIITE 6)

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

8.1 3D-tulostusprosessit

3D-tulostaminen ei ole aina sitä, että tulostimelle annetaan 3D-malli ja se tulostaa mallin mukaisen kappaleen. Rajoitukset koskevat lähinnä tulostusaluetta, tulostetun kappaleen kestävyyttä ja 3D-mallin virheitä. Tulevaisuudessa 3D-tulostusta pyritään parantamaan käytettävyyden, tulostusmateriaalin kestävyuden ja hinnan suhteen. Eri tulostusmuotoja on jo nyt melko paljon. Näistä halvimpana FDM-tekniikkaan perustuvat tulostimet tulevat luultavasti yleistymään eri suunnittelutoimistoissa ja siitä tulee toivonmukaan normaali osa tuotekehitystä ja suunnittelua. 3D-tulostus on yleistymässä koko ajan ja hinnat tulevat laskemaan tulevaisuudessa. Tulostettujen kappaleiden käyttö on vielä hieman rajoittunutta niiden kestävyuden takia, mutta materiaalien kehittyessä niitä voidaan käyttää paljon rasittavammissa kohteissa ja jopa varaosina eri kohteissa.

8.2 3D-mallien virheet ja niiden korjaus

3D-mallien ongelmat liittyivät tulostettavien 3D-mallien virheisiin ja niiden muokkaamisen vaivalloisuuteen. Mallien muokkaaminen tulostettavammaksi edellyttää hyvää 3D-mallinnusohjelmaa, mikäli se halutaan tehdä nopeasti. Asiakkaiden tuntemus 3D-tulostuksesta ei ole välttämättä kovin hyvä, joten pienellä ohjeistuksella voidaan jopa välttää yleisimpien virheiden syntyminen mallissa. Eniten aikaa vievät virheet olivat selvästi pintavirheitä, eli 3D-mallin pinta oli rikkiäinen, mikä muutti sen solidimallista pintamalliksi. Ongelmien synnyttäjäksi voidaan hyvällä syyllä epäillä sitä, että tulostettavia 3D-malleja oli siirretty ohjelmasta toiseen ja tiedostoformaattia oli vaihdeltu tämän johdosta. Joistain malleista puuttui paljon pintoja ja se vaikeutti kaikkia korjaustoimenpiteitä. Eräältä asiakkaalta tuli jatkuvasti ongelmallisia malleja, joiden tekemiseen käytettyä 3D-mallinnusohjelmaa ei oltu tehty solidimallinnukseen, joten mallit olivat tavalla tai toisella rikkiäisiä. Ainoa ratkaisu ongelmaan olisikin vaihtaa mallinnusohjelma parempaan tai pyytää parempaa mallia 3D-mallin toimitusketjun alusta ennen kuin 3D-mallista katoaa yhtään dataa.

8.3 Ohjeet 3D-mallien muokkaukseen

3D-mallien muokkausta varten tehtiin ohjeet eri 3D-mallinnusohjelmille. Ohjeet koskivat kappaleiden yksinkertaistamista ja sitä, miten 3D-mallien sisällä oleva onttotila saataisiin täytettyä. Ontton tilan täyttämällä saadaan 3D-tulostusta ajatellen mallista paremmin tulostuva, varsinkin pienoismalleja tehdessä. Pienoismallien seinämäpaksuuden ongelmat ovat yleisiä, joten umpinaisella mallilla saadaan nämä ongelmat poistettua ja mikäli halutaan säästää tulostusmateriaalissa, tulostusohjelmistolla on mahdollista tehdä kappaleesta onttotila ja valita kappaleelle sopiva seinämäpaksuus. Yleisohjeen tekemisessä keskityttiin niihin asioihin, mitkä oli koettu ongelmalliseksi eri 3D-malleja tulostaessa. Ohjeilla on tarkoitus avustaa asiakasta, mikäli tulostettava 3D-malli selvästi vaatii yksinkertaistamista.

8.4 Ilmaisohjelma muokkaukseen

Ilmaisohjelmien käyttö pienissä muokkauksissa ei ole mikään mahdottomuus, sillä Prohoc Oy:n ei ole järkevää ostaa kaupallista 3D-mallinnusohjelmaa pelkästään 3D-tulostusta varten tehtäviin muokkauksiin, sillä ne ovat kalliita pelkästään tätä käyttötarkoitusta varten. Ilmaisohjelmat eivät maksa mitään ja jotkin niistä toimivat hyvin pienissä muokkauksissa. Suurin osa ilmaisohjelmista ei soveltunut valmiiden kappaleiden muokkaukseen tai oli suunniteltu enemmän pintamallinnukseen kuin solidimallinnukseen. STEP-tiedostojen tukeminen oli vähäistä, jolloin ongelmaksi muodostuu asiakkaiden lähettämien 3D-mallien lukeminen.

Ilmaisohjelmista STEP-tiedostoja tuki ainoastaan Autodeskin ilmainen 123D Design ja vapaan lähdekoodin ohjelma FreeCAD. Näistä kahdesta mallien muokkaukseen sopii paremmin 123D Design, jonka käyttö muokkauksessa oli helppoa. Ilmaisohjelmat ovat ainakin toistaiseksi rajoitettuja ja esimerkiksi 123D Design ei pystynyt tallentamaan 3D-tulostettavista tiedostoformaateista muuta kuin STL-tiedostoformaattissa, joka ei tue värejä. Värejä tukevien tiedostoformaattien puuttuminen voidaan korvata Zedit Prolla, jonka avulla kappaleen pintaan voidaan laittaa värejä ja tekstuureja.

8.5 Ohjeiden testaus

Opinnäytetyössä tehtiin kokeilu, jolla pyrittiin testaamaan mallinnukseen tehtyjen ohjeiden käyttöä ja sitä, miten paljon siitä on apua tulostusta ajatellen. Lopputulos ei ollut kovin yllättävä, sillä muokkausten tekeminen ohjeiden avulla ennen varsinaista tulostamista vähensi kovettimen ja tulostusmateriaalin käyttöä tässä testimallissa. Etuja muokatussa kappaleessa oli seinämien paksuuden määrittäminen, tulostuksen valmistelun helppous ja paikoitellen kestävämpi kappale. Suurin hyöty saadaan siitä, että suurin osa malleista on valmiiksi muokattu, ennen kuin mallia edes yritetään tulostaa. Hyöty saadaan tässä tapauksessa pitkällä aikavälillä säästyneessä ajassa ja joissain tapauksissa materiaalisäästöissä. Huomioitavaa toki on, että testauksessa käytetty kappale ei ollut hirveän monimutkainen eikä sisältänyt hirveästi virheitä. Monimutkaisemmissa kappaleissa ongelmat eivät ainakaan vähene. Kokeilun aikana huomattiin, että mallin ollessa pelkästään yksi osa, sen putkien muokkaus Zedit Pro-ohjelmalla oli mahdotonta.

8.6 Loppusanat

Aihe oli hyvin mielenkiintoinen, sillä 3D-tulostus on vielä kohtuullisen uusi tekniikka teollisuudessa ja varsinkin täällä Suomessa se on vasta yleistymässä. Tämän insinööriyön tekeminen opetti 3D-tulostamisesta paljon lisää ja työn tekemiseen oli helppo uppoutua jo ennestään harrastuksen kautta saatujen tietojen ansiosta. Aikataulussa pysyminen oli melko helppoa ja osa aikataulutetuista tehtävistä vei vähemmän aikaa mitä oli varattu. Säästetty aika kului ilmaisohjelmien etsimiseen ja testaukseen.

LÄHTEET

- /1/ 3D Systems Zprinter Brochure. 3DSYSTEMS kotisivu. Tuote-esite. Viitattu 10.3.2013.
<http://printin3D.com/sites/printin3D.com/files/downloads/3D-Systems-ZPrinter-Brochure.pdf>
- /2/ 3D-tulostuspalvelut. Prohoc Oy:n kotisivut. Esite. Viitattu 10.3.2013
<http://www.prohoc.fi/fi/tekniset-palvelut/3D-tulostus-palvelut>
- /3/ Autodesk 123D. Autodesk kotisivut. 123D tuoteperheen esittely. Viitattu 26.3.2013
<http://usa.autodesk.com/autodesk-123d/>
- /4/ Autodesk Inventor®: Best Practices for Working with Large Assemblies (Digital Prototypes). Dan Miles Idea Factory Blog. Kurssimateriaali. Viitattu 9.3.2013
http://danmiles.blogs.com/files/ml111-1p_dan-miles-1.pdf
- /5/ Billing, M. 2013. Lehtori. Vaasan ammattikorkeakoulu. Haastattelu 11.3.2013.
- /6/ Björkstrand, R., Borgman, J., Kaikonen, H., Konkola, M., Simoli, T., Sukuvaara, A. & Tuomi, J. 1998. Tuotteen 3D-CAD –suunnittelu. Porvoo. WSOY
- /7/ Blender Features. Blender.org kotisivu. Ohjelman esittely. Viitattu 24.3.2013
<http://www.blender.org/features-gallery/features/>
- /8/ Boboulos, M.A. 2010. CAD-CAM & Rapid prototyping Application Evaluation. ISBN 978-87-7681-676-6. Ventus Publishing ApS. Bookboon.
- /9/ Direct Metal Jetting. IPROMS 2009. Tutkimus. Viitattu 25.2.2013
<http://conference.iproms.org/conference/download/4153/50>
- /10/ FreeCad. FreeCad Kotisivu. Esittely. Viitattu 24.3.2013
http://sourceforge.net/apps/mediawiki/free-cad/index.php?title=Main_Page
- /11/ Heikkilä, I., Kauppi, A., Klaus, T. & Mäkelä, I. 3D tulostuksen mallinnus- ja aineisto-ohjeet. 2012. Viestinnän keskusliiton kotisivut. Viitattu 10.3.2013.
<http://www.vkl.fi/files/2195/3DTulostuksenAineisto.pdf>
- /12/ Laser Engineered Net Shaping Advances Additive Manufacturing and Repair. RPM & Associates, Inc. kotisivu. Artikkel. Viitattu 25.2.2013
<http://www.rpmandassociates.com/LaserDepositionTechnologyAdvancesAdditiveManufacturingAndRepair.aspx>
- /13/ McDonald, J. A., Ryall, C. J. & Wimpenny, D. I. 2001. Rapid Prototyping Casebook. ISBN 1 86058 076 9. Professional Engineering Publishing Limited. The Cromwell Press.

- /14/ Objet 1000. Objet kotisivu. Tuote-esite. Viitattu 17.2.2013
http://objet.com/sites/default/files/pdfs/Objet1000_brochure_A4.pdf
- /15/ Oilstick 320. Prohoc Oy:n kotisivut. Tuote-esite. Viitattu 26.1.2013
http://www.prohoc.fi/images/Prohoc_oilstick320_Product_Specification_ver280812.pdf
- /16/ Petersen, K. 2013. Luennoitsija. VIA University College Denmark. Haastattelu. 15.3.2013
- /17/ Photo polymer phase change inkjets. Additive 3D kotisivu. Artikkel. Viitattu 25.2.2013
<http://www.additive3D.com/bpm.htm>
- /18/ POW unit. Prohoc Oy:n kotisivut. Tuote-esite. Viitattu 26.1.2013
http://www.prohoc.fi/images/Prohoc_POWunit.pdf
- /19/ STEP application handbook. US PRO kotisivut. Standardi käsikirja. Viitattu 9.2.2013
http://www.uspro.org/documents/STEP_application_hdbk_63006_BF.pdf
- /20/ The StL Format. Fabbers.com kotisivut. Artikkel. Viitattu 9.2.2013
<http://www.ennex.com/~fabbers/StL.asp>
- /21/ The StL Format. Fabbers.com kotisivut. Kuva StL -kolmiosta. Viitattu 16.2.2013
<http://www.fabbers.com/image/data/StL-facet.gif>
- /22/ Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. Painos. Gummerus. 26-27. Tammertekniikka.
- /23/ Wings 3D. Wings 3D kotisivut. Ohjelman esittely. Viitattu 23.3.2013
<http://www.wings3d.com/>
- /24/ Zprinter 650. 3DSYSTEMS kotisivu. Tuote-esittely. Viitattu 17.2.2013
<http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/ZPrinter-650/spage.aspx>
- /25/ Zprint. 3DSYSTEMS kotisivu. Esittely. Viitattu 11.3.2013
<http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Software/ZPrint/spage.aspx>
- /26/ Zedit Pro Data sheet. Zcorp kotisivut. Esite. Viitattu 11.3.2013
http://www.zcorp.com/documents/214_ZEdit%20Pro%20Data%20Sheet.pdf
- /27/ Zedit Pro. Deskartes kotisivut. Esittely. Viitattu 14.3.2013
http://www.deskartes.com/products/zedit_pro.php
- /28/ Yrityksen esittely. Prohoc Oy:n kotisivut. Viitattu 26.1.2013
<http://www.prohoc.fi/fi/>

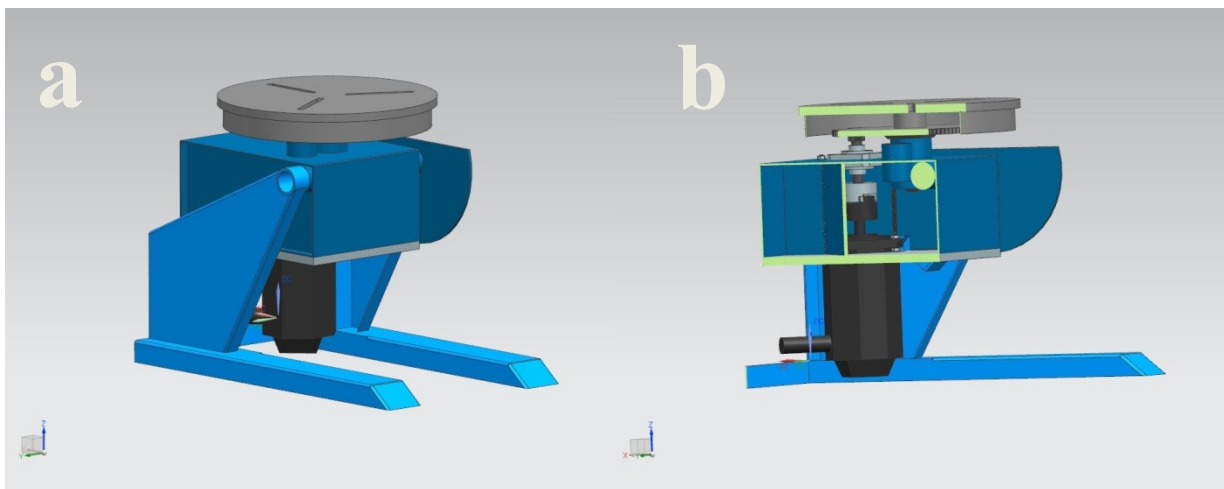
Yleisohje pikamallinnettavien kappaleiden 3D-mallinnukseen

Mallinnettaessa 3D-mallia tai muokatessa sitä tulostettavaksi on hyvä muistaa muutama seikka mallin tulostettavuutta ajatellen. Suurin osa kaikista piirteistä säilyy ennallaan, mutta osaa on hyvä muuttaa kappaleen kestävyuden lisäämiseksi.

1. Muuta kaikki ontot kappaleet umpinaisiksi

Onttojen mallien pikamallinnuksessa niiden kestävyys ei tule olemaan kovinkaan hyvä, mikäli mallia kutistetaan. Mikäli 3D-mallissa on pelkkä pinta, mikä on rikkiäinen, ei sen tulostaminen yleensä onnistu kovin hyvin.

Koneen sisällä olevat osat (kuva 1b), jotka eivät näy valmiissa kappaleessa on syytä poistaa ja ontto tila tulisi täyttää yhtenäiseksi osaksi muuta mallia.



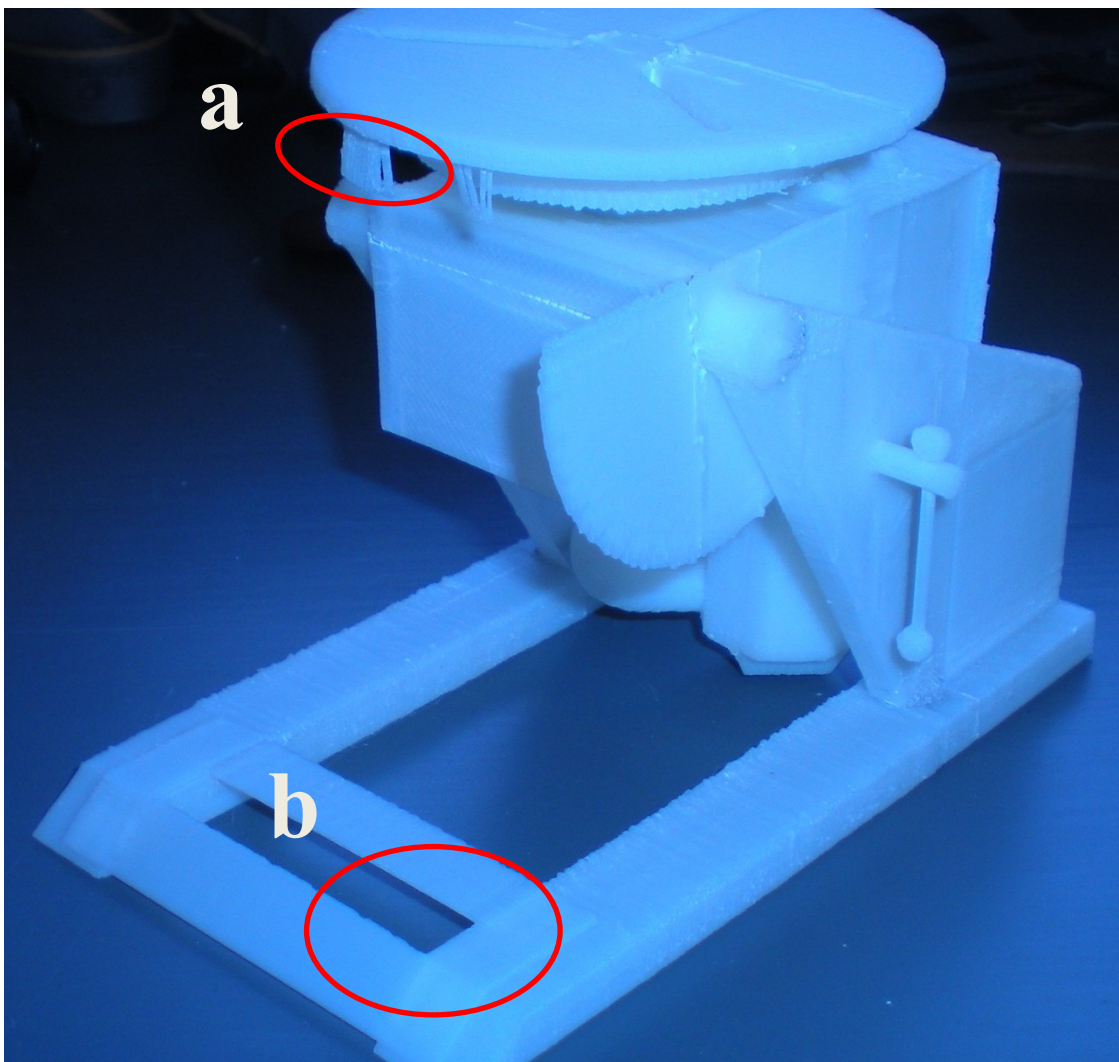
Kuva 1. Pyörityspöydän 3D-malli ja poikkileikkaus mallista.

Kokoonpanomallissa kaikkien eri osien olisi hyvä olla samaa kappaletta, jotta tulostus onnistuisi mahdollisimman hyvin. Joissain 3D-malleissa voi käydä niin, että on monta samanlaista osaa päällekkäin. Tästä on yleensä pelkästään haittaa ja tulostus voi vaikeutua hyvinkin paljon.

HUOM. Mikäli tulostettavassa mallissa on kuitenkin ohuita yksityiskohtia, kuten alle millin vahvuisia putkia, ei niitä kannata sulauttaa yhdeksi osaksi vaan antaa olla erillinen osa kokoonpanossa, jolloin niiden muokkaaminen on mahdollista.

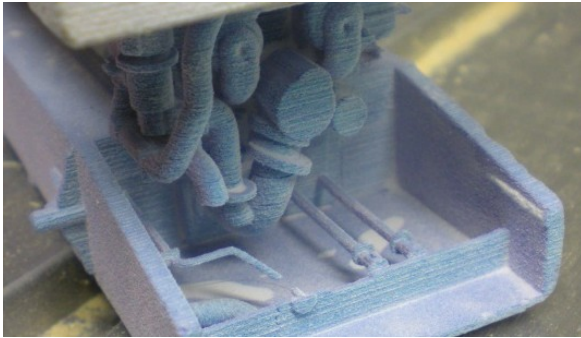
2. Ota huomioon pikamallinnetun kappaleen oikea koko

Pienoismalleja tehtäessä on otettava huomioon mittakaava, jonka mukaan pienoismalli tehdään. Jos todellisen 3D-mallin seinämän paksuus on 5mm, niin 1:10 mittakaavassa tehdyn pienoismallin seinämän paksuus 0.5 mm. Joissain tapauksissa liian ohuet kohdat mallissa eivät tulostu tai tulostuvat vain osittain (kuva 2a). Seinämävahvuudet saattavat jäädä häiritsevän pieniksi, jolloin seinämästä voi nähdä lähes lävitse (kuva 2b).



Kuva 2. Pyörityspöydästä valmistettu pienoismalli.

Pienissä yksityiskohdissa on otettava huomioon yksityiskohtan pituus ja paksuus. Esimerkiksi pienet putket, jotka roikkuvat mallissa ja ovat halkaisijaltaan alle millin, eivät luultavasti tule kestäväseen kovin hyvin (kuva 3.).



Kuva 3. Kappaleessa näkyy pieni rikkinäinen putki.

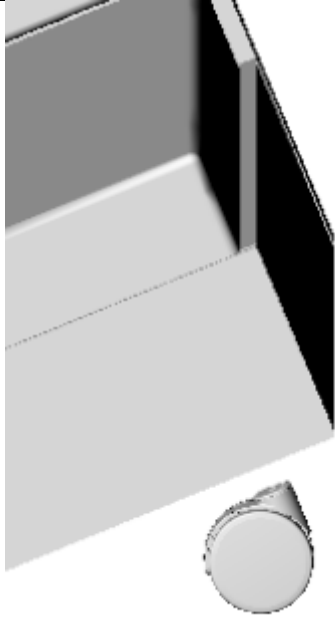
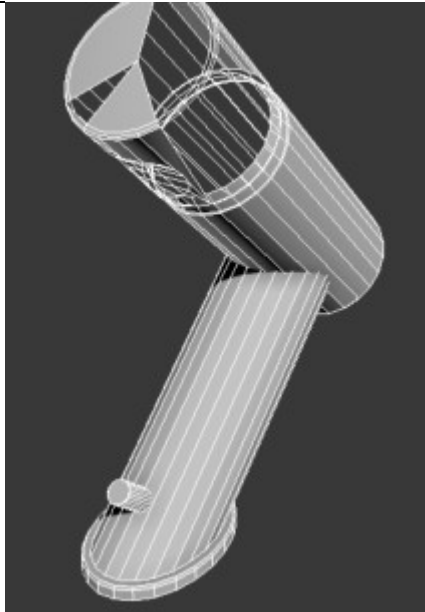
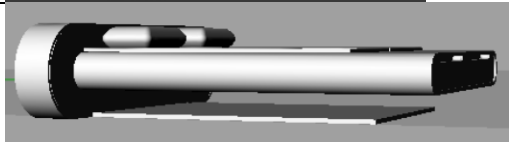
- Valmiin kappaleen ohuimman kohdan on oltava vähintään 1 mm. 1 mm on jo todella ohut, mutta se kestää kyllä mikäli muistaa olla varovainen.
- Valmiin kappaleen pienien yksityiskohtien kanssa tulee käyttää järkeä ja mieltä, että kestävätkö ne esimerkiksi kosketusta. Tulostin pystyy kyllä tulostamaan jopa alle 0.5 mm paksuja yksityiskohtia, mutta niiden kestävyys on kyseenalainen.
- Yksittäisen kappaleen suurin koko on 250mm x 380mm x 200mm, mutta isommat kappaleet on mahdollista halkaista, jonka jälkeen kappaleet liimataan yhteen.

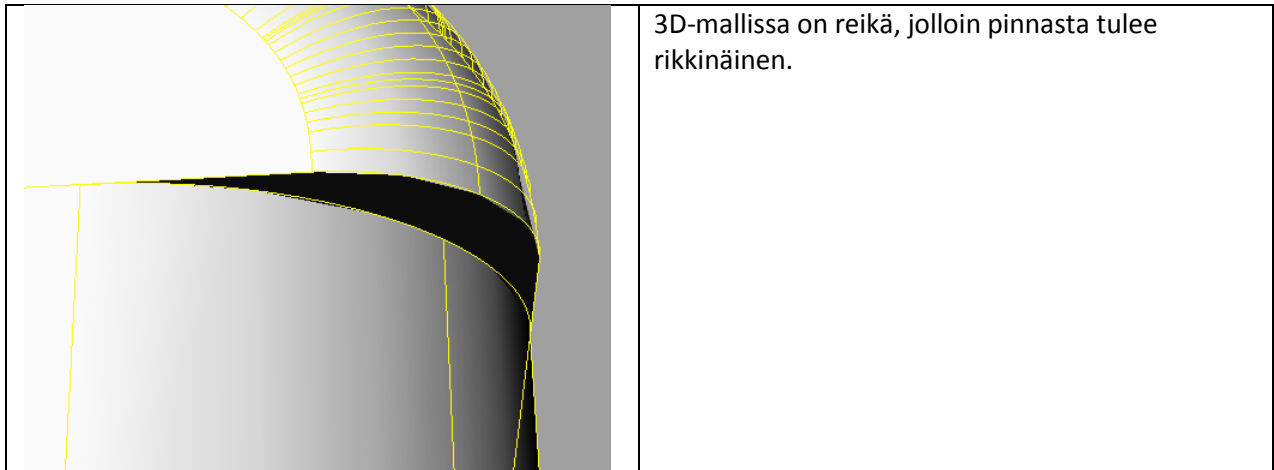
3. Tulostettavan 3D-mallin muut mahdolliset virheet

Suurin osa teollisuudessa käytettävissä 3D-mallinnusohjelmissa tuottaa hyvin tulostuvia 3D-malleja eikä täten yleensä vaadi suuritöisiä muutoksia. Eniten ongelmia 3D-mallien pintojen kanssa on tullut ohjelmissa, joita ei ole tehty solidimallinnukseen, kuten Autodesk 3Ds MAX.

3D-mallien tulostaminen edellyttää mallissa ehjää pintaa, jolloin tulostettava kappale on solidi. Tulostettavat kappaleet koostuvat yleensä pienistä kolmioista, joille on annettu kolme pistettä ja suunta. Mikäli näitä kolmioita puuttuu tai niiden suunta onkin väärä, niin silloin 3D-mallin tulostuksessa tulee ongelmia. Osa näistä ongelmista saadaan korjattua ennen tulostusta, mutta joidenkin ongelmien korjaustoimenpiteet vievät todella paljon aikaa.

Esimerkkejä virheistä:

	<p>Irtonainen osa tulostettavassa 3D-mallissa.</p> <p>Tulostetussa kappaleessa osat tulostuvat tässä tapauksessa erillisinä kappaleina.</p>
	<p>Pinnan normaalit eli 3D-tiedostoformaattissa käytettyjen kolmioiden suunta on väärään suuntaan, jolloin 3D-mallista näyttää puuttuvan paloja.</p>
	<p>Pienoismalliksi tuleva sänky ei kestä. Pohjalla olevaa levyä paksunnettava.</p>



4. Tallenna malli yhteensopivaan tiedostomuotoon

Malli tulee tallentaa yhteensopivaan tiedostomuotoon kappaleen pikamallintamisen onnistumiseksi. Kaikki tiedostomuodot eivät tue värejä, kuten .stl-tiedostot.

Yleisimmät tuetuista tiedostomuodoista ovat:

.stl, .ply, .3ds ja .wrl

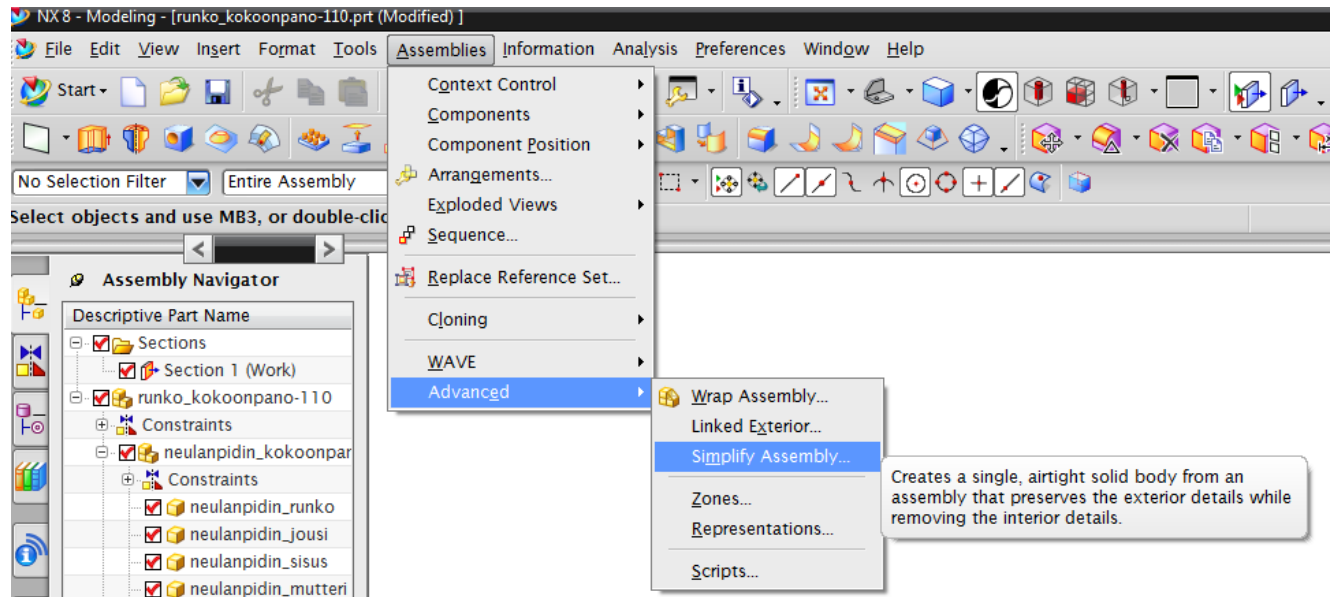
Vähemmän yleisiä tuettuja tiedostomuotoja:

.bld, .stx, .zbd, .zcp, .zpr ja .fbx

3D-tulostettavien kappaleiden muokkaus

Siemens NX 8.0

Tässä ohjeessa käydään läpi Siemens NX ohjelmiston antamia mahdollisuuksia valmistaa helpommin 3D-malleja, jotka ovat helpommin tulostettavissa 3D-tulostimella. Siemens NX:llä tähän löytyy asiaa helpottava työkalu [Simplify Assembly](#). Toinen vaihtoehto on käyttää [Linked Exterioria](#), mutta se ei ole kovinkaan helppoa ja vie monimutkaisissa kokoonpanoissa melko paljon aikaa sekä tulos voi jäädä heikoksi.



Simplify Assembly löytyy Assemblies valikon Advanced osiosta.

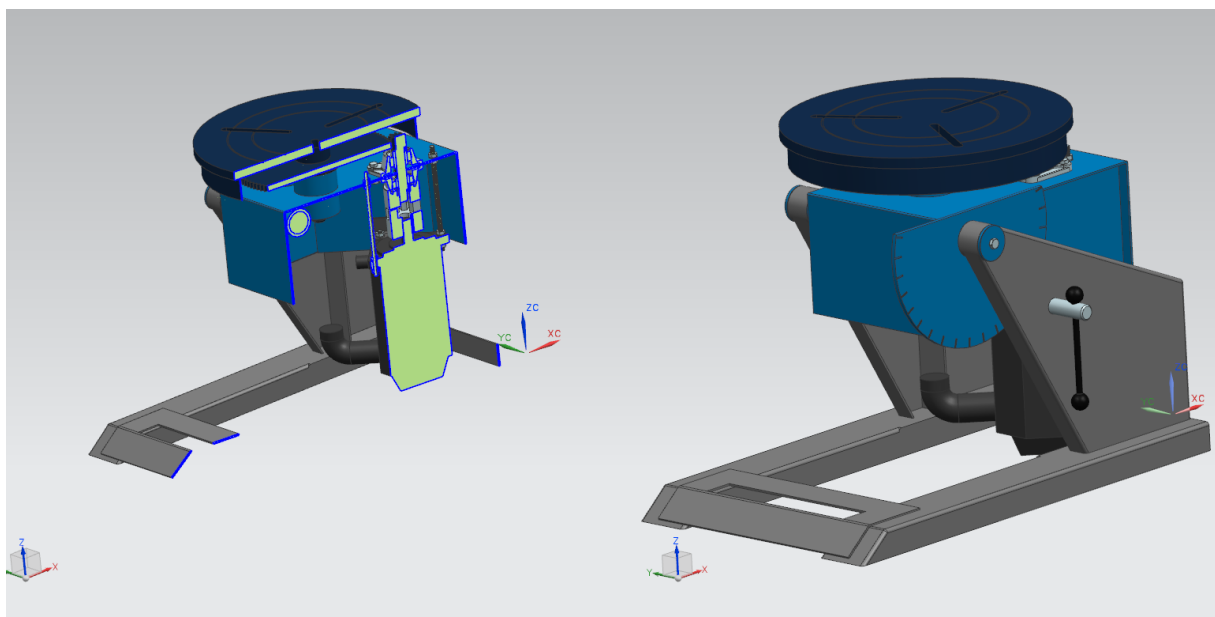
Ohjeen aikana käymme läpi Simplify Assemblyssä käytettävät muokausmahdollisuudet:












Joissain 3D-malleissa ei ole välttämätöntä tehdä yksinkertaistamista, mutta joissain tapauksissa se on suositeltavaa. 3D-tulostimissa on mahdollista säästää tulostusmateriaalissa umpinaisten kappaleiden kohdalla, jolloin mallin yksinkertaistaminen säästää ajassa ja tulostettavassa materiaalissa.

Pyörityspöydän 3D-mallin muokkaus

Tarkoituksena on tehdä pyörityspöydän 3D-mallista yksinkertaistettu 1:10 pienoismalli, jonka avulla pystyttäisiin tekemään robottisolusta havainnoillistava pienoismalli. Pienoismallissa ei tarvitse nähdä koneen sisälle, joten pyörityspöydän koneiston sisältävä laatikko voidaan huoletta täyttää. Pienoismallin seinämät ovat jo oikeassa mallissa valmiiksi 3mm joten pienoismallin seinämistä tulee auttamatta liian ohuet. Tavoitteena pidettäköön vähintään 1mm seinämävahvuutta.



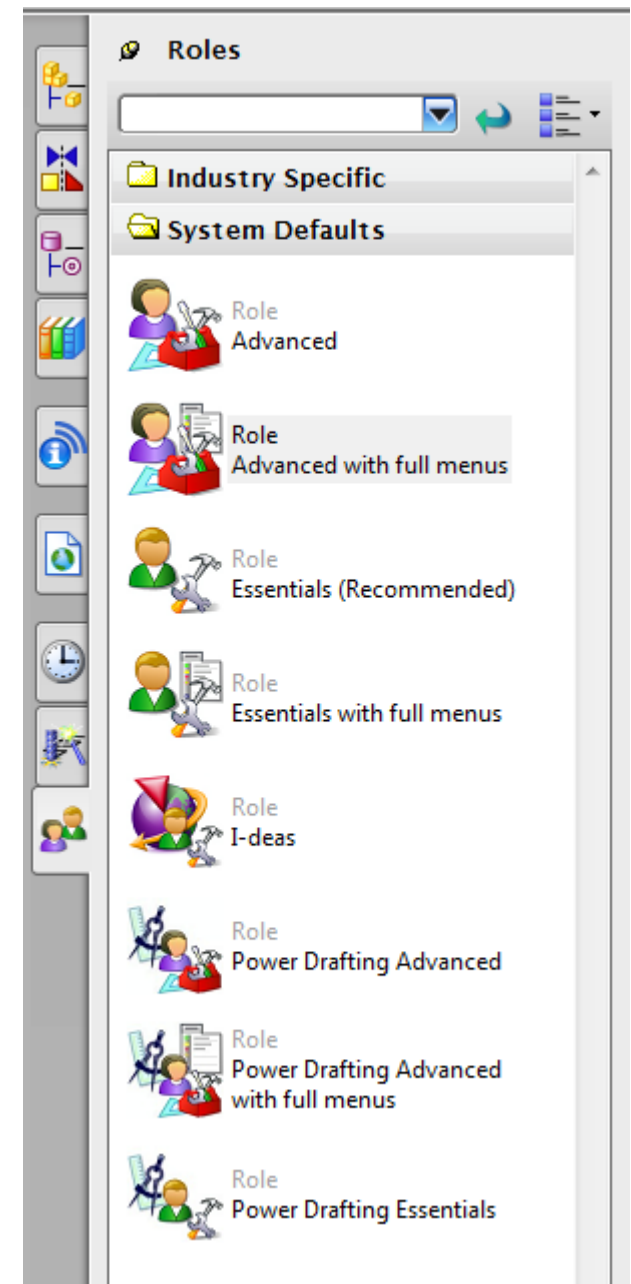
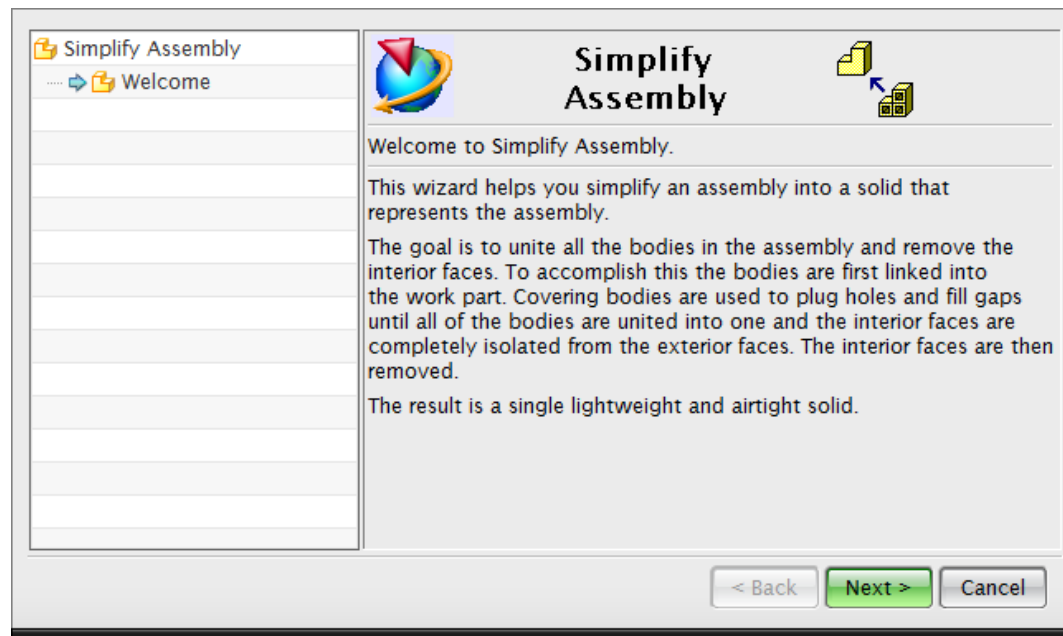
Pyörityspöydän 3D-kokoonpanomalli.

Aloitus	1-2
 Unite all	3-4
 Extrude dialog	5-6
 Plug circular holes	7
 Body from outline	8-9
 Bounding sphere	10
 Body from 3D profile	11-13
 Muokkausten poisto	14
 Leak check	15-17
 Scale body ja Export	18-19

1. **Simplify Assembly**
löytyy:
Assemblies -> Ad-
vanced ->
Simplify Assembly

Next –nappia
painamalla pääset
eteenpäin.

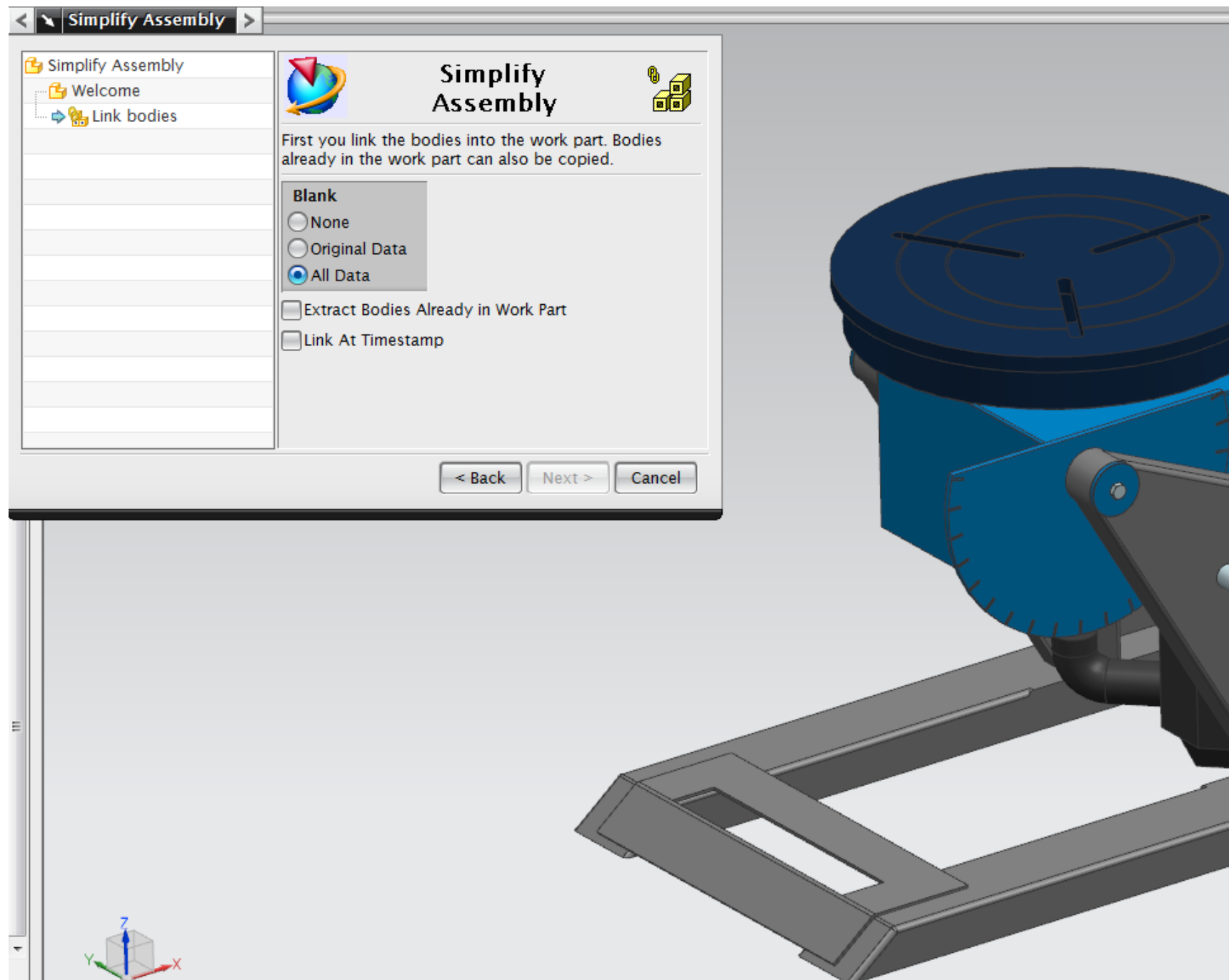
Huom.
Roolina on oltava
”**Advanced with full
menus**”, että Simplify
Assemblies löytyy
valikoista.



2. Aluksi kerätään kaikki kokoonpanon osat, jotka on tarkoitus yksinkertaistaa.

Blank –osiossa on hyvä laittaa pallo **All Data** kohtaan. Tällöin ne osat, mitä ei valita ei tule muokkausosioon mukaan.

Kaikkia osia ei välttämättä kannata valita ja usein joidenkin osien, kuten pulttien ja muttereiden poisjättäminen helpottaakin mallin yksinkertaistamista.



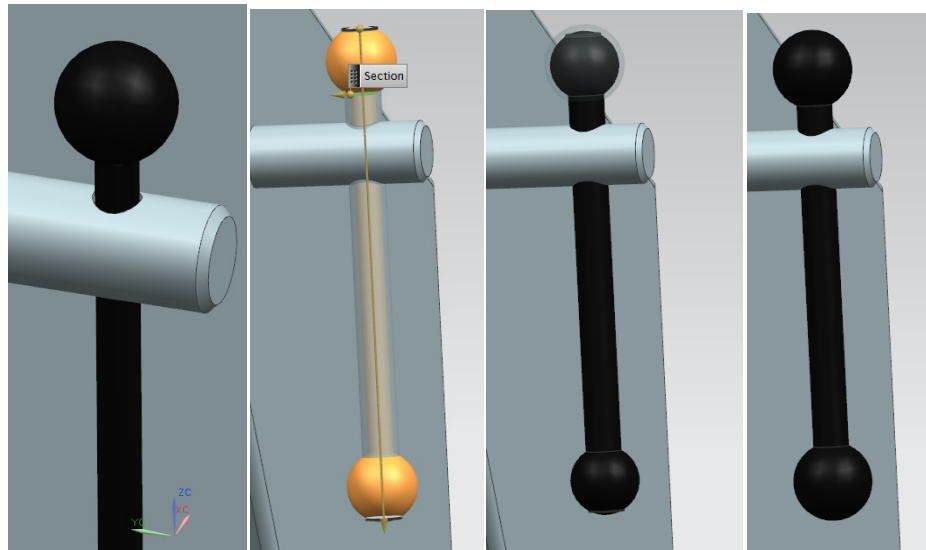
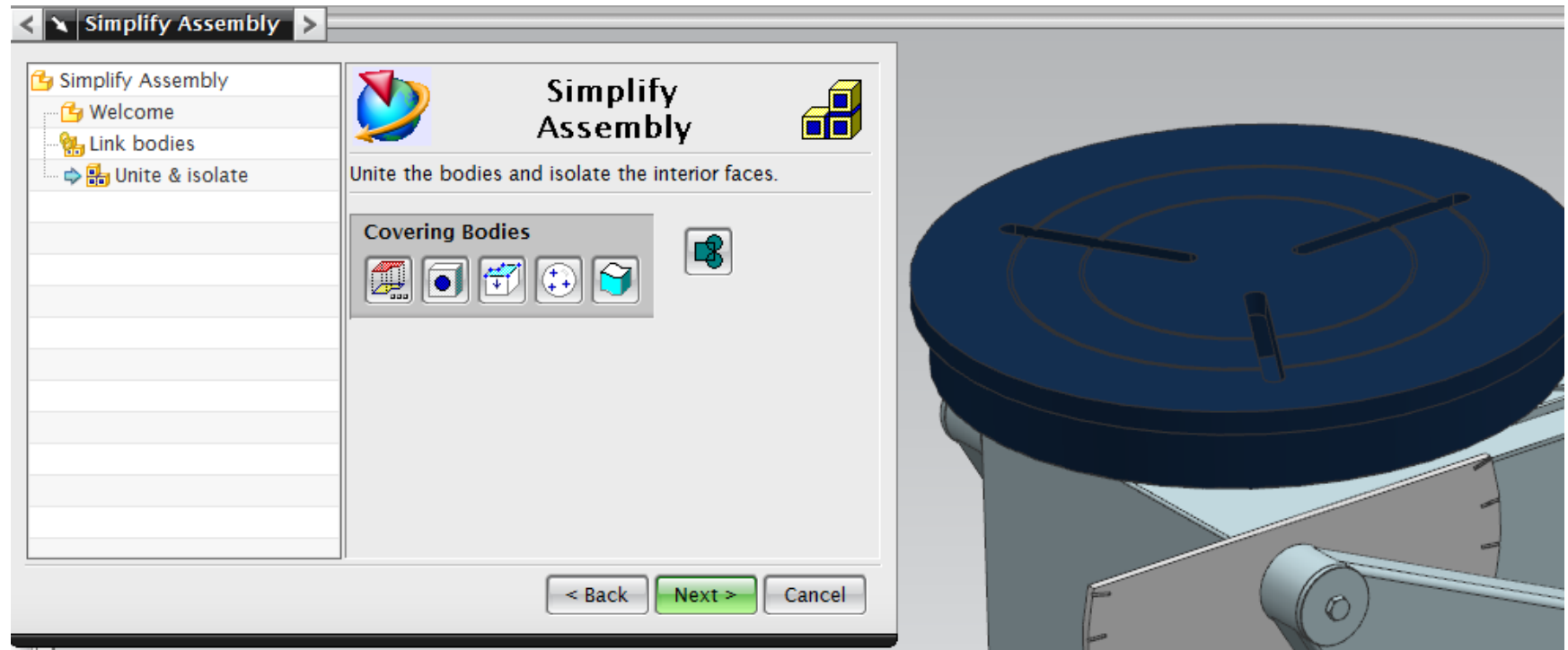
3. Valitaan **Unite All** –
komento.



Tämä komento pyrkii yhdistämään kaikki erilliset osat yhdeksi, jolloin muokkaaminen voidaan tehdä hieman helpommin.

Lopputuloksena tulisi olla pelkästään yksi kappale(Body) ja sitä estää yleensä pelkästään se, että kokoonpanossa on osia, jotka eivät kosketa toisiaan ja tällöin kappaleen yhdistäminen ei onnistu.

Unite All –komentoa voikin joutua käyttämään muutamaaan otteeseen pursotusten jälkeen, ennenkuin kaikki kappaleet ovat kiinni toisissaan.



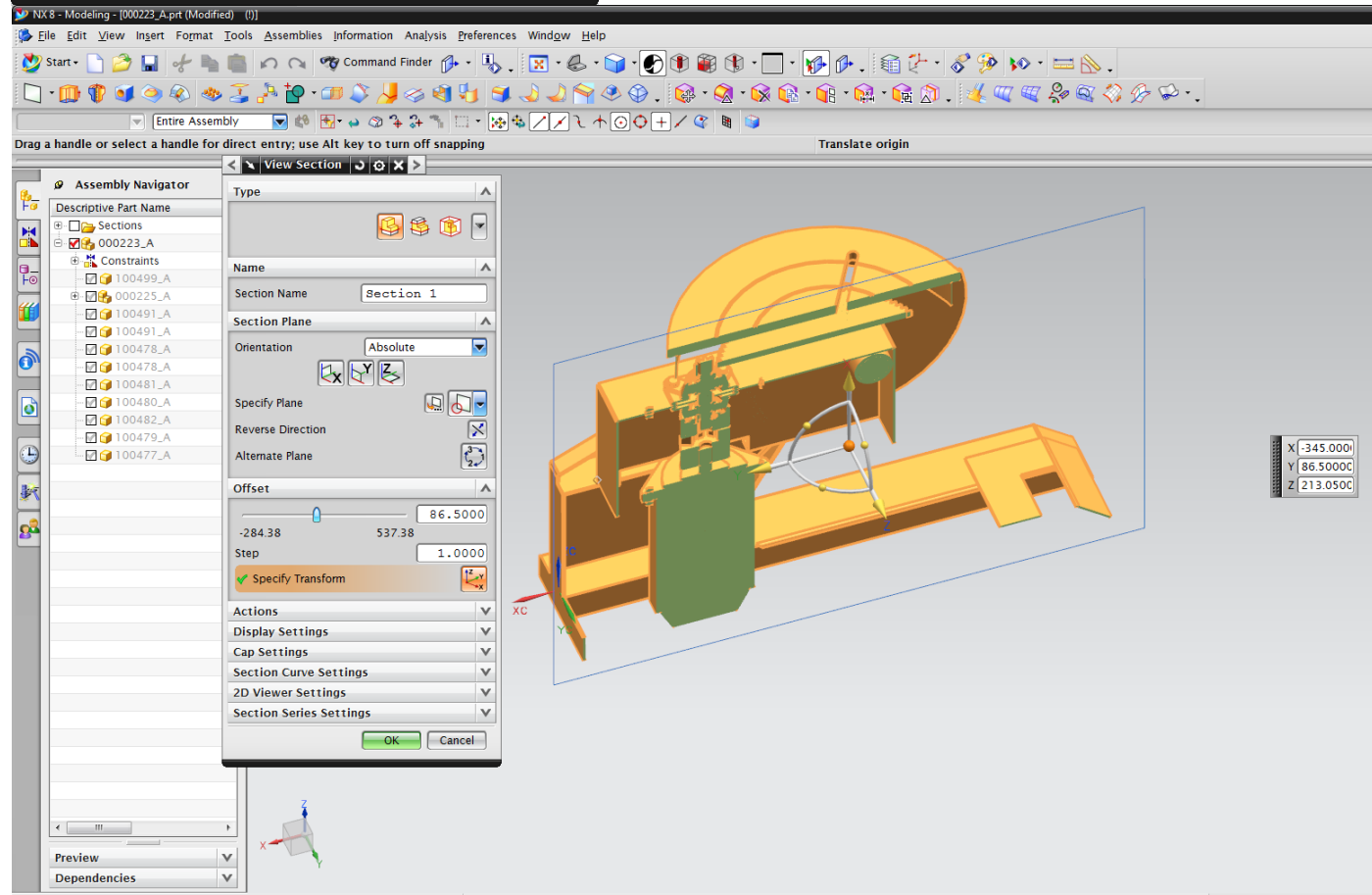
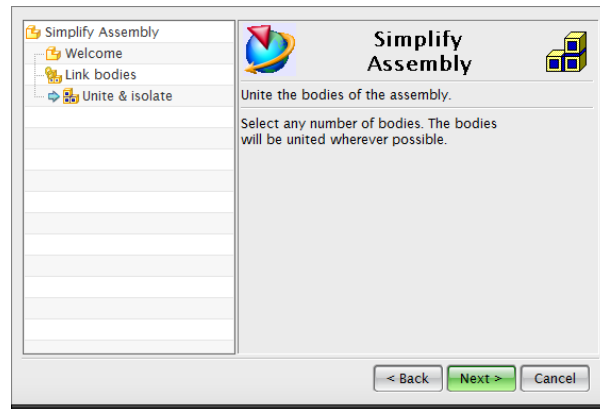
4. Valitaan kaikki osat, mitkä aiotaan yhdistää yhdeksi osaksi.

HUOM! Ctrl + A näppäinyhdistelmällä pystytään valitsemaan kaikki, mutta kaikki osat ei välttämättä tule valituksi, joten on tarpeen usein tarkistaa asia Section käskyn avulla.

Section näkymän saat esille **Ctrl + H** näppäinyhdistelmän avulla.

Tarkistuksen jälkeen voidaan valita ikkunassa Cancel, jolloin Section – näkymä ei jää päälle.

Hyväksytään valinnat Next –nappulalla.



5. Simplify Assemblyssä valitaan **Extrude Dialog**



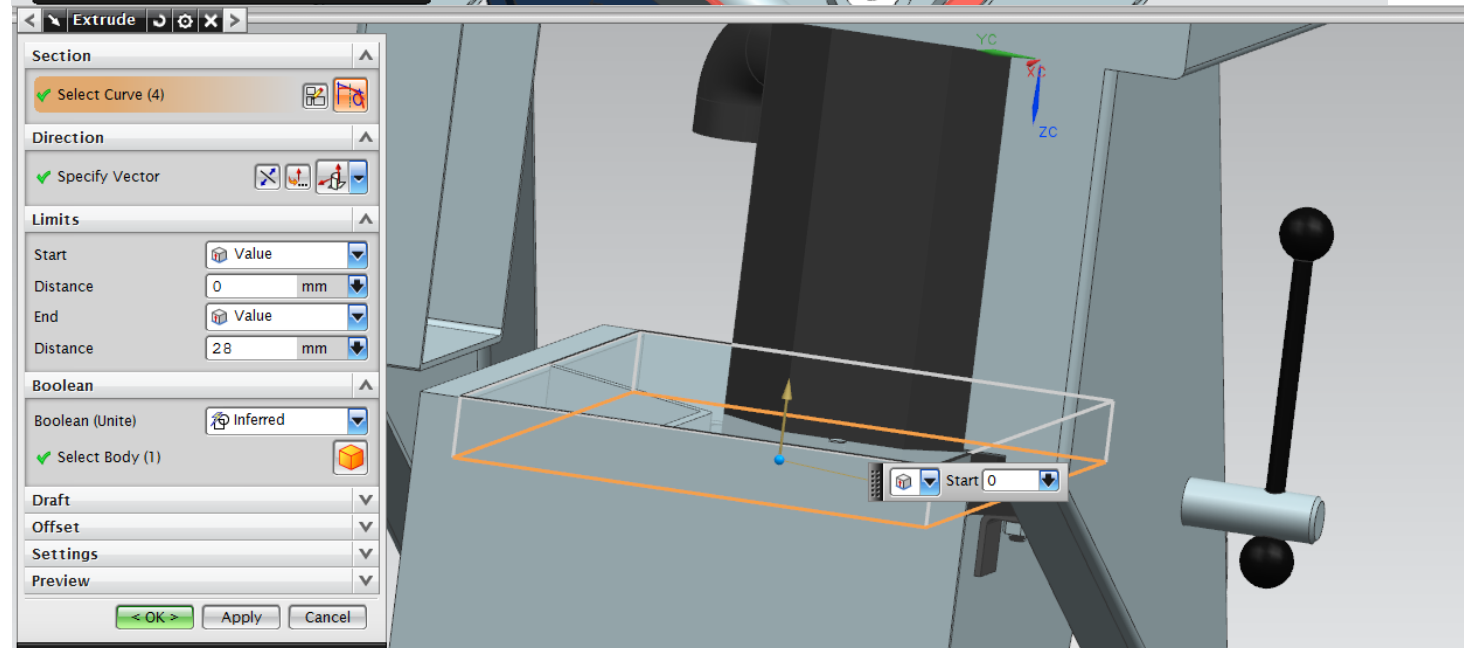
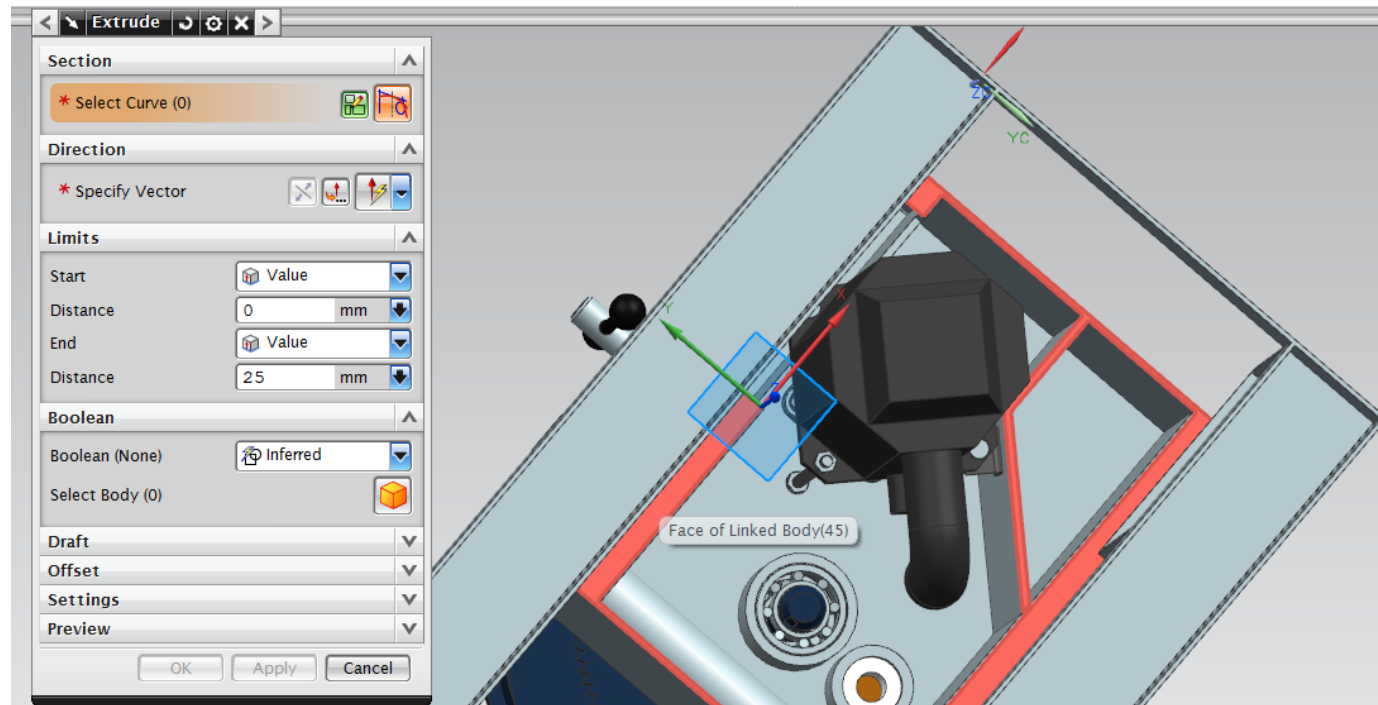
Tämän työkalun avulla voimme tehdä erilaisia pursotuksia.


Nyt tarkoitus on tehdä koteloon kansi, jonka voimme täyttää sitten myöhemmin.

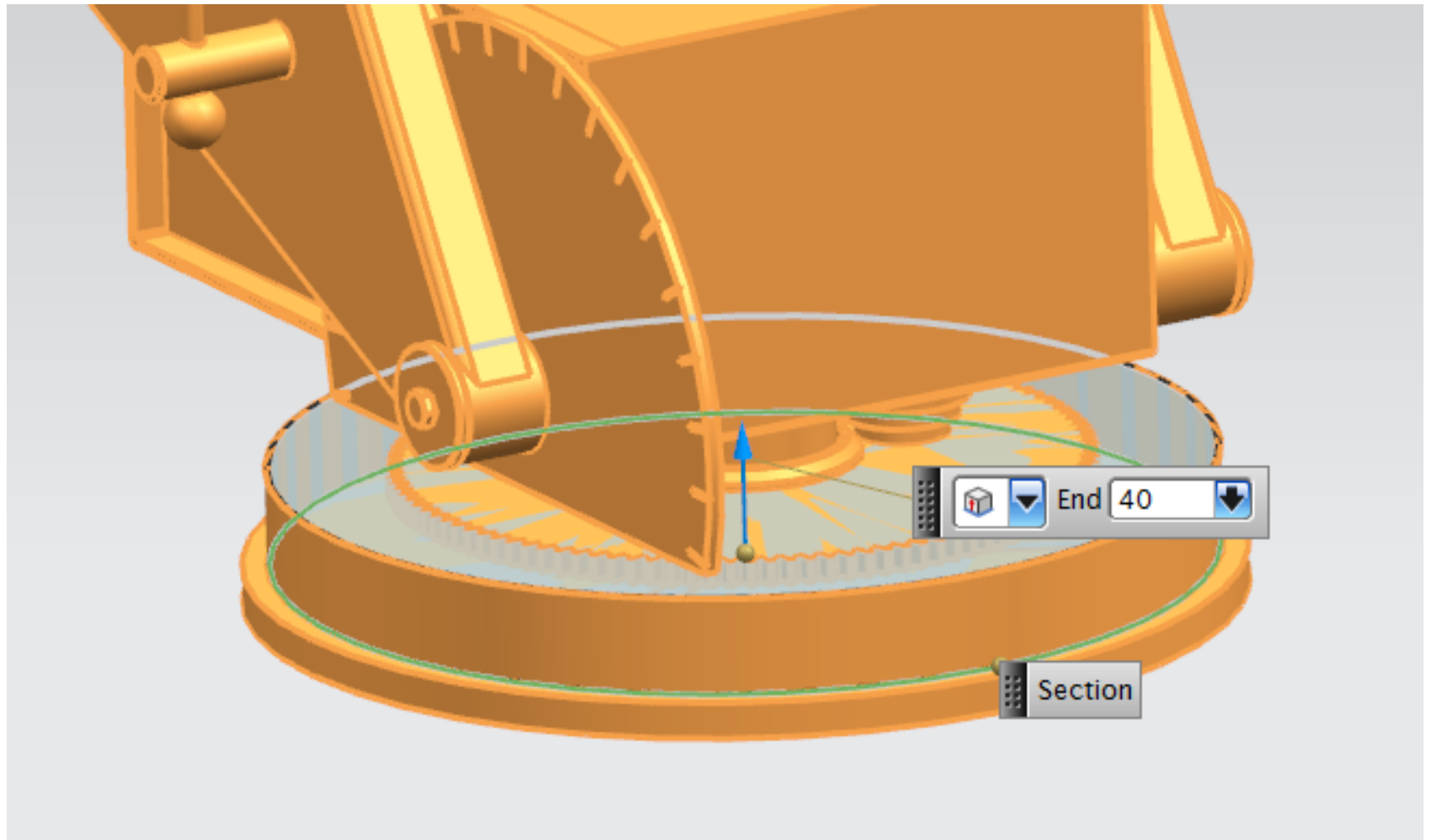
Mikäli viivoja pursotusta varten ei löydy mallista muuten, niin ne voidaan tehdä



Sketch section – käskyllä.



6.  Pursotuksessa voidaan käyttää myös valmiiden piirteiden reunaviivoja.



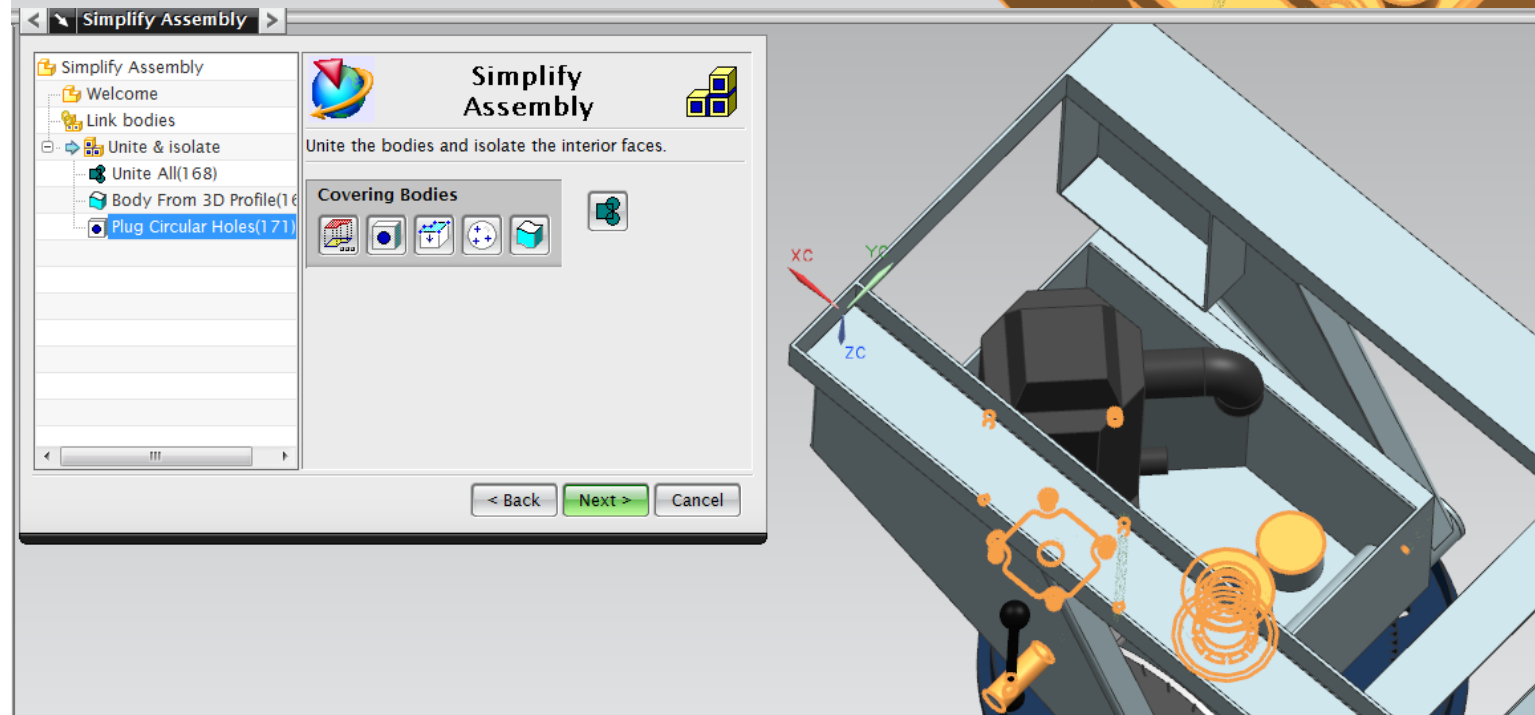
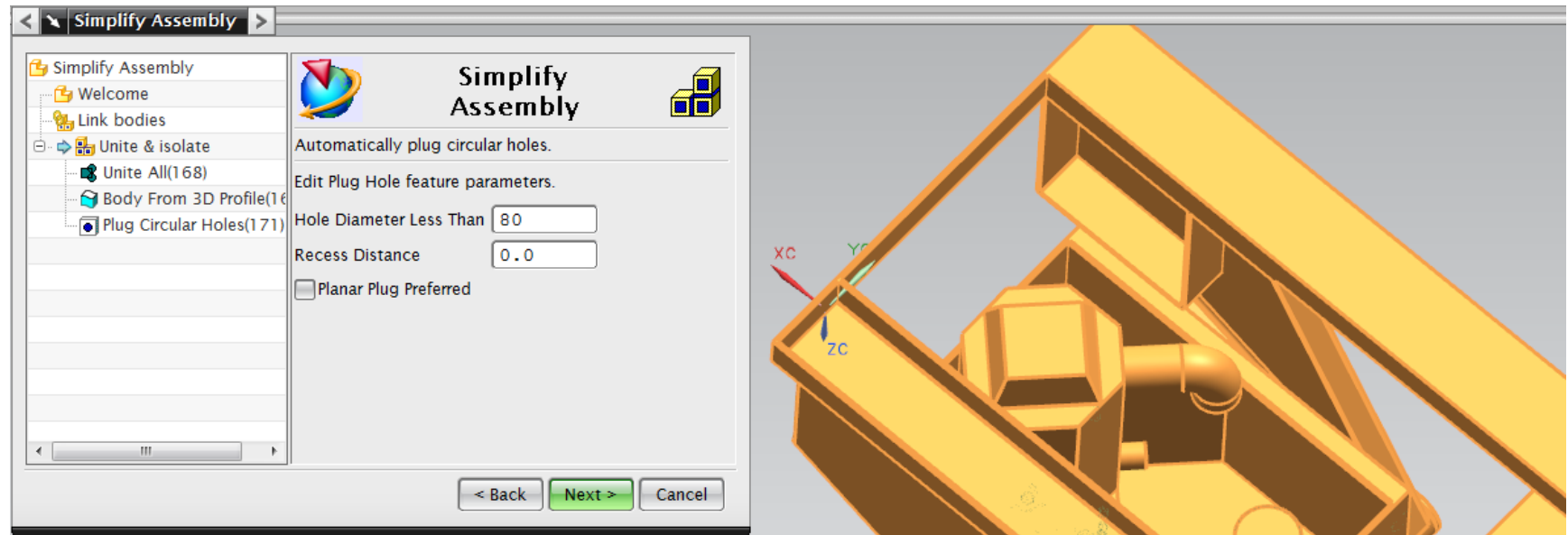
7 Plug circular holes



poistaa reikiä mallinteesta.

Tämä työkalu toimii melkoisen automaattisesti ja käyttäjän tarvitsee antaa vain reiän maksimi koko, jota alemmat reiät tukitaan.

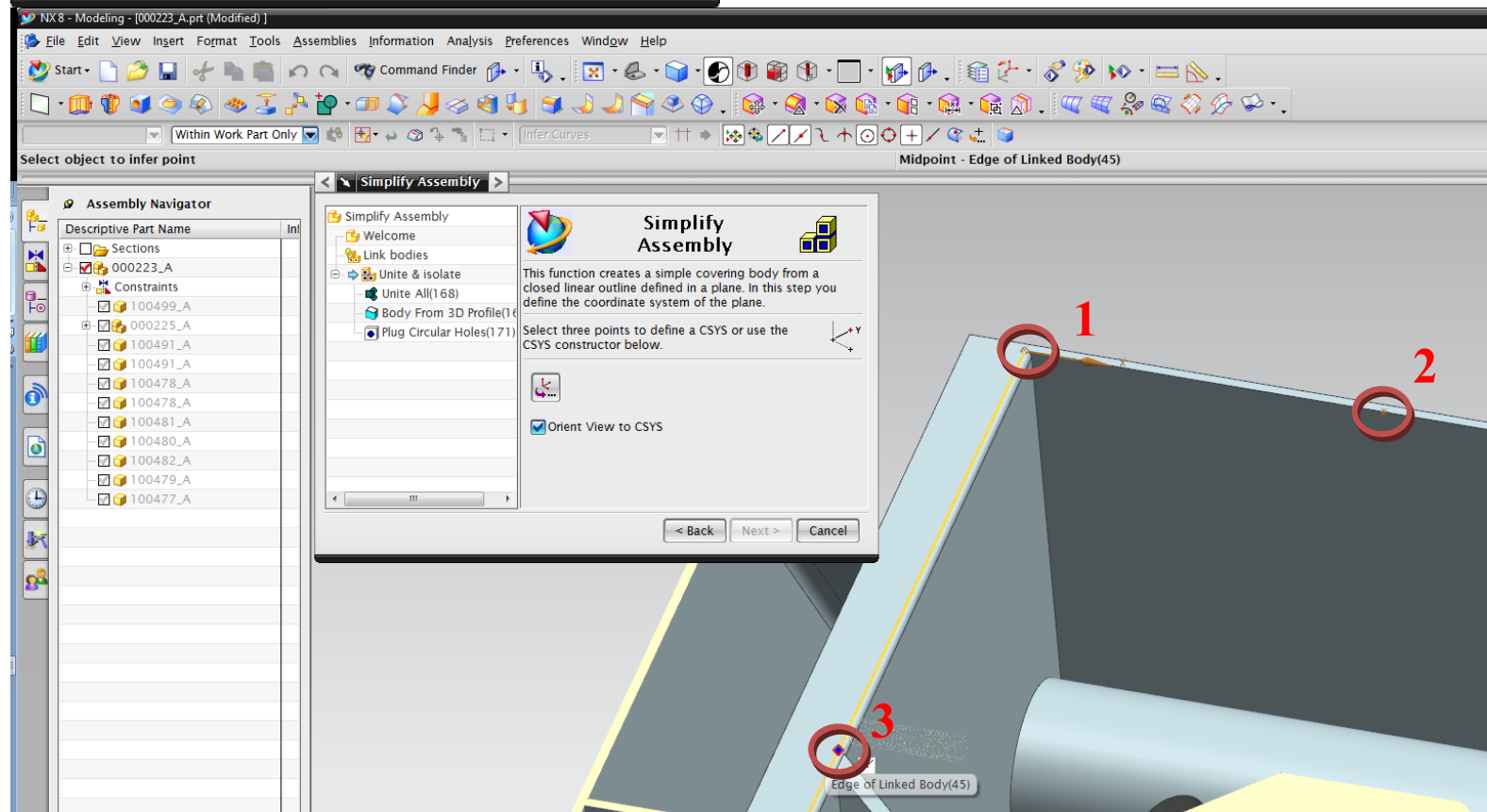
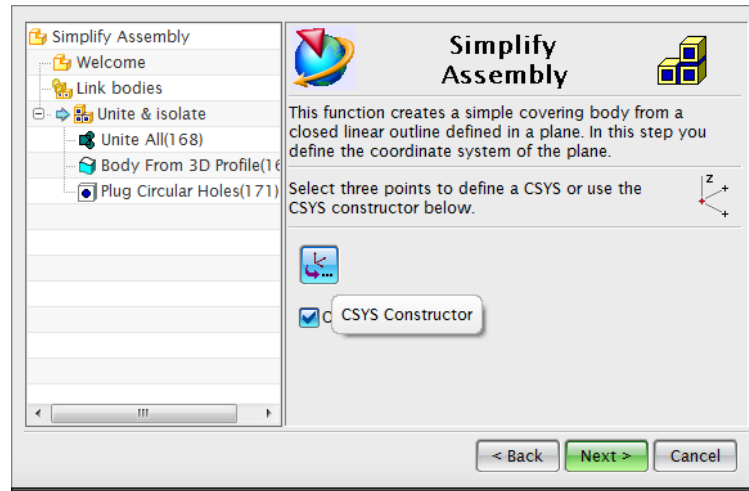
Recess Distance määrittelee kuinka paljon reikiä täytetään. Mikäli Recess Distance on 0, niin silloin reikä täytetään täysin.




8 **Body from Outline** on myös eräänlainen pursotustyökalu, mutta toisinkin muissa tässä pursotettava pinta-ala saadaan tehtyä pisteillä, jotka ovat yhteyksissä toisiinsa.


Aluksi valitaan koordinaatisto sille pinnalle, mistä halutaan pursottaa joko valitsemalla kolme pistettä tai sitten käyttämällä CSYS Constructoria

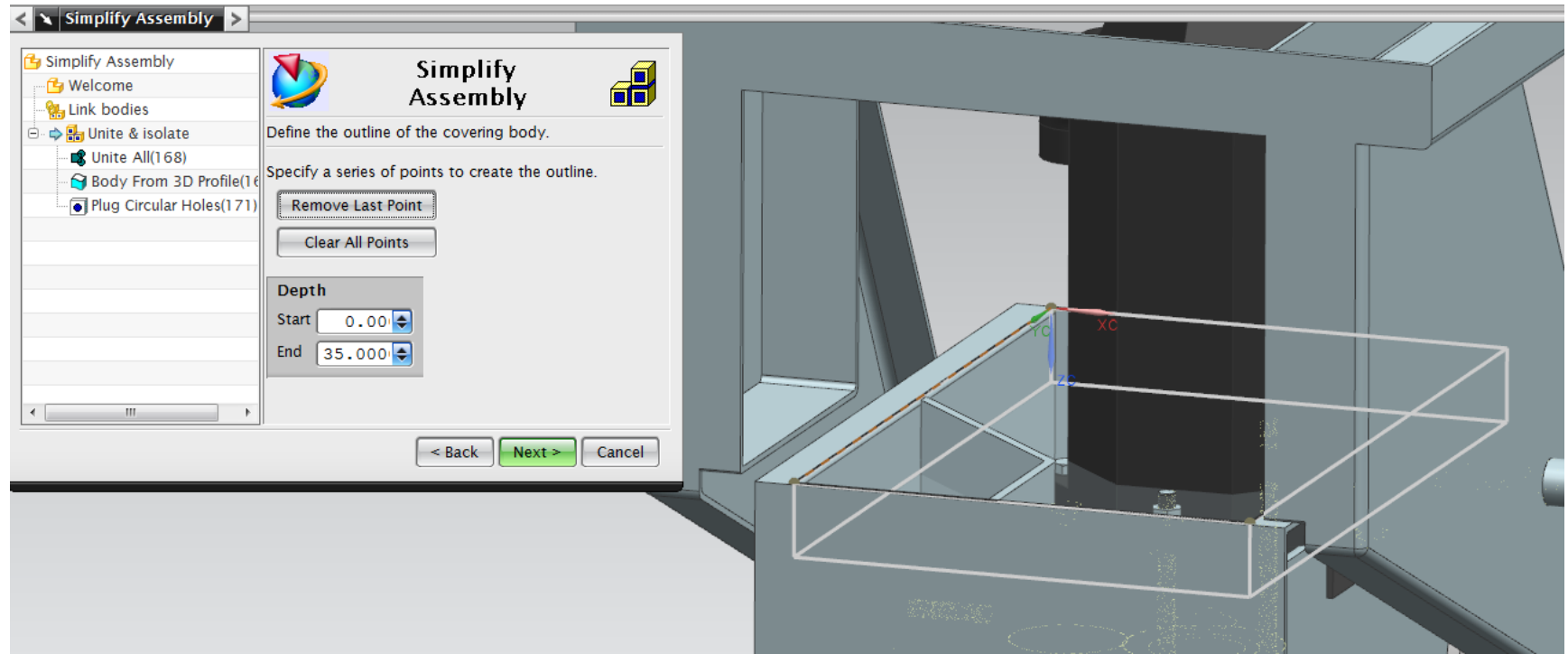
Kolmea pistettä käytettäessä tehdään koordinaatisto seuraavalla tavalla:
 -Valitaan koordinaatiston Z-pisteelle nurkkapaikka (1)
 -Valitaan X-pisteelle piste keskeltä suoraa (2)
 -Valitaan Y-pisteelle piste keskeltä suoraa (3)



- 9  Koordinaatiston määrittelyn jälkeen annetaan vähintään kolme pistettä, joiden avulla pystytään tekemään pursotettava alue.

Next nappulan jälkeen tulee viimeinen kohta, jossa valitaan pursotukseen liittyvä kappale ja valitaan

 **Unite**, komento.



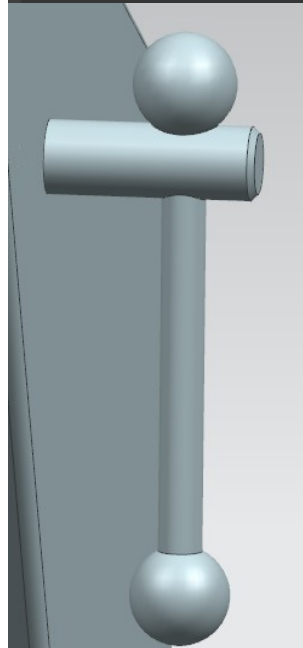
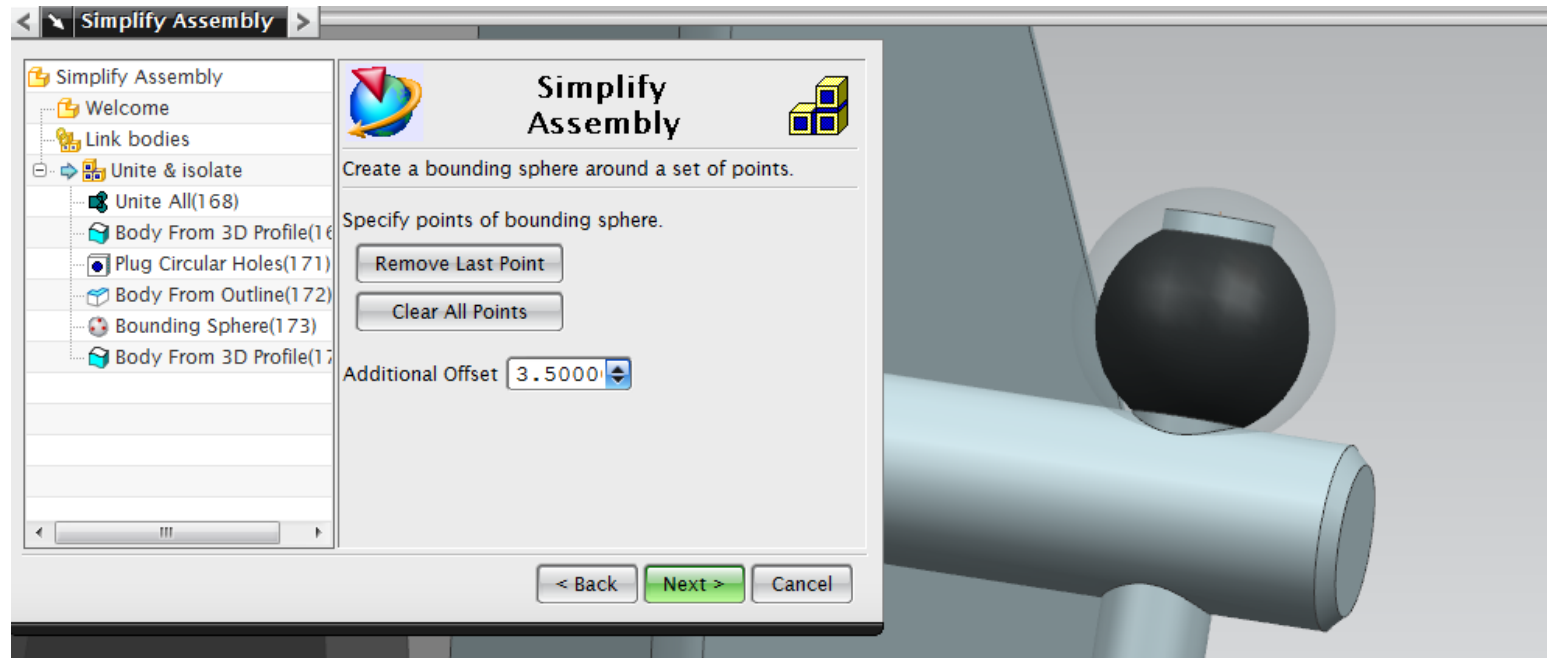
10 Bounding sphere –


työkalun avulla pystytään tekemään pallon muotoinen kappale.

Kiristysvivun paksuntamisen seurauksena oli tarpeen korjailla vivun päässä olevat pallot.

Pallon tekemiseen tarvitaan vähintään kaksi pistettä. Tässä tapauksessa ne löytyi paksunnetun vivun päästä ja vanhan pallon alareunan keskeltä.

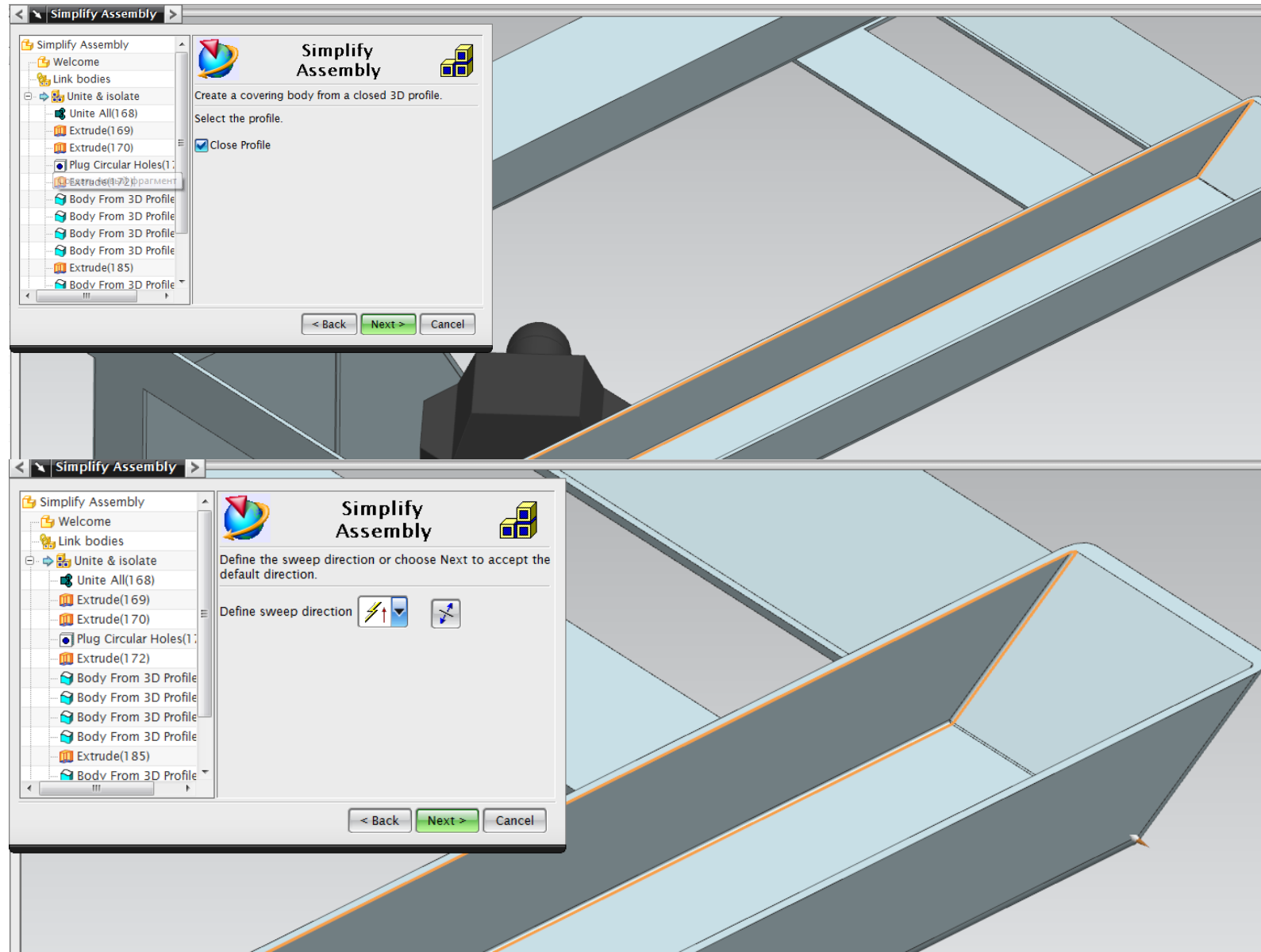
Kuten kaikissa muissakin työkaluissa, niin myös tässä pitää valita lisätäänkö materiaalia vai vähennetäänkö sitä ja mistä kappaleesta.



- 11 Body from 3D profile**

 komennessa valitaan ensin pursotettavan profiilin reunaviivat. Valinnassa voidaan ottaa huomioon myös pöristykset.

Close profile kohdassa kannattaa olla merkki siinä vaiheessa kun profiili otetaan esimerkiksi reuna viivoista

Sweep directionin kanssa kannattaa olla tarkkana varsinkin silloin kun pursotettavassa profiilissa on pyöristyksiä.




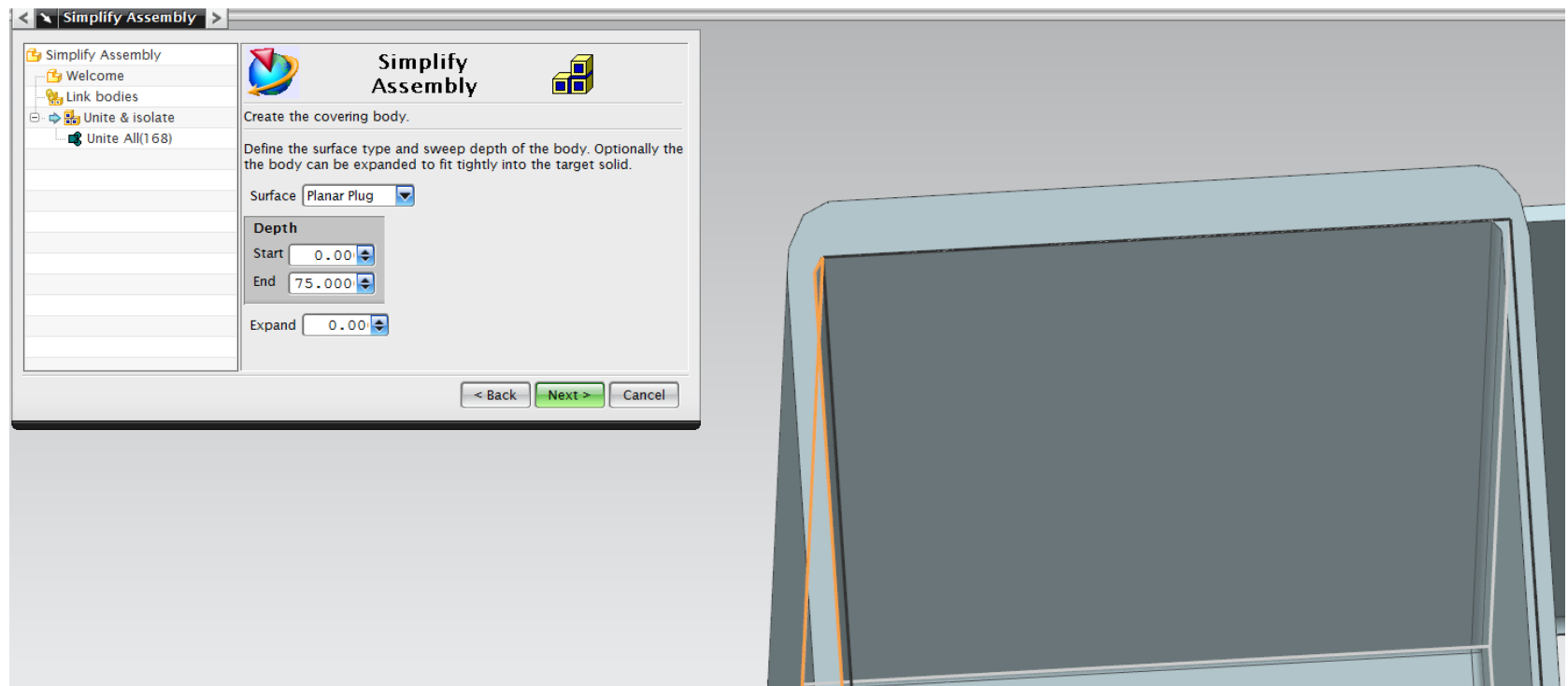
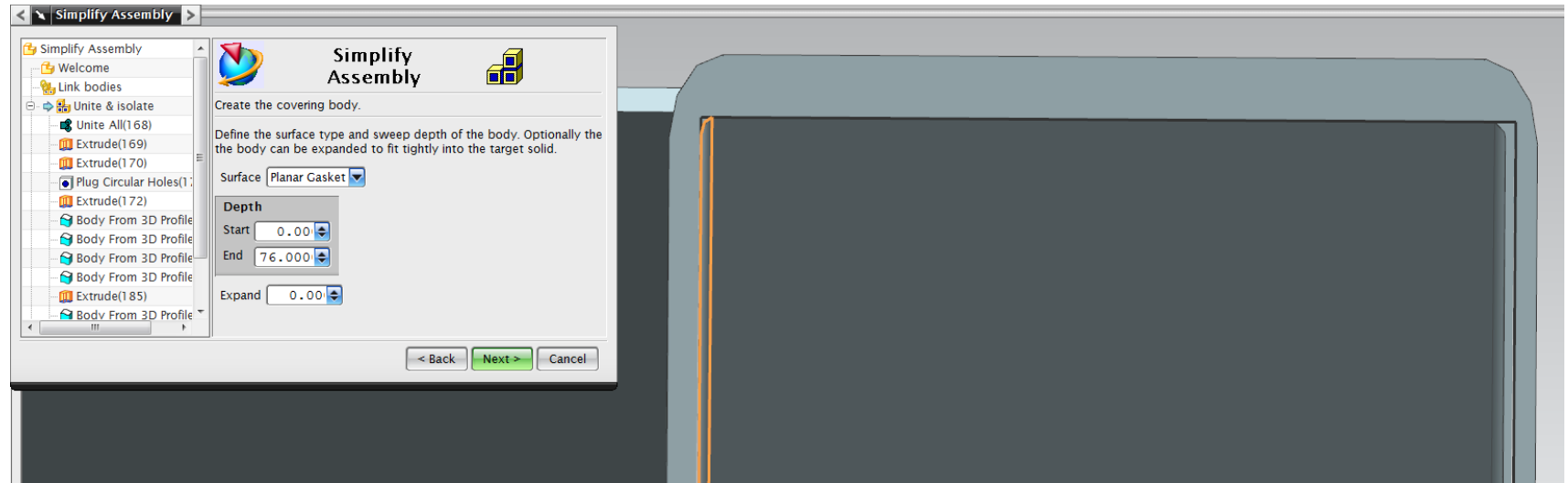
- 12 Surface valikosta voi valita joko **Planar Gasketin** tai **Planar Plug**

Ero näillä on se, että *Planar Gasketissa* pursotus ei ota huomioon pyöristystä. *Planar plug* aloittaa pursotuksen heti pyöristyksen jälkeen.

Molempia voidaan muokata Depth kohdassa muokkaamalla pursotuksen aloitus ja lopetuskohtaa.

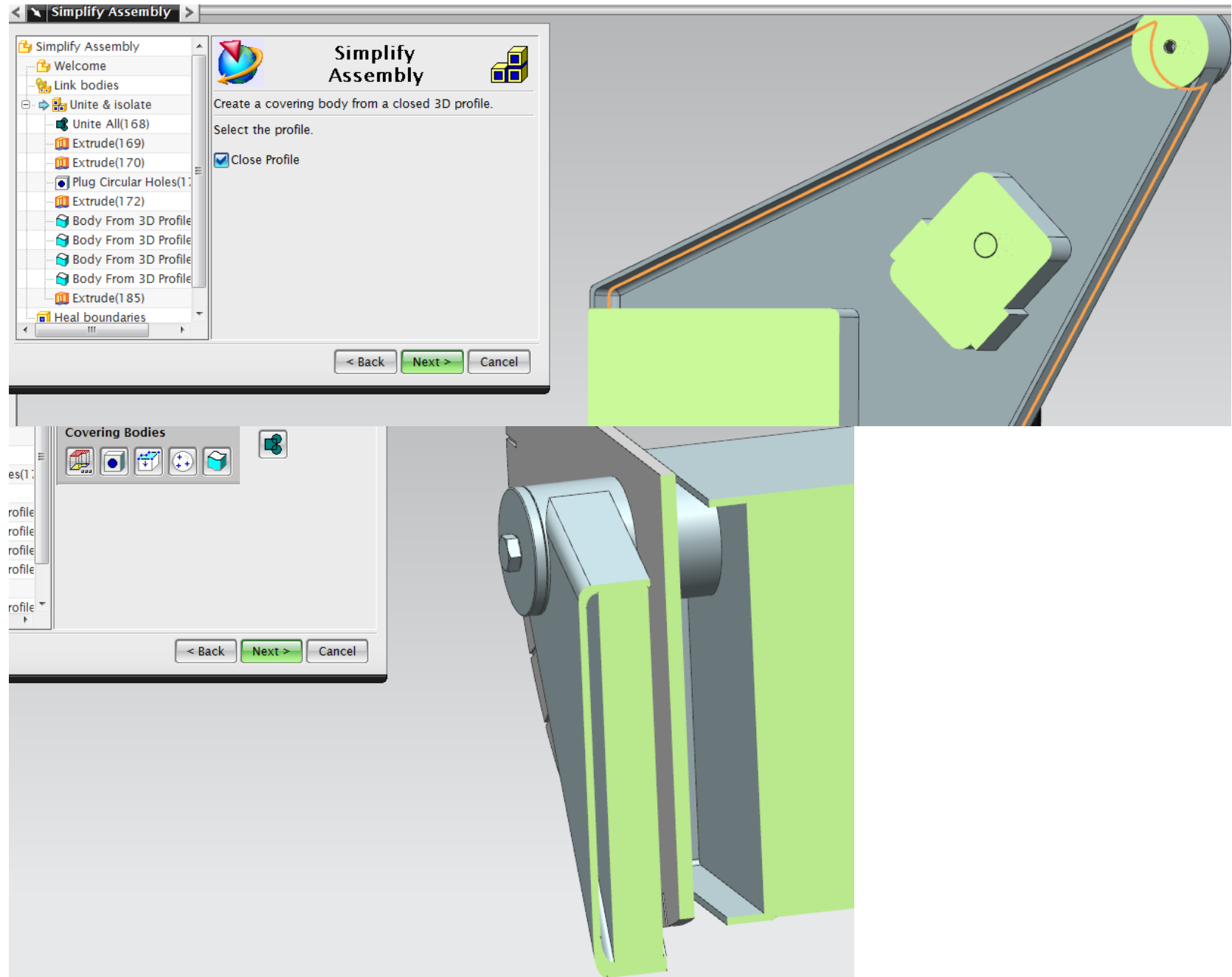
Next nappulan jälkeen tulee viimeinen kohta, jossa valitaan pursotukseen liittyvä


kappale ja  **Unite** mikäli tarkoituksena on lisätä eikä vähentää tavaraa.



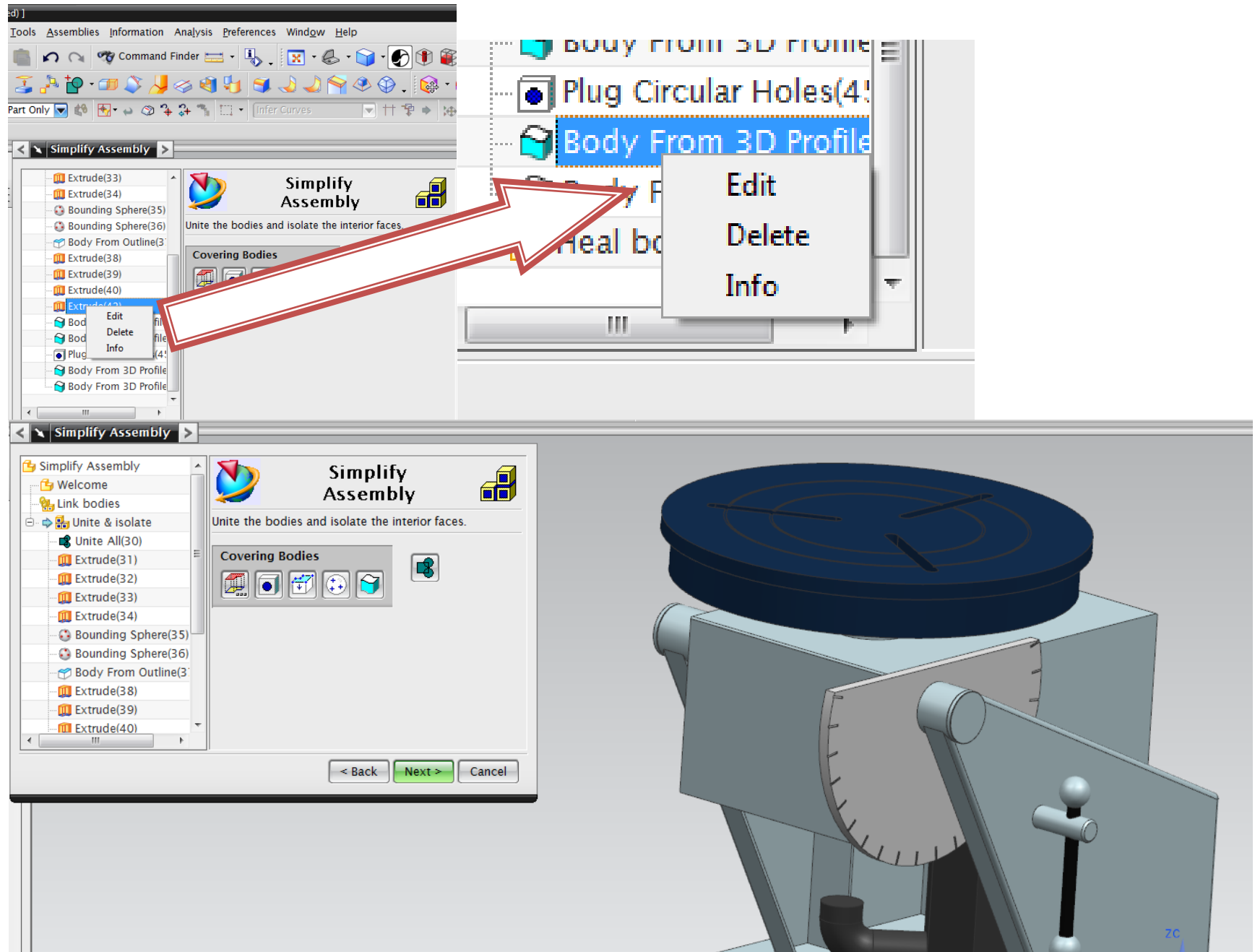
- 13 Joissain tapauksissa pursotus ei onnistu kerralla, jolloin yksinkertaistettua mallia joudutaan pursottamaan kahdessa osassa.

Tarkistettaessa on hyvä käyttää Section – työkalua (Ctrl + H)



- 14  Painamalla hiiren oikeaa näppäintä Simplify Assemblyn tehtyjen muutosten kohdalla pystyt muokkaamaan, poistamaan tai tarkastamaan muutoksen tiedot.

Kun painat Next – nappulaa kaikkien muokkausten jälkeen, niin pääset Heal Boundaries Valikkoo.

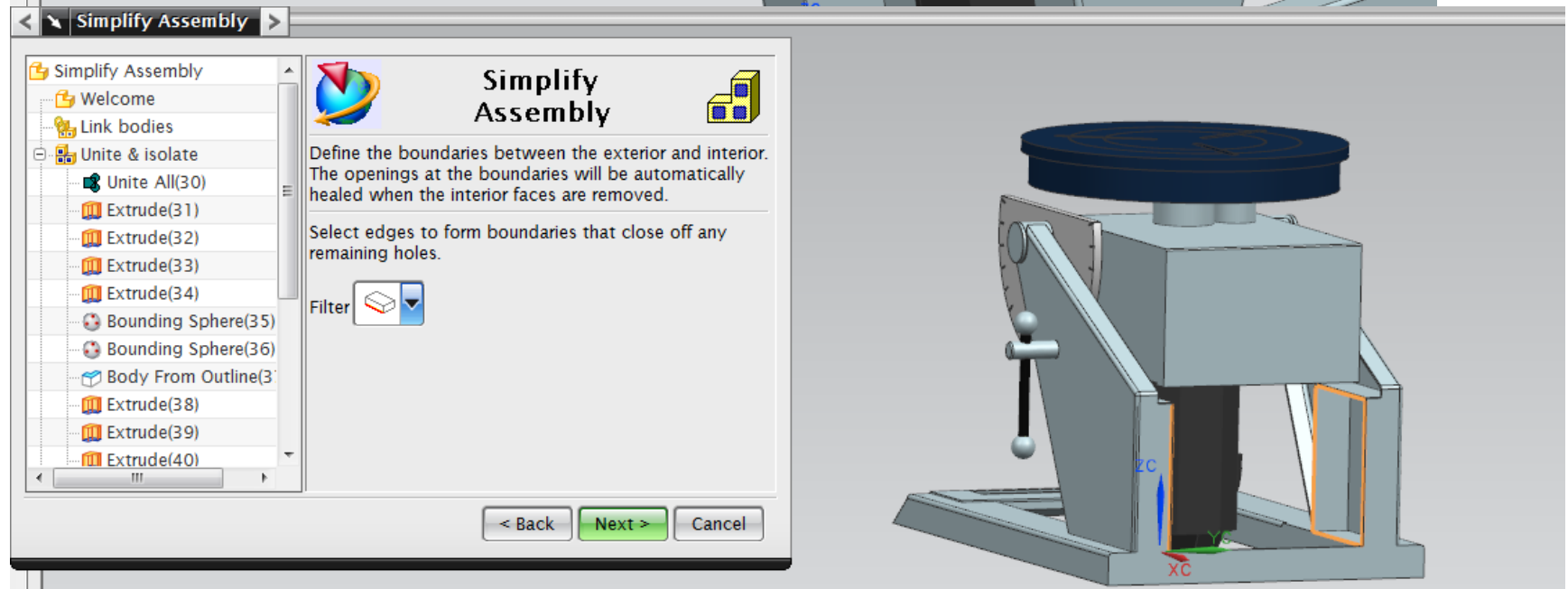
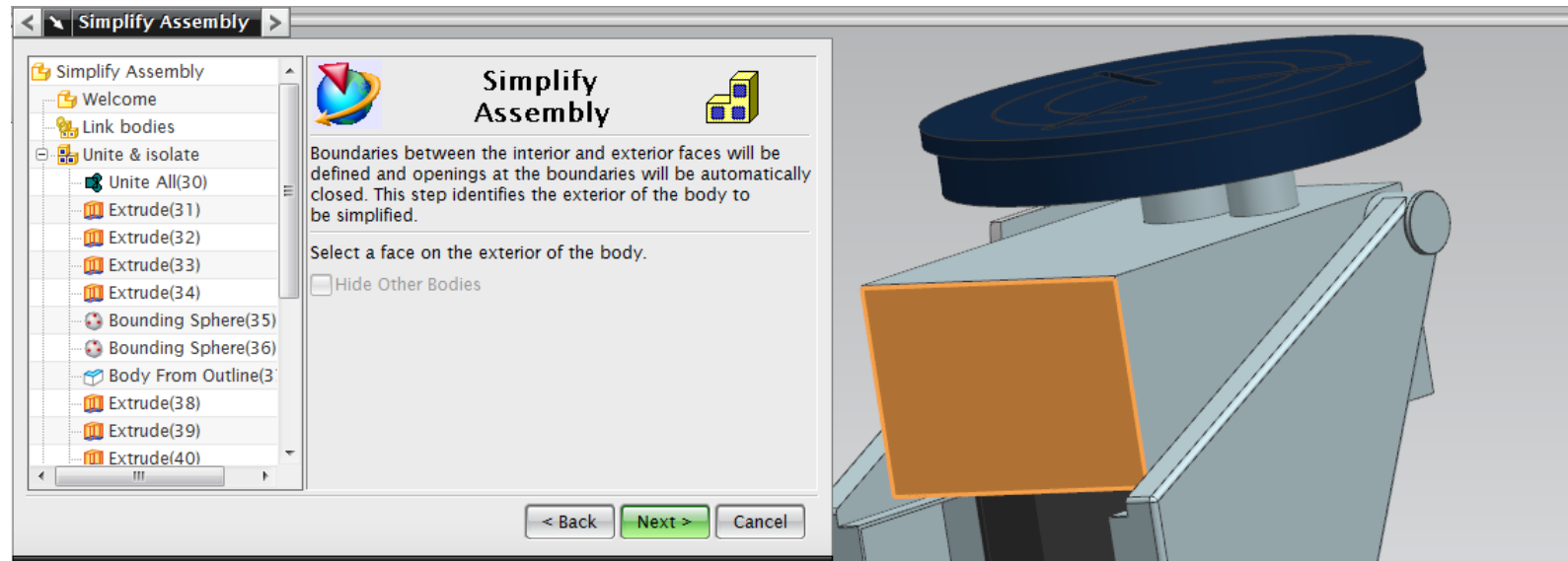


15 Tämä vaihe tehdään yleensä lopuksi. 3D-mallista katsotaan, että mitkä piirteet ovat 3D-mallin sisällä ja mitä ulkona.

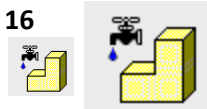
Mallin "vesitiiveys" testataan, mutta se ei ole pakollista, mikäli on esimerkiksi yksikertaistanut mallin täysin solidiksi käyttämällä pelkkää pursotusta.

Aluksi valitaan yksi seinämä kappaleen ulkopuolelta.

Seuraavaksi päästään valitsemaan mahdollisia paikkauskohtia. Viereisessä kuvassa nähdään yksi paikka, mikä on jäänyt täyttämättä. Valitsemalla reiän reunan saadaan se merkattua täytettäväksi.



16

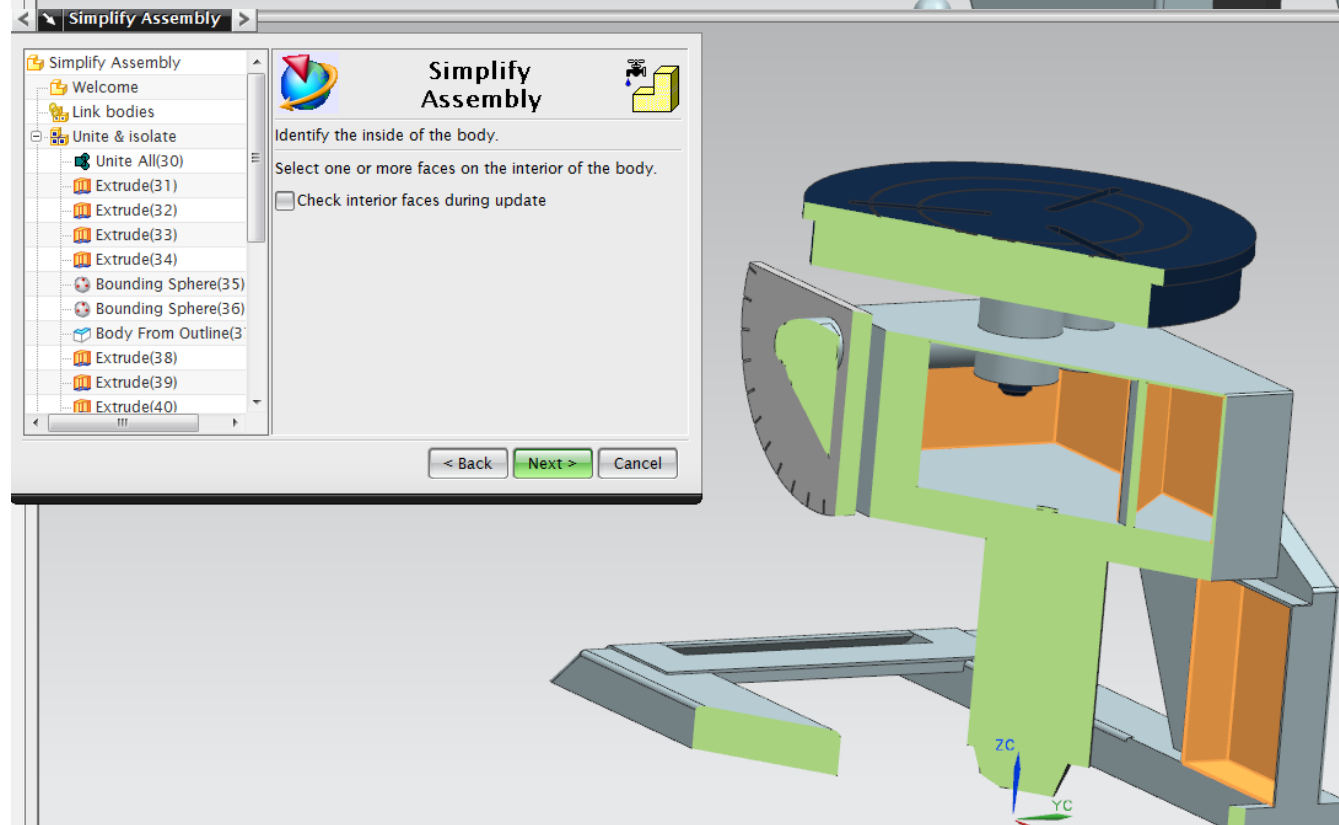
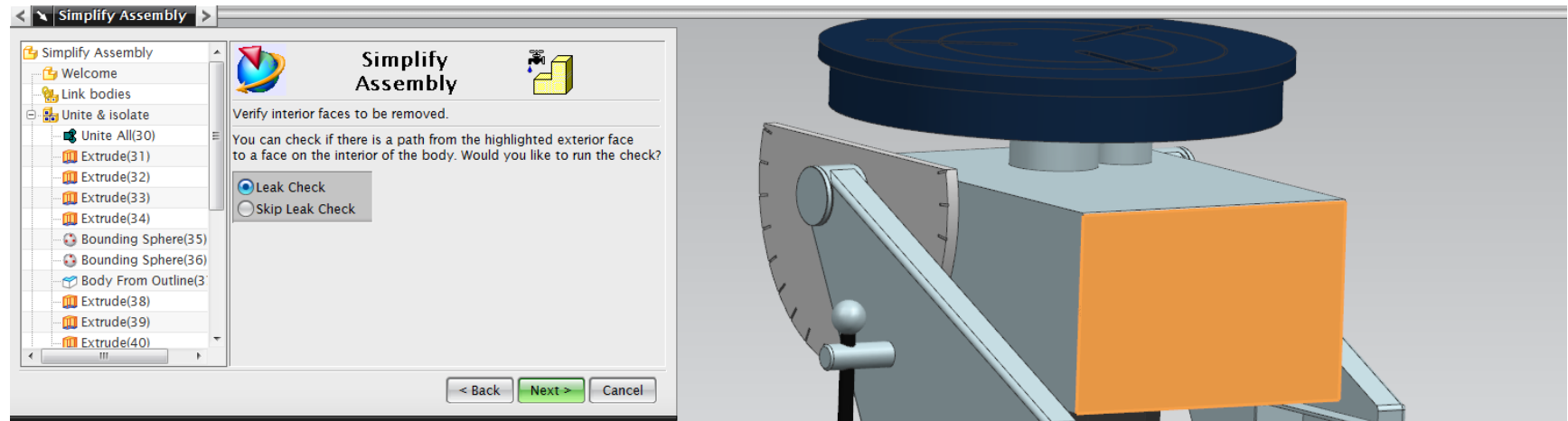


Tämän vaiheen tarkoituksena on selvittää mitkä tasot 3D-mallissa ovat sisällä ja mitkä tasot siitä ovat ulkopuolella.

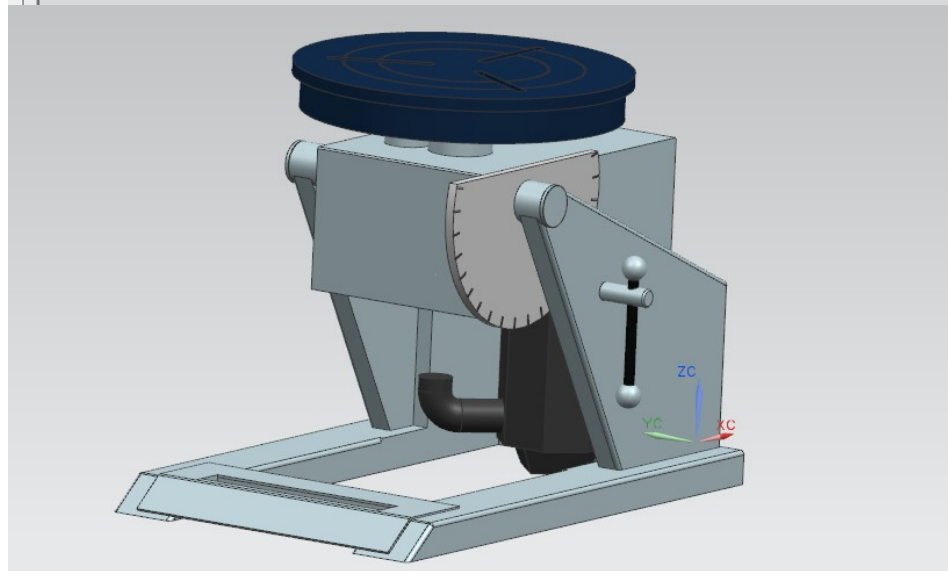
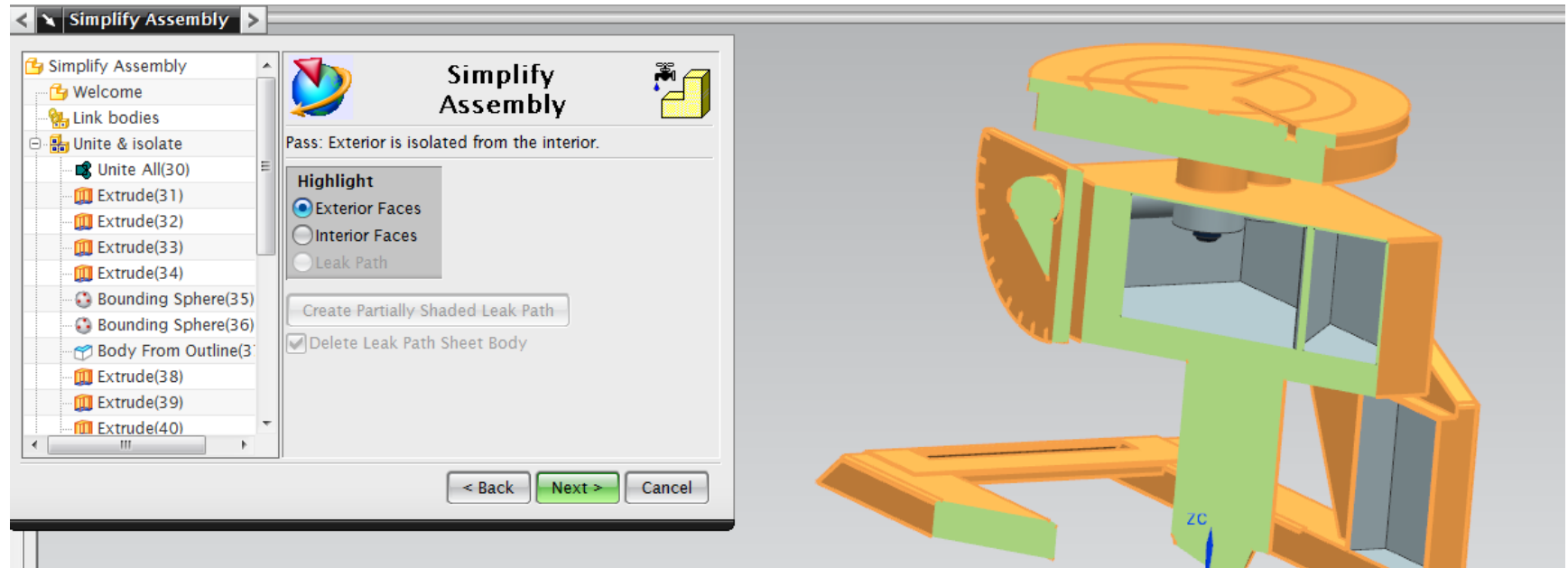
Leak Check kannattaa tehdä, mikäli kappaleessa on vielä onttoja kohtia.

Vieressä olevassa kuvassa on tasojen valinta menossa. Kaikkia tasoja ei tarvitse valita.

Huom. Tässä vaiheessa on erityisen tärkeää, että osat ovat kiinni toisissaan esim pursotusten avulla.



- 17 Mikäli Leak Check on onnistunut, niin valikkoruudussa lukee Pass: Exterior is isolated from the interior.



- 18 3D-mallista pystytään tekemään yleensä pienempi malli myös 3D-tulostimen omilla ohjelmilla, mutta 3D-mallin skaalaus ja tarkistaminen on joskus paikallaan, sillä mikäli jokin seinämä on esimerkiksi jäänyt liian pieneksi pystytään siihen tekemään muutoksia **Synchronous Modeling** –työkalujen avulla helposti.

Scale body löytyy:
 Insert ->
 Offset/scale->
 Scale Body



The image displays a CAD software interface with two dialog boxes open over a 3D model of a mechanical part.

Scale Body Dialog:

- Type: Uniform
- Body: Select Body (1)
- Scale Point: Specify Point
- Scale Factor: Uniform, 0.1
- Buttons: OK, Apply, Cancel

Measure Distance Dialog:

- Type: Distance
- Start Point: Select Point or Object (1)
- End Point: Select Point or Object (1)
- Measurement: Distance, Minimum, Always Exact checked
- Associative Measure and Checking: Associative unchecked, Requirement: None
- Results Display: (dropdown)
- Settings: (dropdown)
- Buttons: < OK >, Apply, Cancel

Synchronous Modeling Panel:

- Buttons: (various icons for synchronous modeling operations)

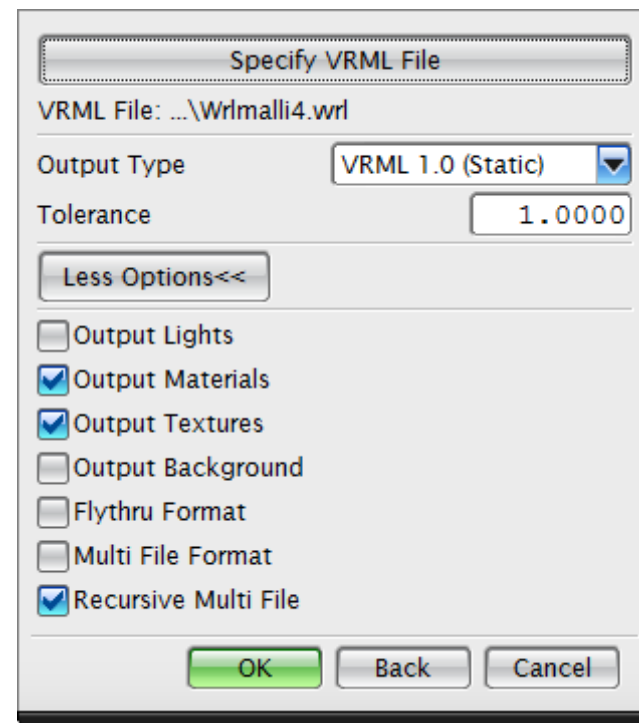
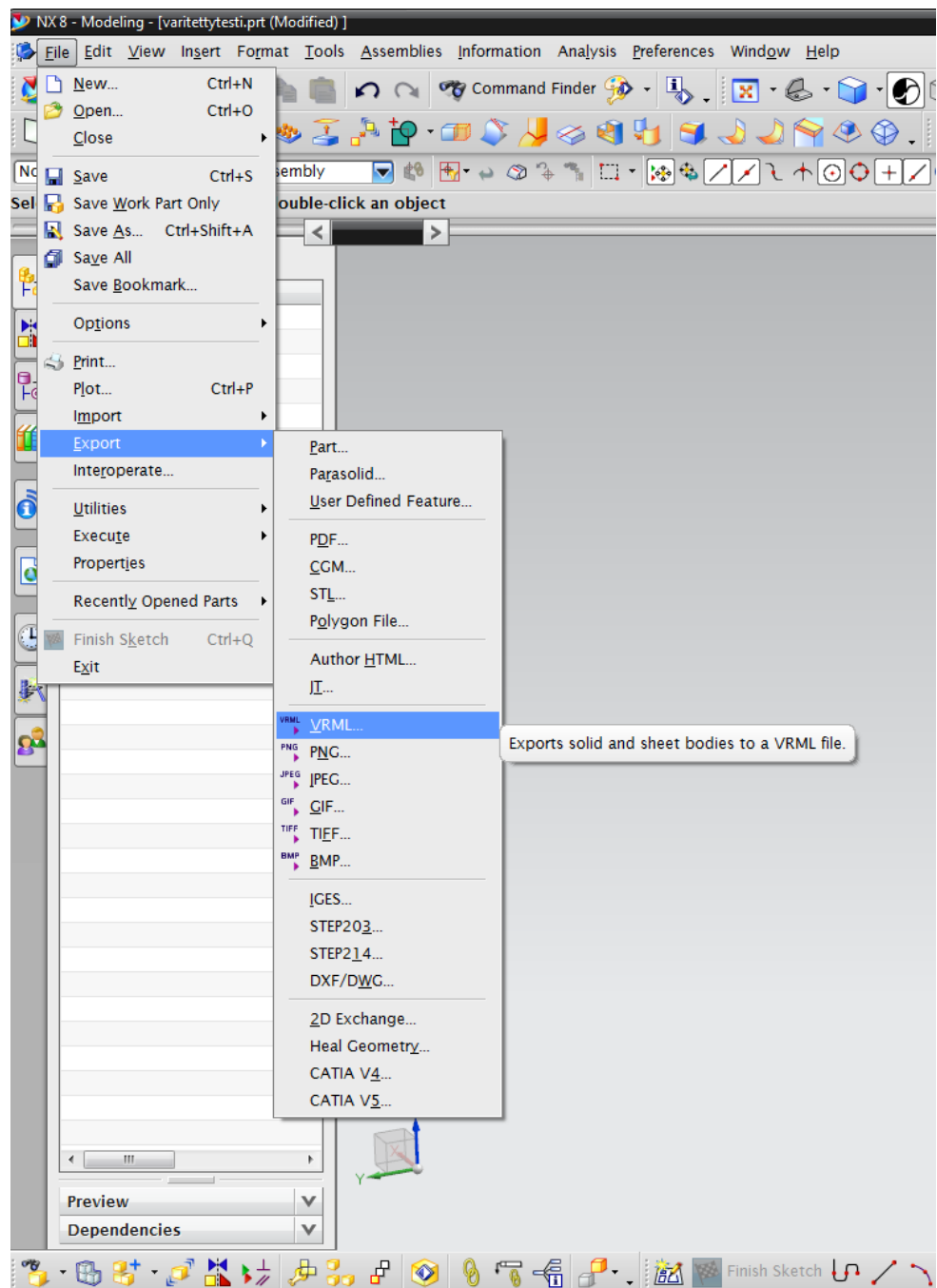
3D Model:

- Top view of a circular part with a diameter dimension of 1.5000 mm.
- Coordinate system (X, Y, Z) is visible.

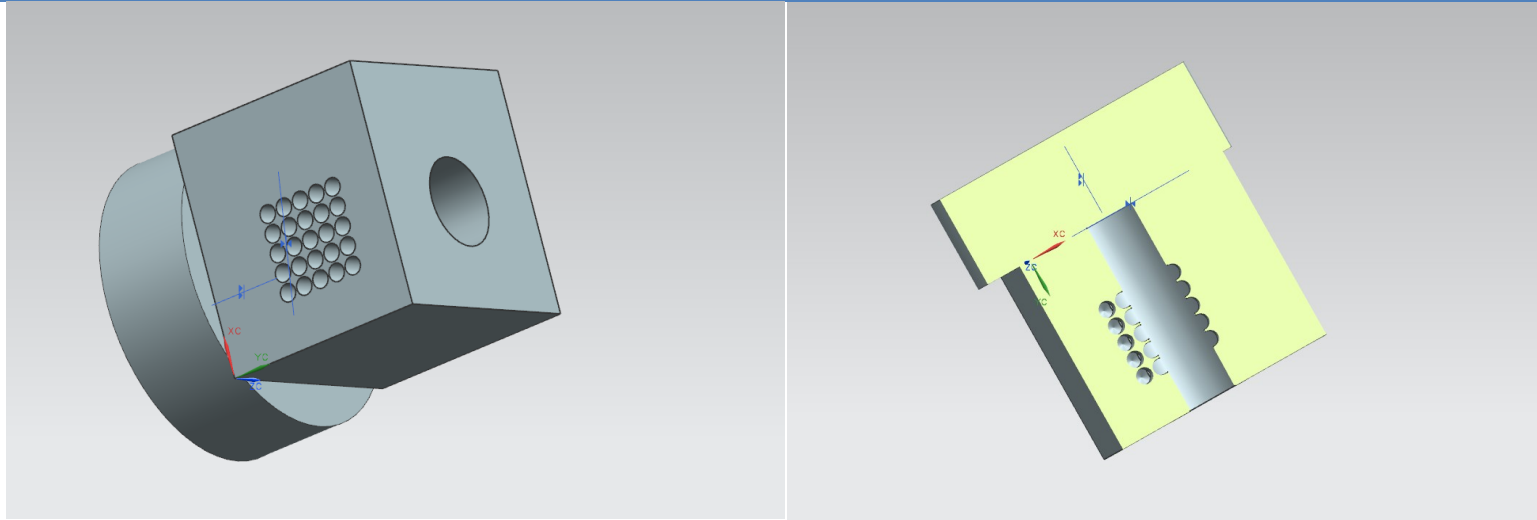
19 Export valikosta löytyy mm. Stl ja VRML tiedostomuoto. Nämä kaksi tiedostomuotoa ovat melko hyvin tuettuja eri tulostimilla.

VRML tukee värejä ja on hyvä muoto siinä vaiheessa kun on tarkoitus käyttää värillistä 3D-tulostinta. Asetuksista kannattaa katsoa, että esimerkiksi valon suuntaa ei siirretä kappaleeseen, sillä se yleensä vääristää värejä 3D-tulostimen muokkausohjelmitossa. Kappaleen taustan sisällyttämisestä ei myöskään ole hirveästi iloa.

STL –muoto on yleisin ja sopii lähes kaikkiin markkinoilla oleviin 3D-tulostimiin.



Linked Exterior



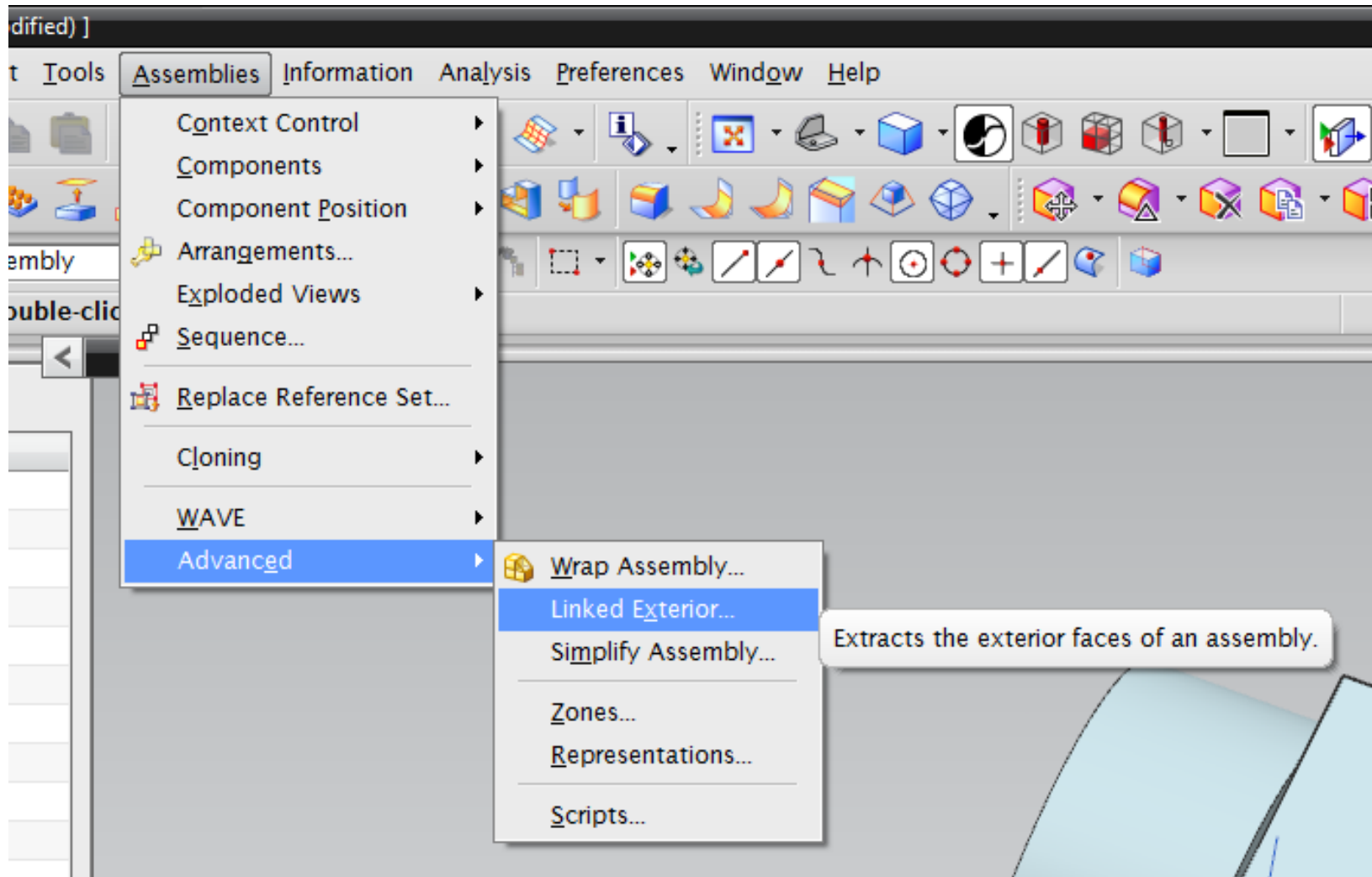
Tässä näkyy pikaisesti tehty 3D-kokoonpanomalli, mikä yksinkertaistetaan käyttäen Linked Exterior-käskyä. Mallista tullaan poistamaan reiät ja sisusta


Linked exterior käskyn avulla saadaan NX:ssä kappaleen tai kokoonpanon ulkopinnoista yksi piirre, joka pystytään muokkaamaan umpinaiseksi kappaleeksi. Ongelmia tulee suurimmaksi osaksi siitä, että kappaleiden kuoret ovat pelkästään linked exterior –työkalua käytettäessä eri osia. Tämä aiheuttaa suuria ongelmia siinä vaiheessa, kun kappaleelle yritetään saada muitakin kuin pelkät kuoret.

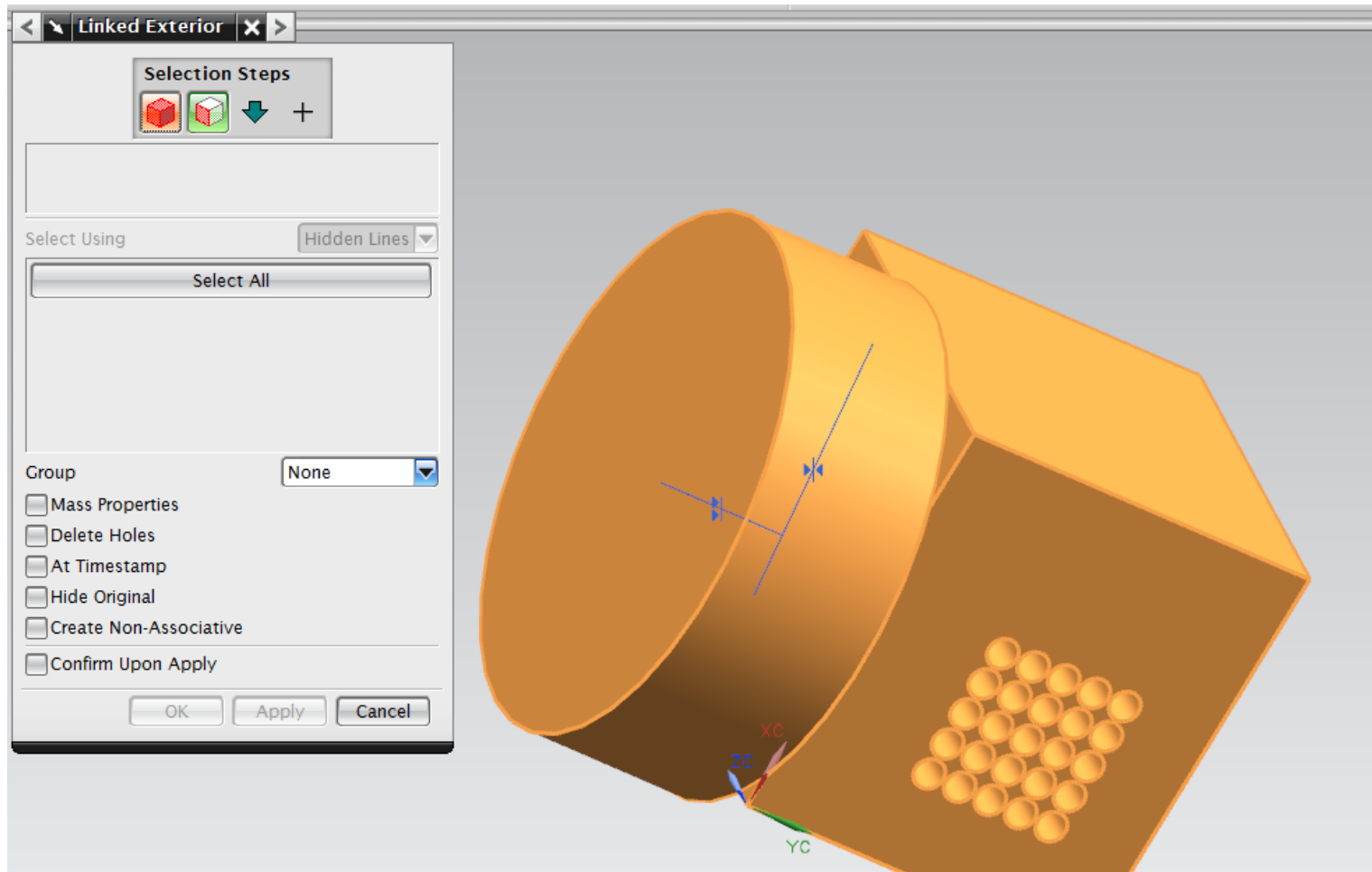
Yksinkertaisimmin kuorien paksuntaminen onnistuu Thicken –työkalulla, joka paksuntaa kuoria joko ulospäin tai sisälle päin. Riippuen kuoren muodosta kappaleen sisälle saattaa jäädä tyhjää tilaa, mutta siitä ei ole välttämättä mitään haittaa tulostaessa, mutta se on kuitenkin hyvä ottaa huomioon monessa eri tapauksessa. Pääasiassa tämä yksinkertaistamistapa toimii vain hyvin yksinkertaisille kappaleille ja silloinkin kaikki ei välttämättä toimi, niinkuin pitää.

1 Linked Exterior
työkalu löytyy

Assemblies ->
Advanced ->
Linked Exterior



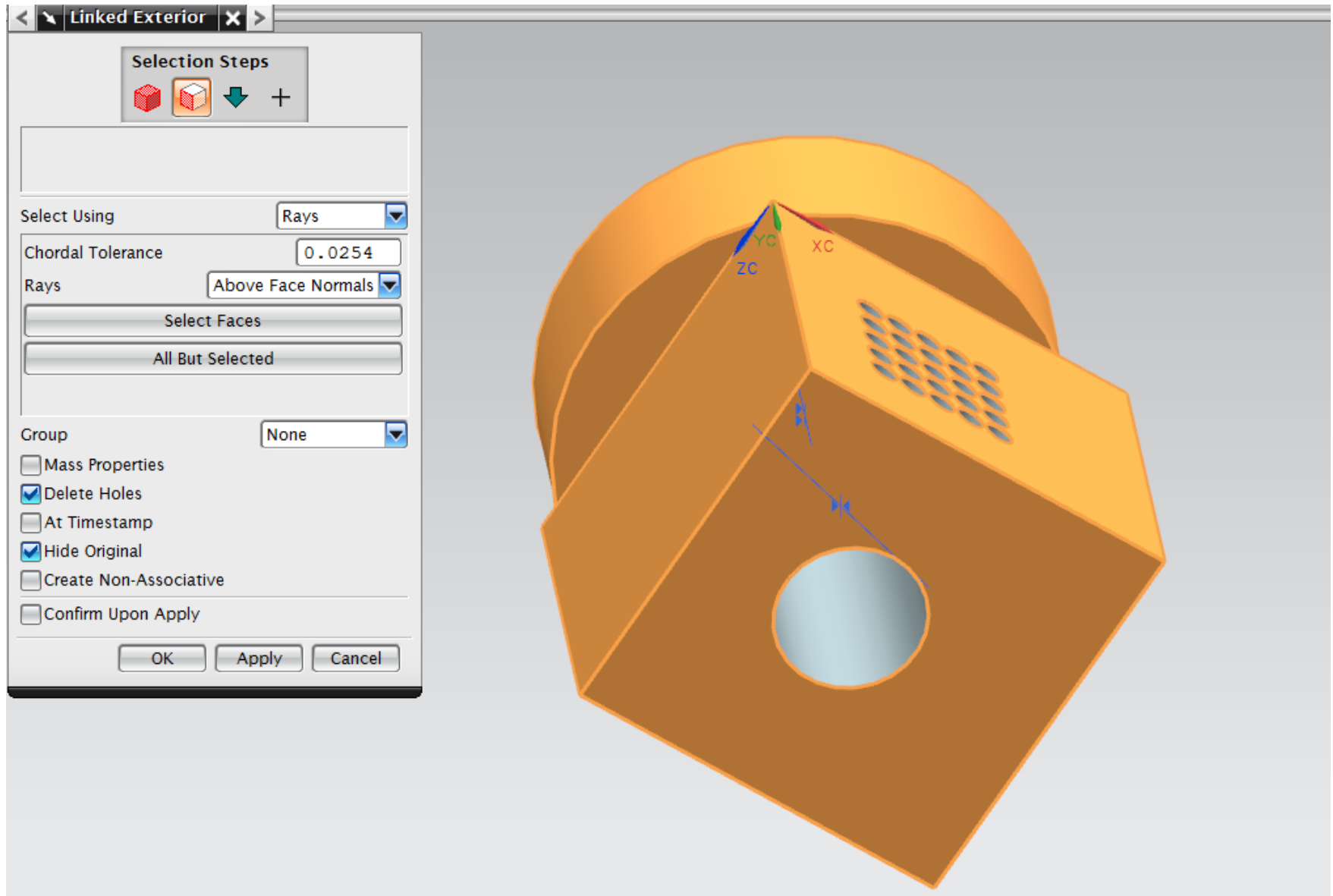
- 2 Valitaan kokoonpanon osat ja painetaan hiiren keskinappia tai vaihtoehtoisesti  exterior faces



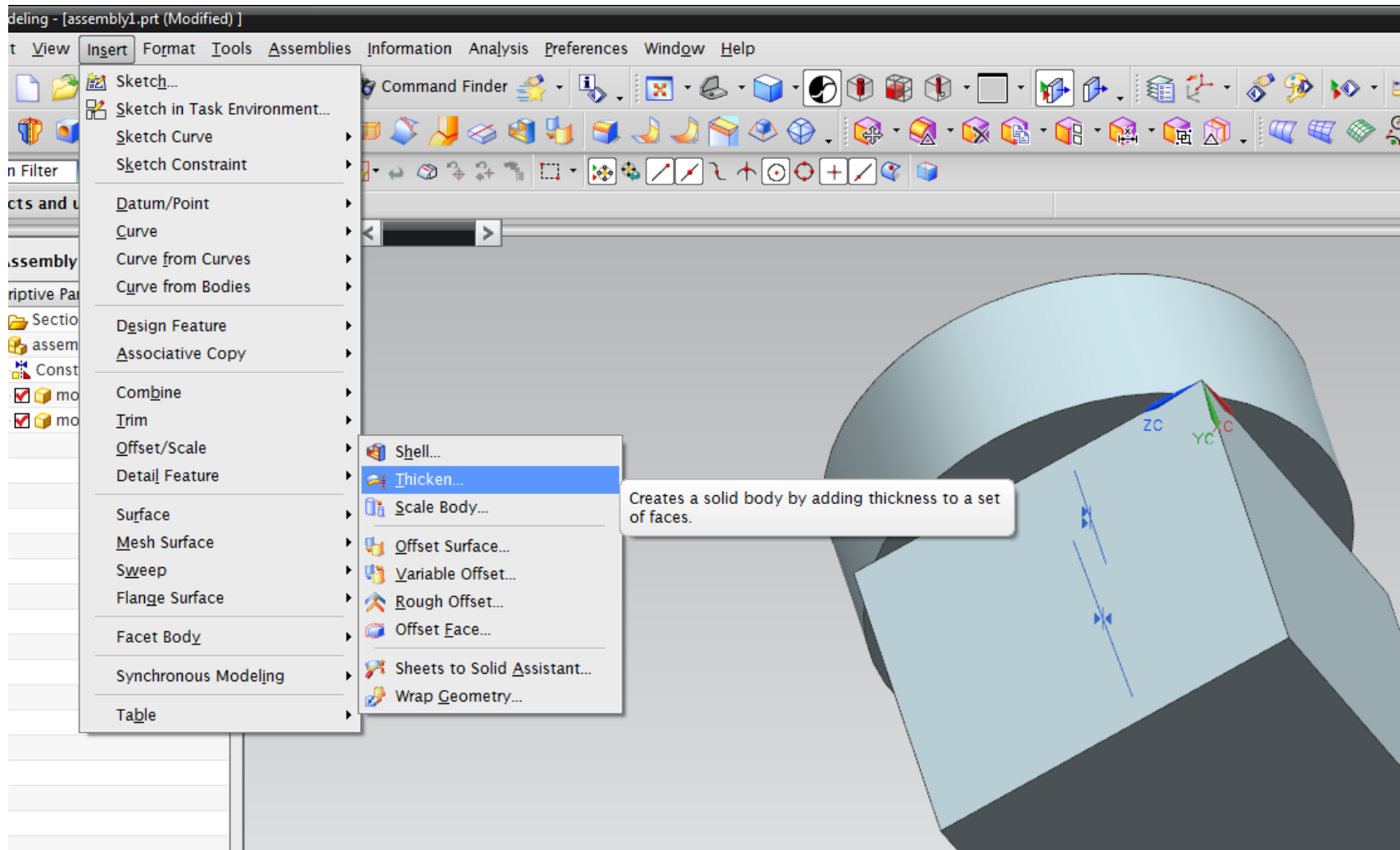
- 3 Valitaan kokoonpanon ulkopinnat, joiden pohjalta saadaan tehtyä kiinteämpi kappale.

Valitse Delete Holes, että reiät eivät tule mukaan ja Hide original, jolloin alkuperäiset kappaleet piilotetaan automaattisesti.

Tämän jälkeen voidaan painaa OK

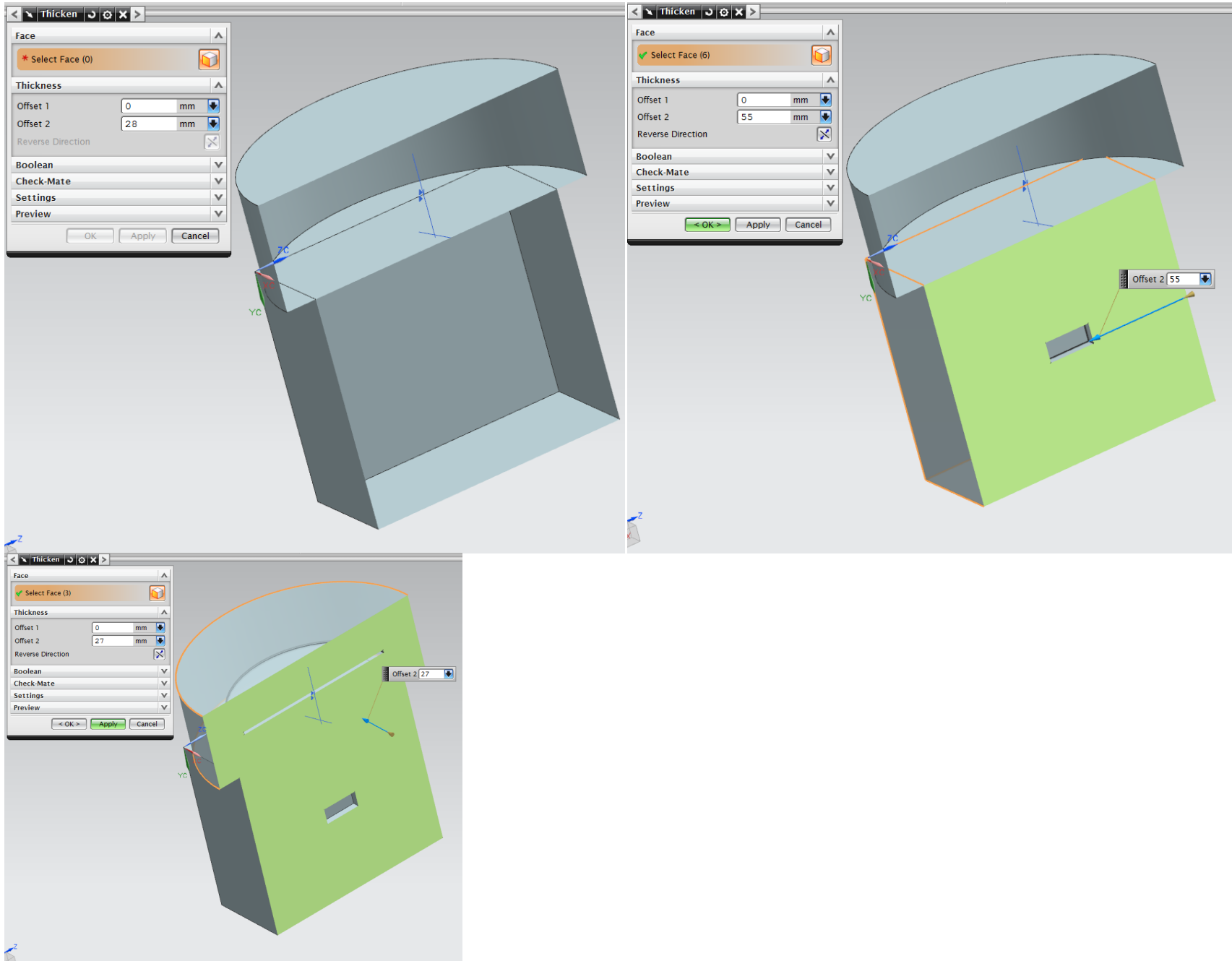


- 4 Nyt 3D-mallista on jäljellä enää kuori, joten voimme alkaa muokkaamaan sitä Thicken -työkalulla



- 5 Thicken käsky joudutaan tekemään kahdessa eri osassa, että suoritus onnistuu.

Ongelmana tässä on ainoastaan se, että nämä kaksi erillistä 3D-mallia sisältävät todellakin omat kuorensa, jolloin varsinkin .stl – muotoon viessä voi kyseisen tiedostomuodon olla vaikea määrittellä mikä on ulkopintaa ja mikä sisäpintaa.



Mallien muokkaukset ovat suurimmaksi osaksi pelkästään erinäisiä pursotuksia ja jotkin kappaleet onkin helpointa muokata käyttäen esimerkiksi **Synchronous Modeling** – työkaluja.

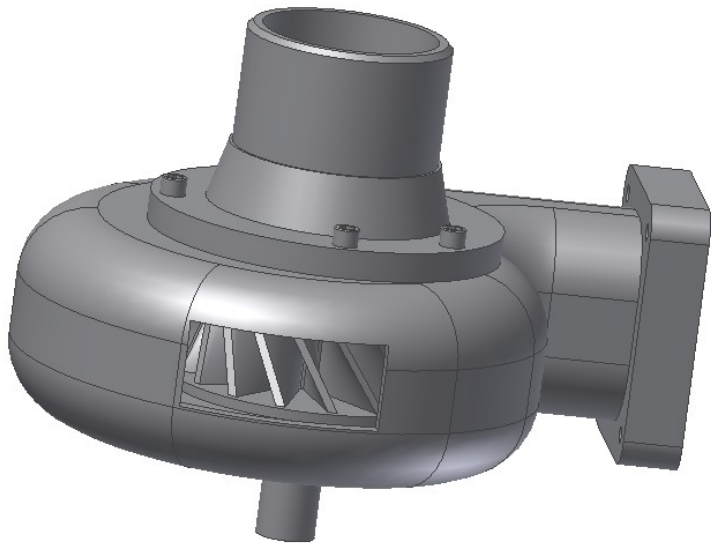
Tärkein ja tähän mennessä toimivin työkalu 3D-mallien muuttamiseksi umpinaiseksi on Simplify Assembly. Sen käyttäminen saattaa aluksi tuntua hieman vaivalloiselta, mutta tottumisen jälkeen työskentely sen avulla ei ole vaikeaa, kuten monessa muussakin asiassa mallinnuksen kanssa työskenneltäessä. Aivan jokaisessa kokoonpanomallissa ei ole välttämätöntä käyttää Simplify Assembly –työkalua. Joskus sen käytöstä ei ole mitään apua ja joskus se on lähes välttämätöntä. Työkalun käyttö riippuukin tulostettavasta mallista ja sen vaatimuksista.




Tämä ohje on tehty Siemens NX 8.0 –ohjelmiston toimintoja silmällä pitäen.

3D-tulostettavien kappaleiden muokkaus

Autodesk Inventor Professional 2012

Kokoonpanojen yksinkertaistamiseen ei löydy Inventorista kovinkaan hyviä työkaluja, mutta mikäli malli ei ole liian monimutkainen, niin siitä saadaan tehtyä yksinkertainen ja hyvin tulostuva. Toimenpide on melko nopea eikä se vaadi hirveästi aikaa. Inventorin Shrinkwrap –työkalu on alun perin tarkoitettu vain osien yksinkertaistamiseen esim. suurissa kokoonpanoissa, joiden ei ole tarvinnut olla liian yksityiskohtaisia. Yksinkertaistaminen on siinä tapauksessa säästänyt tietokoneen muistia ja keventänyt ison kokoonpanomallin käsittelyä.



1	Aloitus
2-3	Kolojen paikkaaminen  
4-7	Shrinkwrap 
8-9	Toteuttaminen ja tiedostoformaatin muuttaminen

Kuvassa oleva 3D-kokoonpano malli yksinkertaistetaan niin, että sivussa oleva ikkuna ja kaikki reiät ovat umpinaisia. Ruuvit poistetaan kokoonpanosta, akselin pätkä ja samoin myös kaikki reiät.

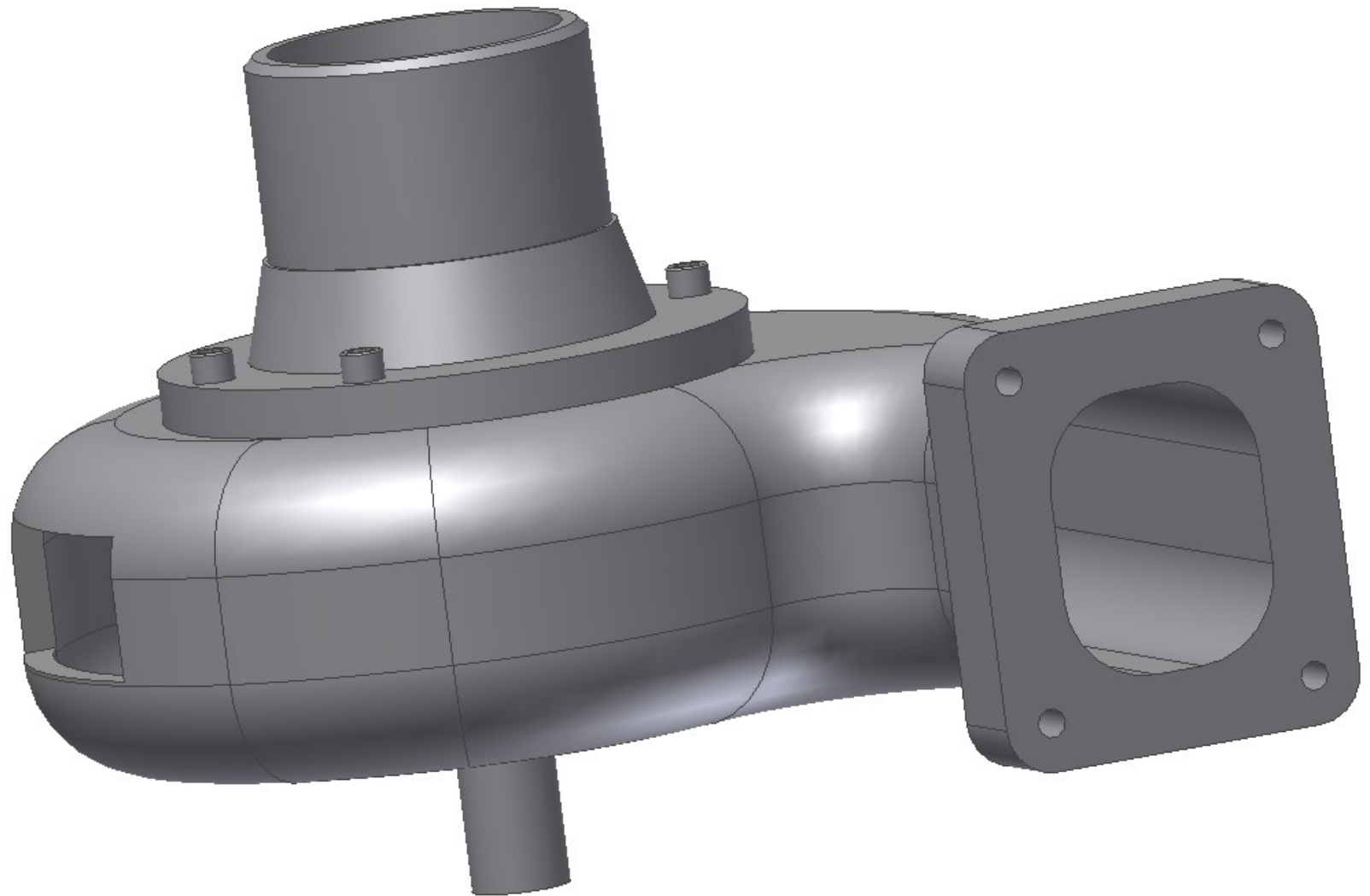
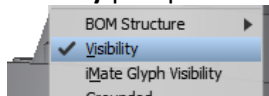
1

Ensimmäisenä otetaan esille kokoonpanomalli.


Kokoonpano mallissa huomataan että se ei ole vesitiivis, vaan siitä pitää peittää kaikki kolme suurta reikää.

Ylhäällä olevalle pyöreälle reiälle ei tarvitse tehdä mitään, sillä se tukkiutuu automaattisesti Shrinkwrap –työkalun avulla.

Huom. Kaikki osat mitä ei haluta yksinkertaistettuun 3D-malliin voidaan jättää pois klikkaamalla hiiren oikeaa nappia osan päällä ja laittamalla **visibility** pois päältä:

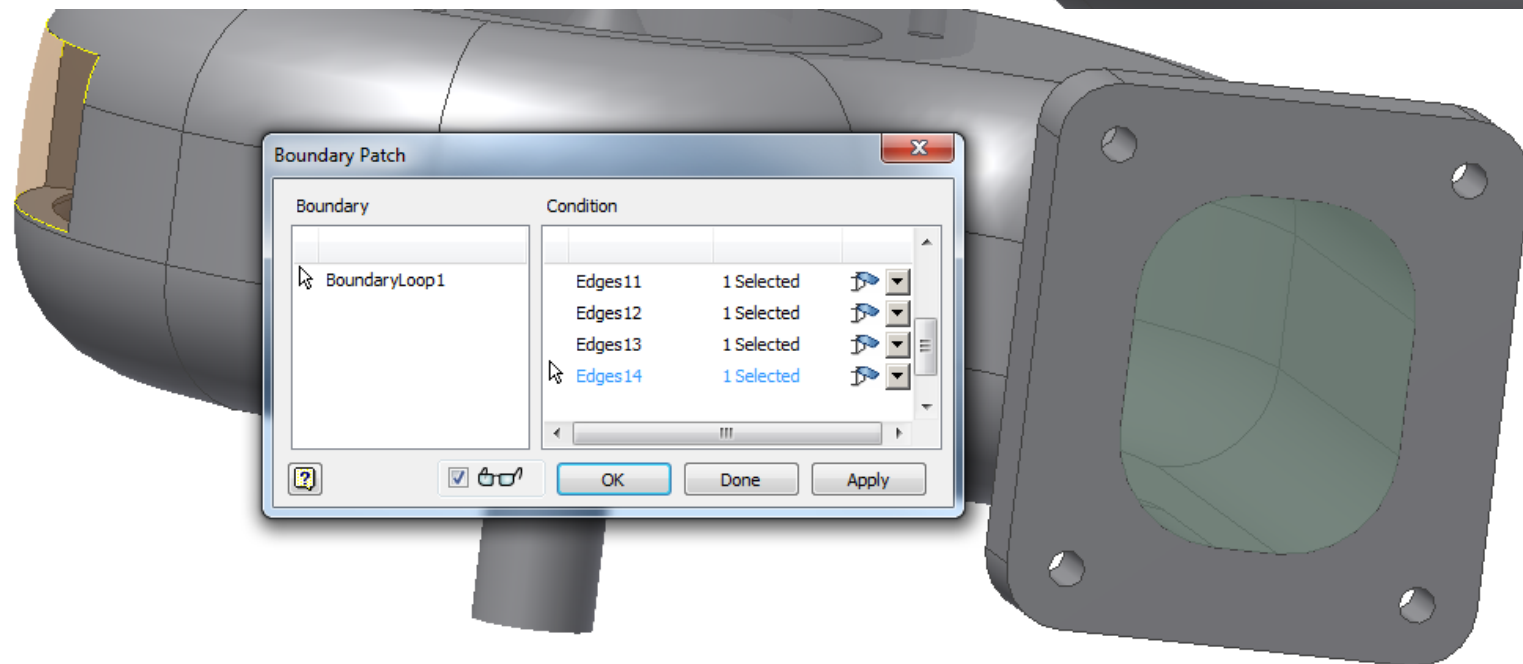
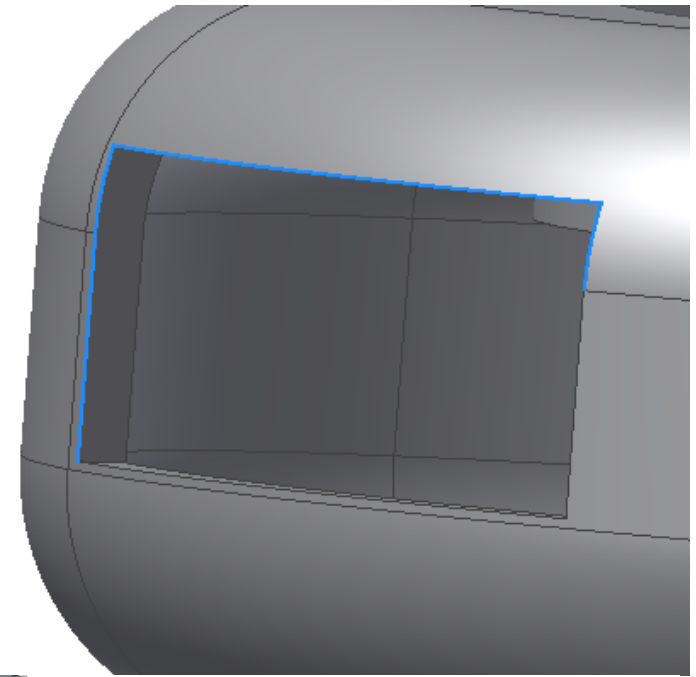
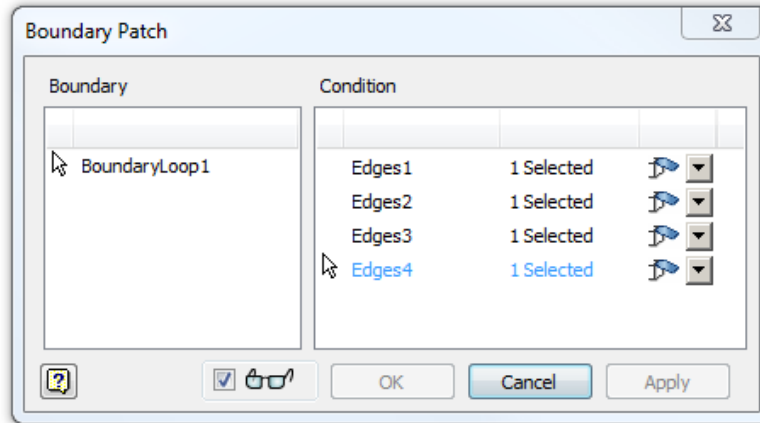


2


Valitaan osista runko aktiiviseksi ja valitaan työkaluvalikosta  Patch.

Patch –työkalun avulla valitaan paikattavan reiän reunat ja painetaan Apply tai Done.

Reikien päälle tulee punertava kalvo, mikä paksunnetaan tämän kohdan jälkeen

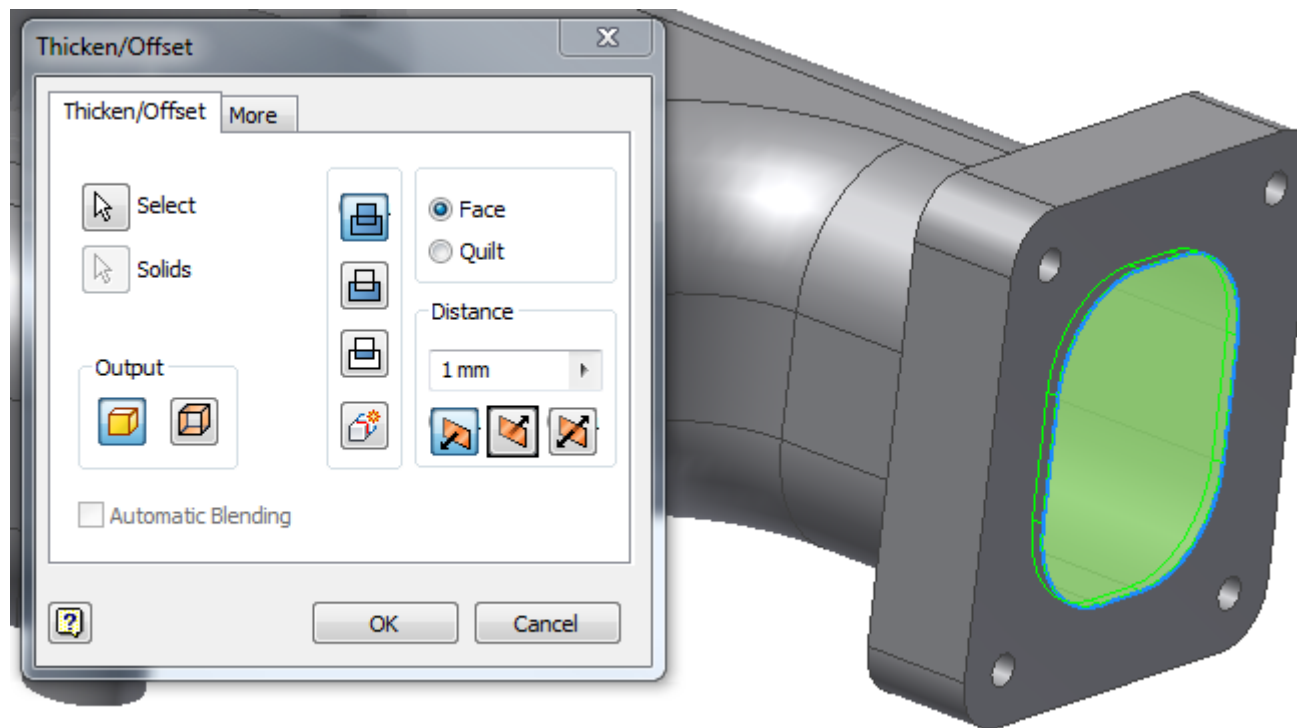


3


Paikattavat kohdat paksunetaan  **Thicken/Offset** – työkalulla.

Valitaan paksunnettava pinta ja annetaan sille paksuus.

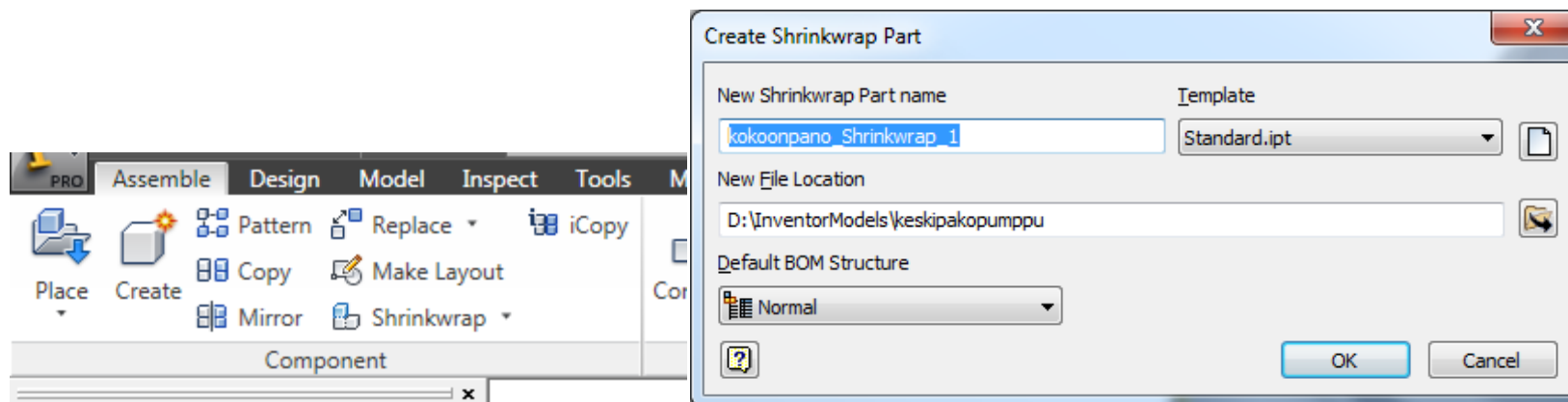
Tämän jälkeen voit siirtyä takaisin kokoonpanonäkymään



4


Kokoonpano näkymässä valitset  **Shrinkwrap** – työkalun.

Valinnan jälkeen aukeaa ikkuna, missä voit antaa yksinkertaistetulle kokoonpanolle nimen ja tallennuskansion.




5


Shrinkwrap:ssä on neljä eri tyyliä yksinkertaistaa malli.

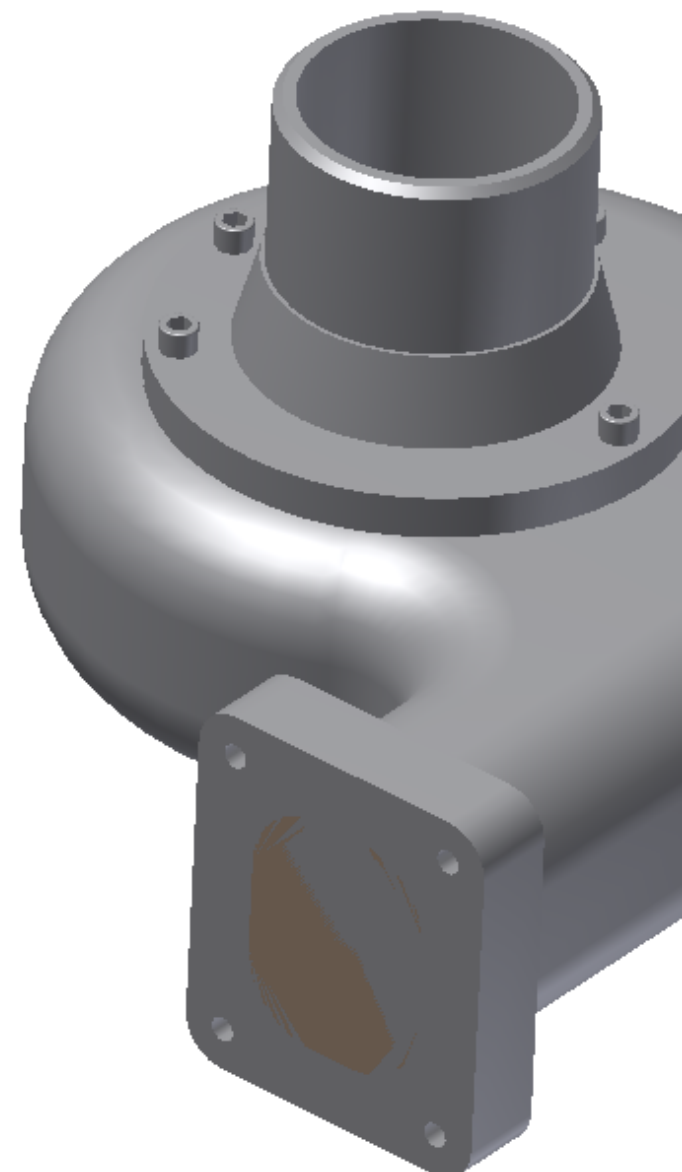
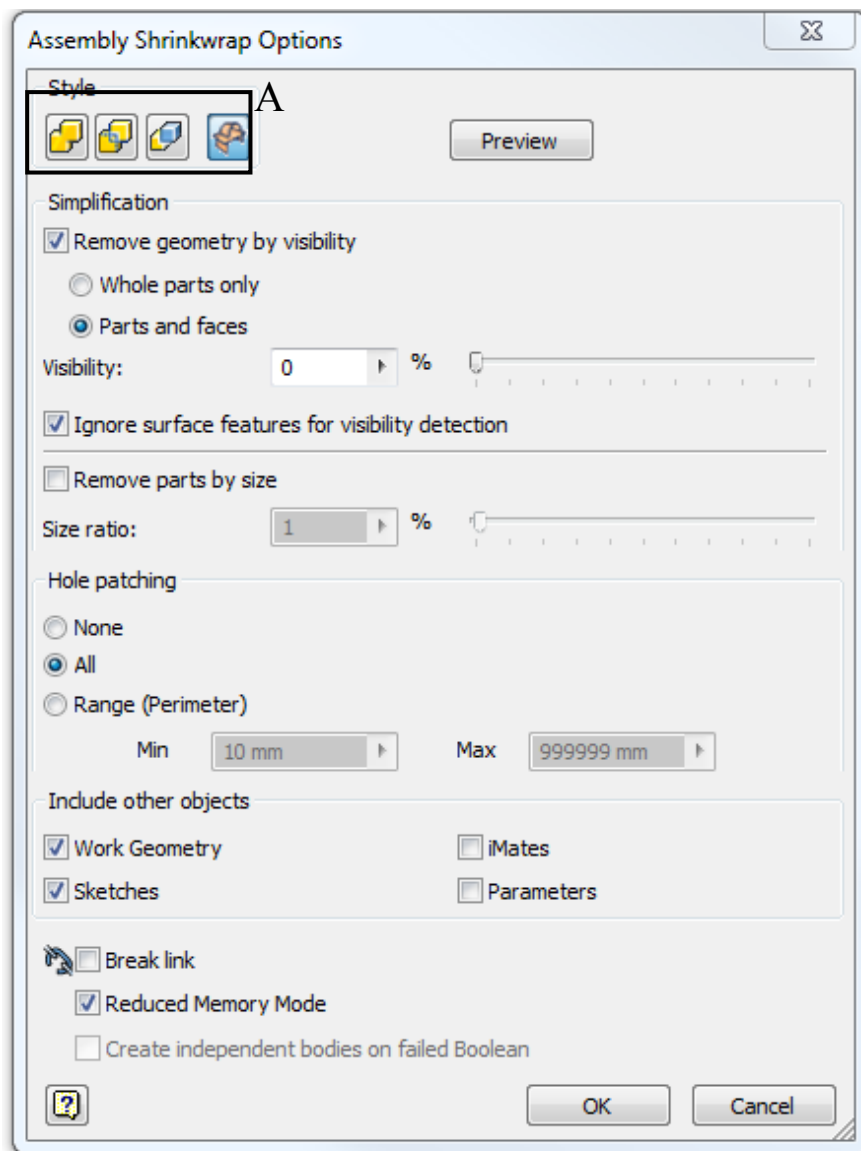
 sulauttaa kaikki osat yhdeksi kokonaisuudeksi.

 pyrkii säilyttämään kappaleiden rajat.

 pyrkii säilyttämään solidit ehjänä.

Kaikki nämä kolme tyyliä kuitenkin täyttää ontot tilat.

 Tämän avulla pystytään poistamaan yksittäisiä piirteitä, kuten pintoja.



6

Remove geometry by visibility (A)

Tämän avulla voidaan poistaa joko kokonaisia kappaleita tai kappaleen pintoja sen näkyvyyden mukaan.

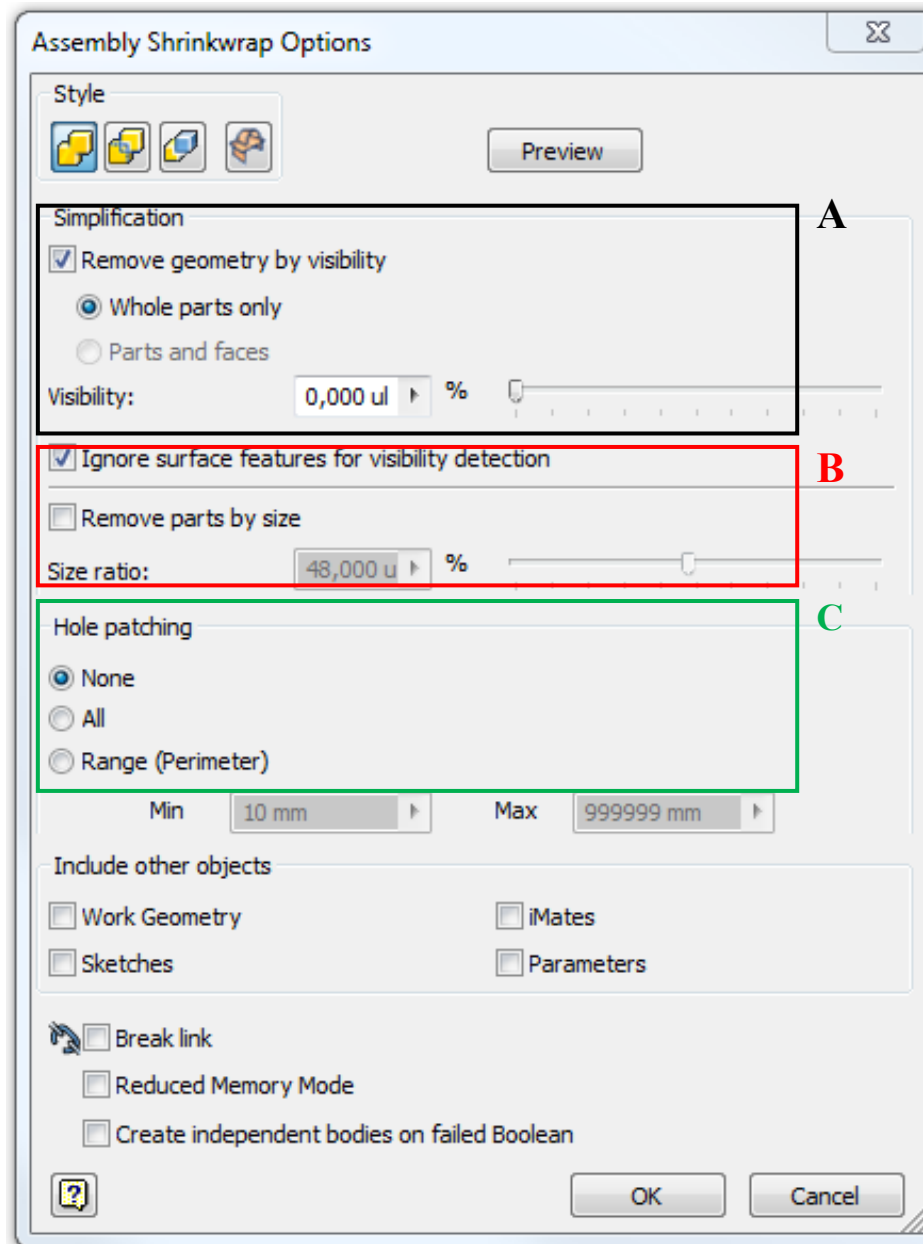
Remove parts by size (B)

Tällä poistetaan osia niiden koon niiden koon perusteella.

Hole patching (C)

Reikien poisto onnistuu joko poistamalla yksinkertaisesti kaikki reiät tai sitten valitsemalla reikien minimi ja maksimi koot.

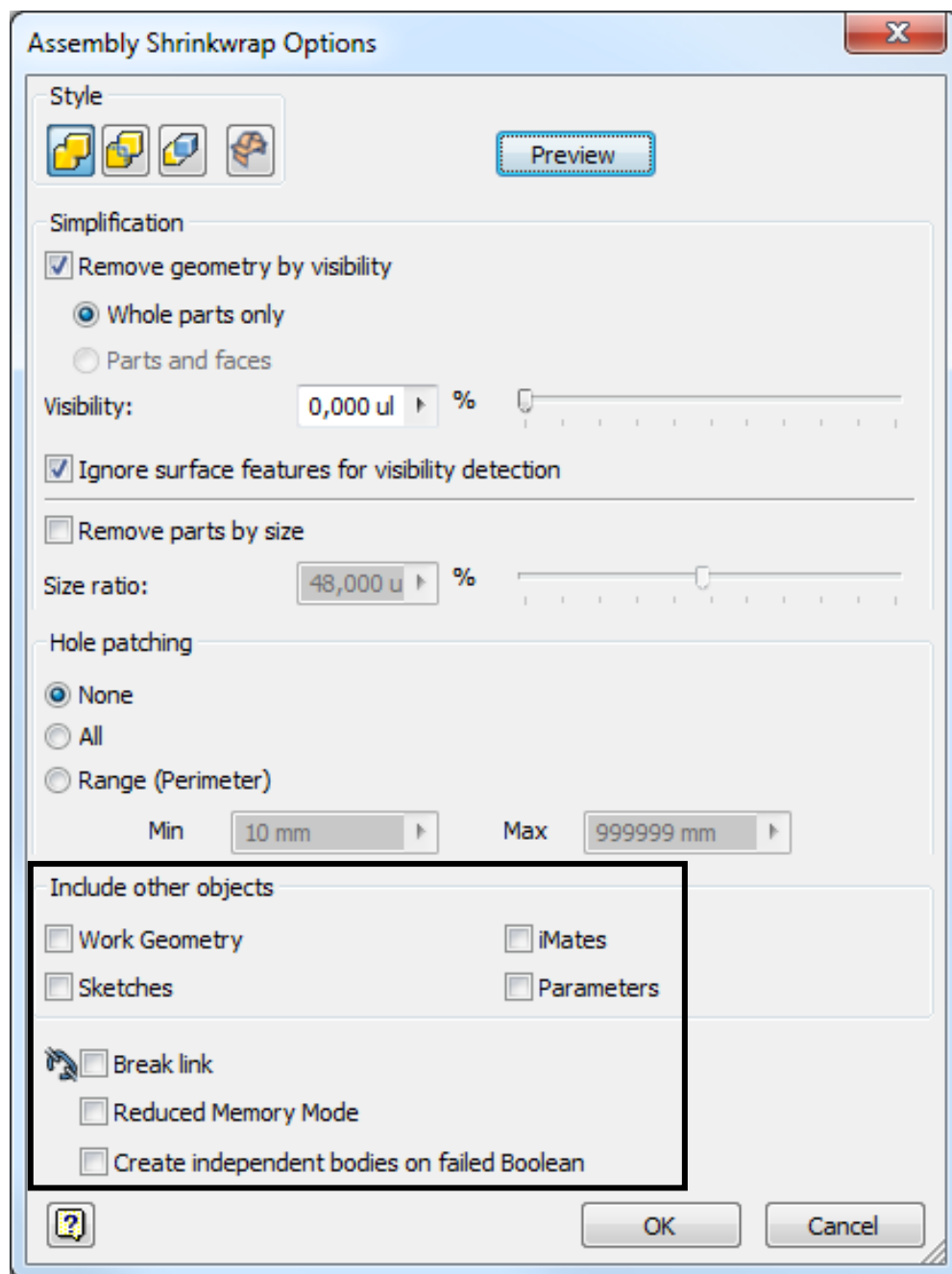
Huom. Kaikkia näitä muuteltaessa on hyvä tarkastaa tilanne aina käyttämällä **Preview** nappia



7

Näistä ei ole hirvittävästi hyötyä muokatessa 3D-mallia 3D-tulostusta varten.

Reduced Memory Mode malli tehdään vähemmällä muistimäärällä ja voi auttaa isompia kokoonpanoja muokatessa.



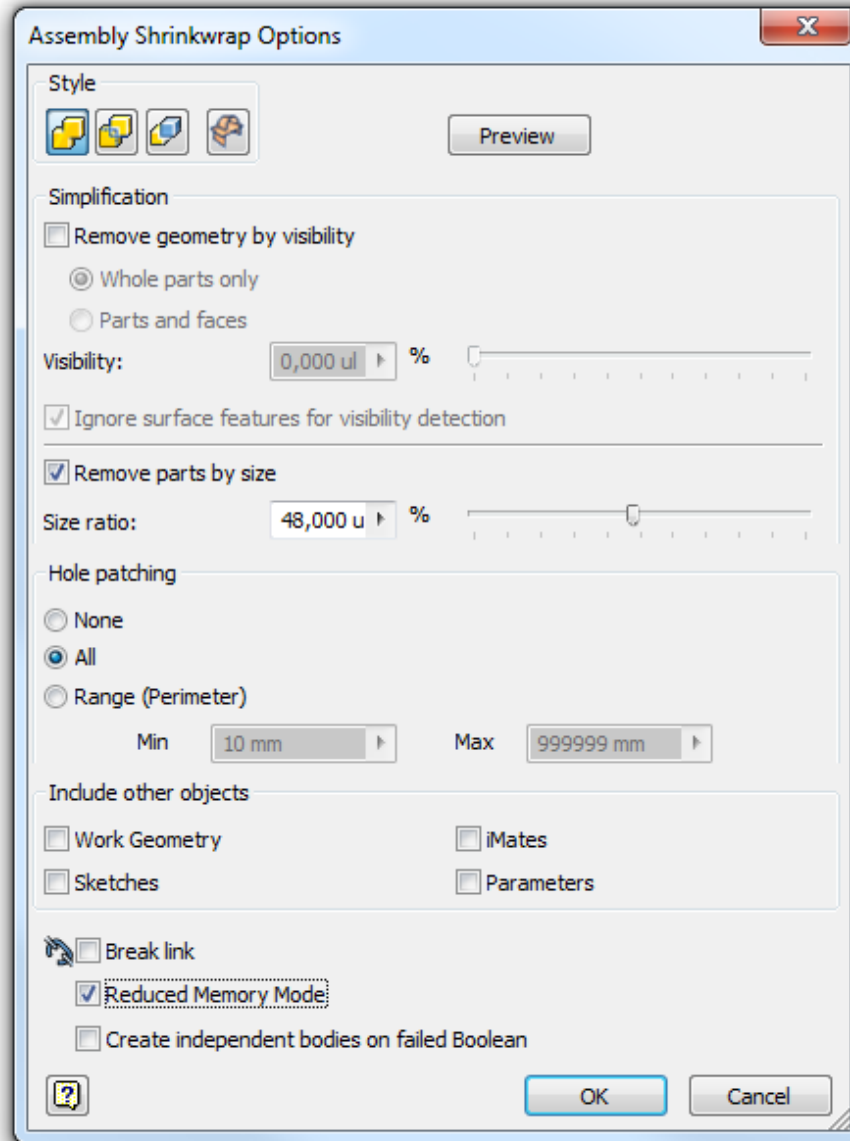
8

Kun kaikki muokkaukset on saatu kuntoon, niin painetaan **OK**

Tästä mallista poistettiin ylimääräisiä osia kuten esimerkiksi ulkopuolelle tulevan akselin pätkä ja kuusiokoloruuvit käyttämällä **Remove parts by size** – toimintoa ja poistamalla kaikki reiät **Hole patching** – toimintoa käyttämällä.

Huom.

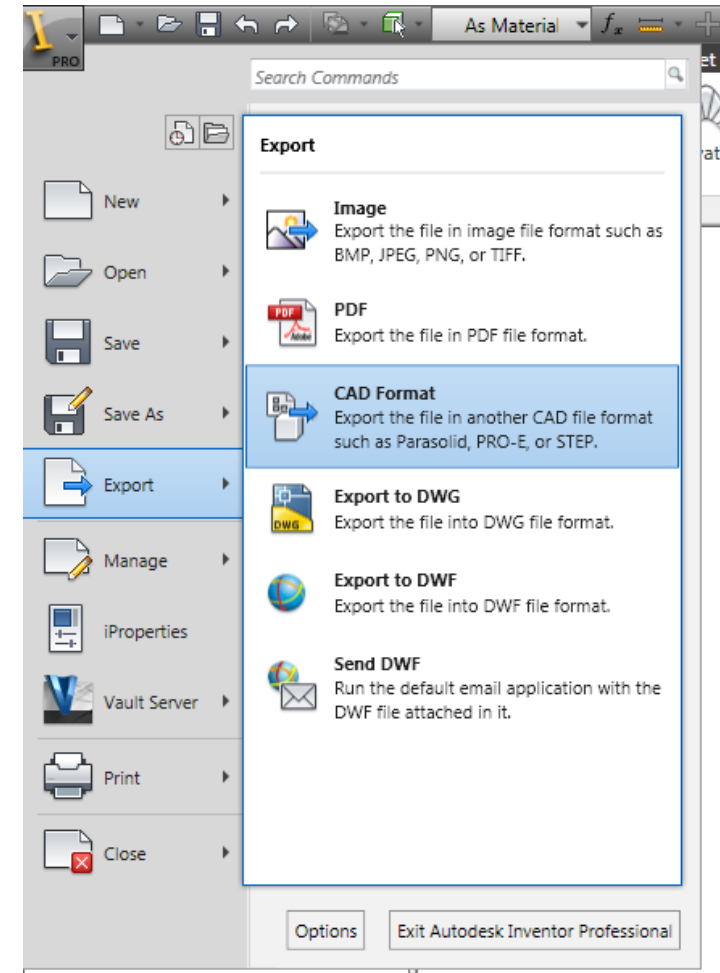
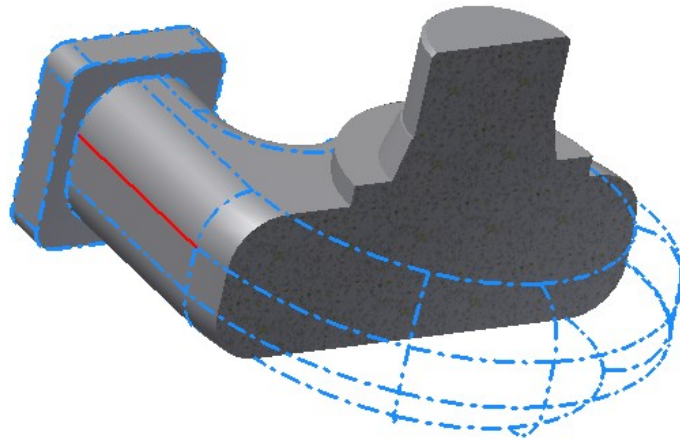
Mikäli kappaleesta halutaan jättää reiät näkyviin ja täyttää mallin sisäosa, on mallin sisäosaan vievät reiät täytettävä pursottamalla tai jollain muulla tavalla. Tällöin **Hole Patching** – toimintoa ei tarvitse käyttää.



9

3D-malli on täysin umpinainen ja hyvin tulostettavissa kunhan tiedostoformaatti muunnetaan sopivaksi.

Tiedosto vietään .stl muotoon tai muuhun sopivaan CAD – tiedostomuotoon **Export** valikon kautta.



Tämä muokkaus oli yksiä nopeimpia, mitä 3D-ohjelmistoissa on, mutta ongelmia saattaa syntyä esimerkiksi siinä, että paikattavissa koloissa ja epämuotoisissa rei'issä ei ole yhtenäistä reunaviivaa, missä voitaisiin käyttää Patch-työkalua. Tällöin mallia pitääkin muokata vaikka esimerkiksi pursotuksella. Toinen selvä miinus oli kevyemmässä kokoonpanossa mukana olevien osien valinta, mikä tuli tehdä ennen Shrinkwrap käskyä.

Perusmallinnustyökalujen lisäksi Inventor ei tarjoa paljoa muita työkaluja kokoonpanojen yksinkertaistamiseen kuin juurikin edellä käytetyn shrinkwrapin. Autodesk Labs on kehittänyt tätä ohjetta kirjoitettaessa Inventor Simplification –lisäosaa, jonka avulla on mahdollista paikata monimutkaisempia muotoja ja hallita paremmin yksinkertaistettuun kokoonpanoon tulevia osia, mutta se on vasta kehitysasteella ja sitä pystyi testaamaan ainakin toistaiseksi vain Inventorin 2013 -versiossa.

3d-tulostettavien kappaleiden muokkaus

Pro Engineer Wildfire 5.0

Tässä ohjeessa käydään läpi Wildfire 5.0 mahdollisuuksia mallin yksinkertaistamiseen. Wildfire 5.0:ssa on mahdollista käyttää **Shrinkwrap**-työkalua, mikä auttaa poistamaan esimerkiksi kokoonpanon sisällä olevia osia ja tekemään kappaleesta solidin ja täysin umpinaisen.



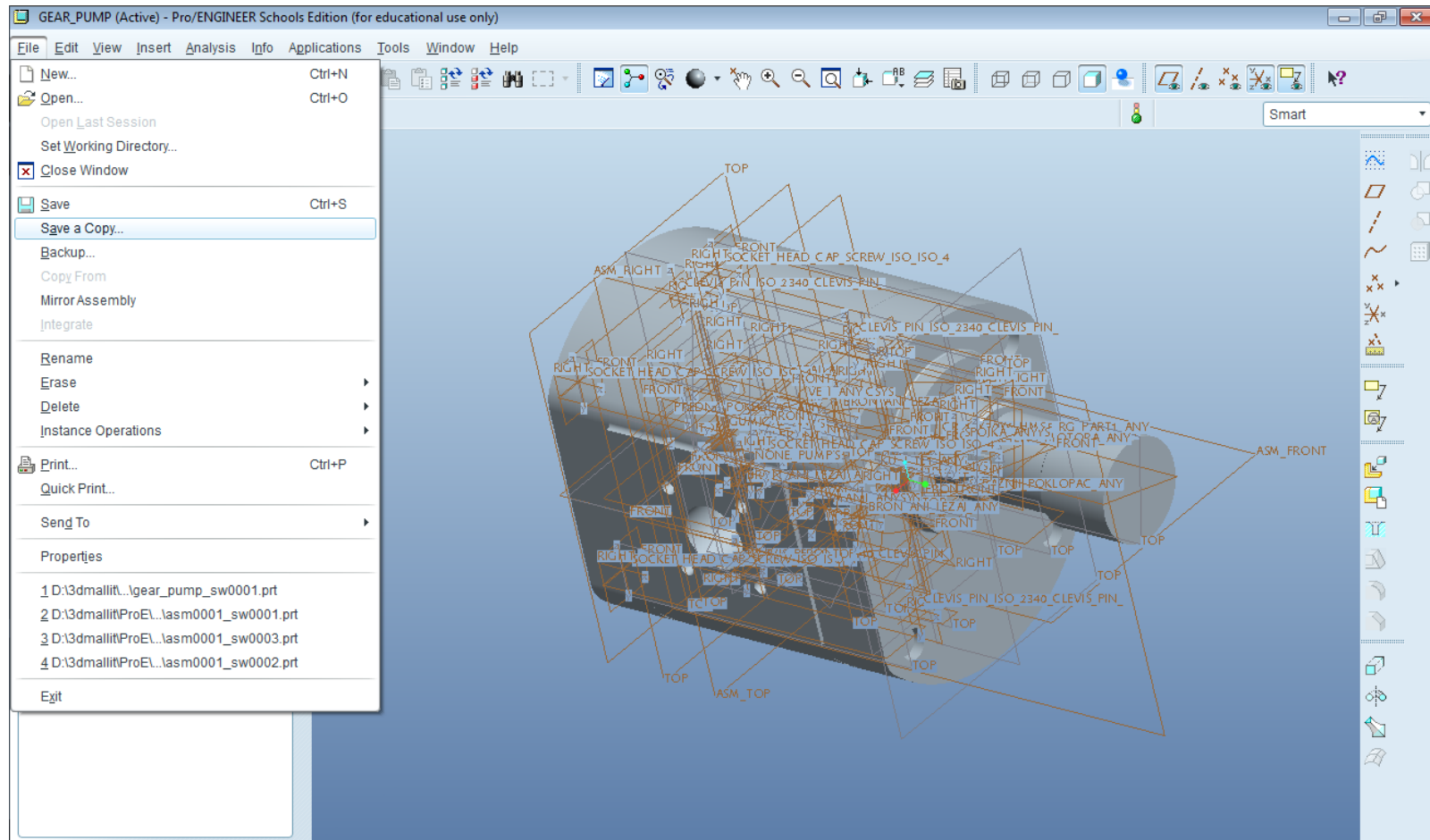
Kuvassa näkyy muokattava 3D-malli, joka sisältää paljon osia joita ei välttämättä tarvita tulostettavassa kappaleessa.

3D-mallista poistettavat osat ovat sisällä olevat rattaat. Että kappale saataisiin mahdollisimman nopeasti tehtyä umpinaiseksi, käytetään **Fill Holes**-työkalua, jolla kappale saadaan ns. vedenpitäväksi. Shrinkwrap työkalu täyttää kaikki ontot tilat ja tämä auttaa 3D-tulostamista kappaleen käsittelyssä mm. seuraavissa tapauksissa:

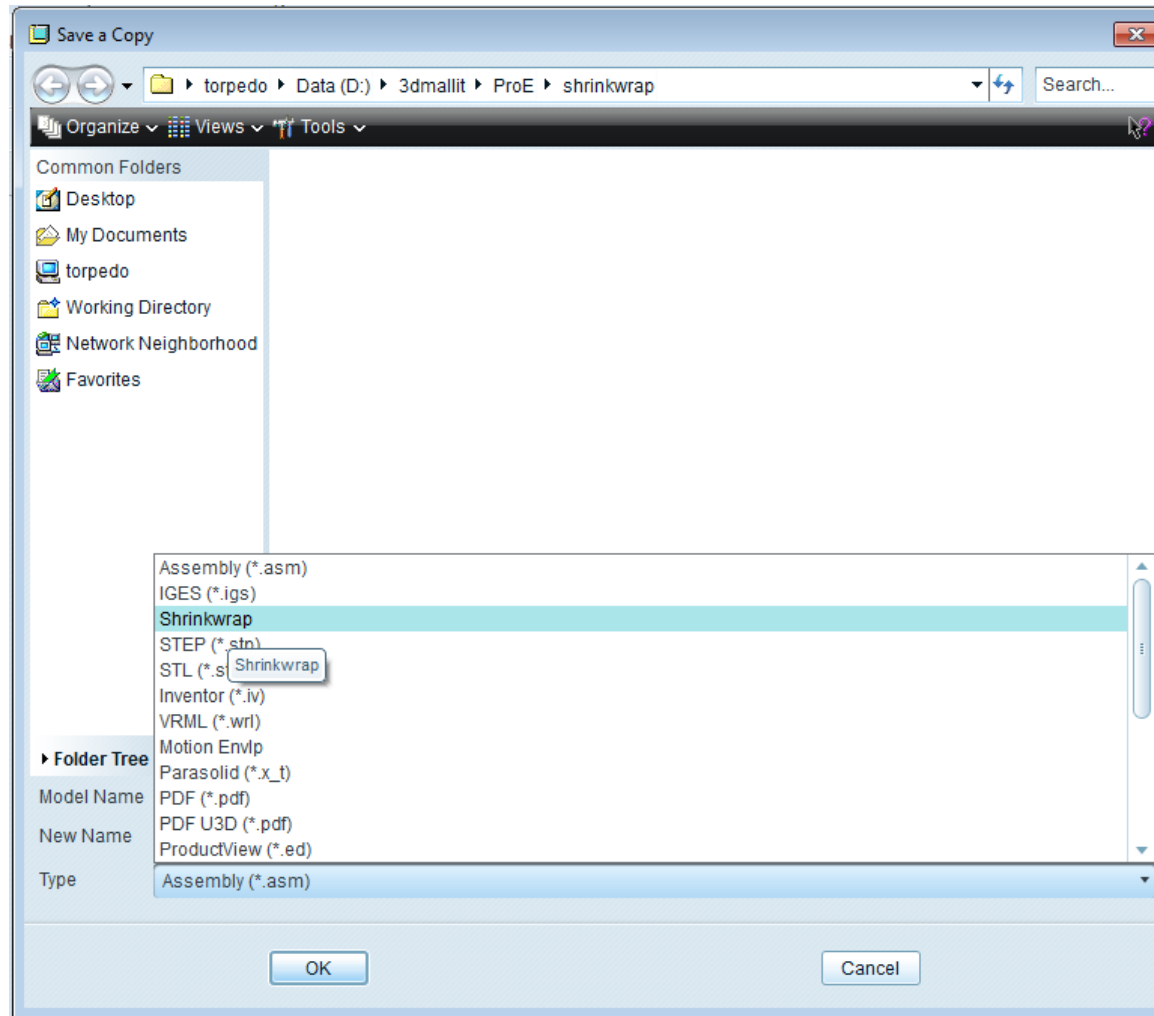
- Umpinainen kappale voidaan tehdä ontoksi helpommin 3D-tulostimen ohjelmistolla ja säästää tulostusmateriaalia.
- Mikäli isosta 3D-mallista on tarkoitus tehdä esimerkiksi 1:10 pienoismalli ja oikean kokoisen 3D-mallin seinämä vahvuus on 3mm, niin tulostettavassa pienoismallissa tämän seinämän paksuus olisi 0.3mm. Kappaleen tekeminen umpinaiseksi poistaa ongelman, sillä silloin kappale voidaan jättää joko umpinaiseksi tai sitten määritellä seinämän paksuus 3D-tulostimen ohjelmiston avulla.

1. Shrinkwrap-työkalua käytetään kokoonpanomallista tehtävä kopio.

File -> Save a Copy...



2. Save a Copy –
ikkunassa valitaan
tiedoston tyypiksi
Shrinkwrap

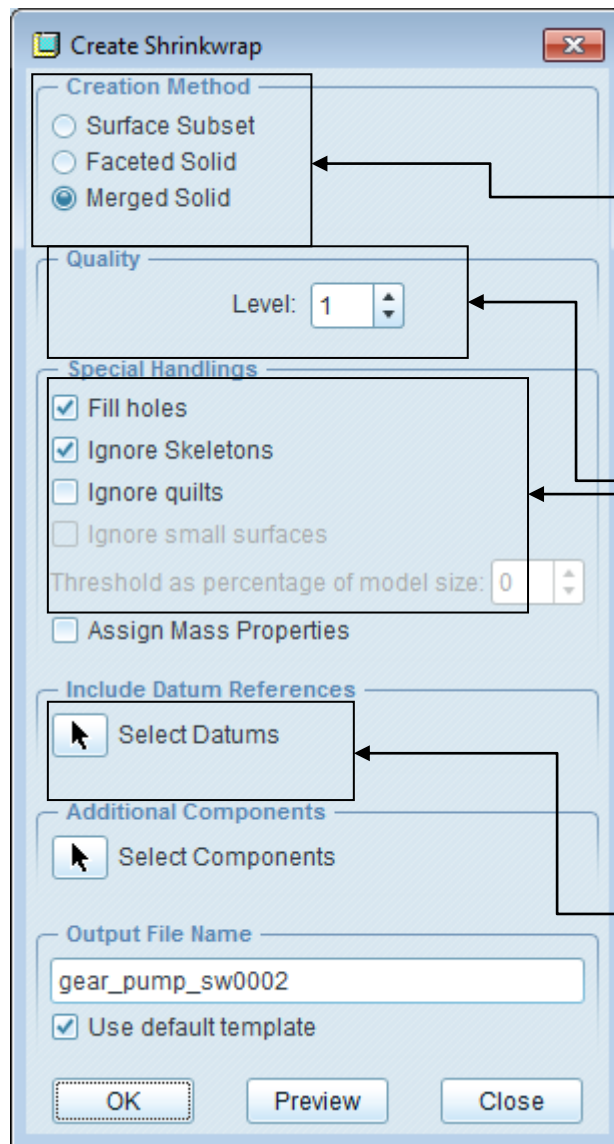


LIITE 4

3. Shrinkwrap-työkalussa on kolme eri tyyliä luoda yksinkertaistettu 3D-malli.

Tässä ohjeessa käytämme pääasiassa **Merged Solid**-vaihtoehtoa.

Joissain tapauksissa on mahdollista käyttää myös Faceted Solid vaihtoehtoa, mikäli muistetaan muuttaa Quality valikossa oleva taso paremmaksi.



4(9)

Yksinkertaistamistyyli:

Surface Subset: Yksinkertaistaa pinnan avulla

Faceted Solid: Yksinkertaistaa kaikki eri muodot yhtenäisemmäksi kokonaisuudeksi

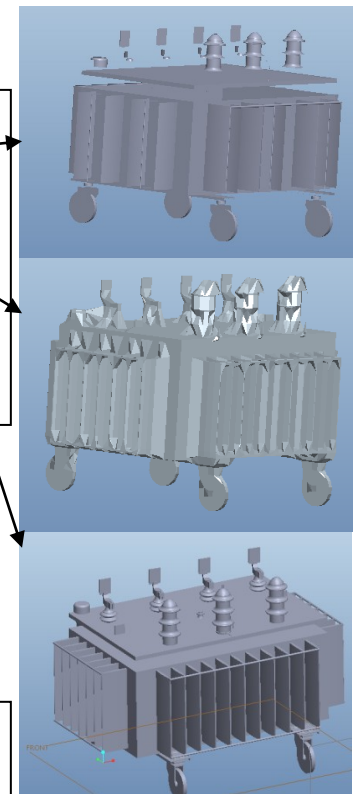
Merged Solid: Yksinkertaistaa solidit täyttämällä

Laatu

Suurempi numero tarkoittaa pidempää käsittelyaikaa ja tarkempaa mallia

Tässä valikossa voit valita huomioon otettavat piirteet, kuten reikien täytön, luurankomallin ja erilliset pinnat

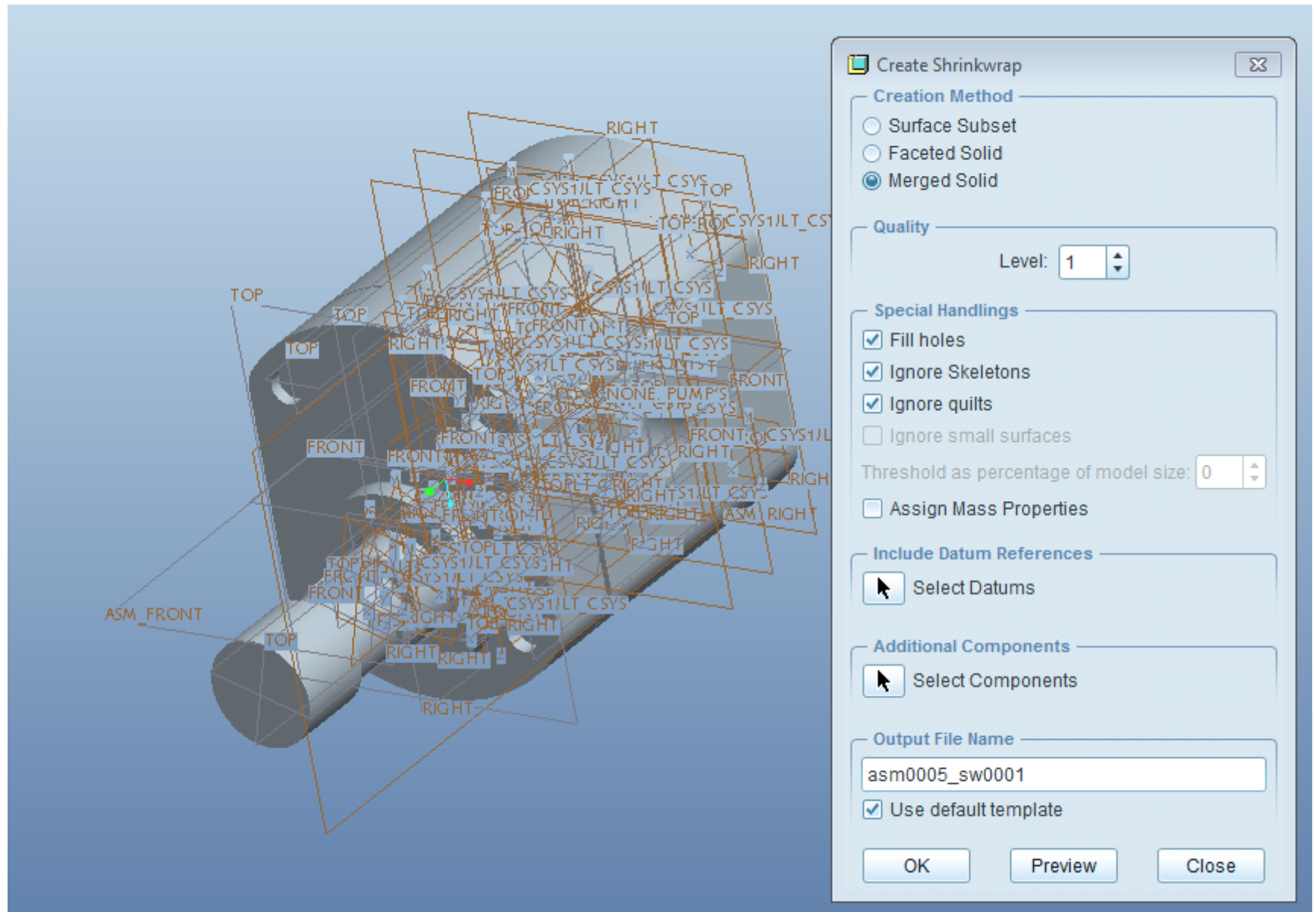
Select Datumsin avulla voit ottaa yksinkertaistettuun 3D-malliin mukaan anutaseja



4. Poistan kaikki reiät
Fill Holes ja teen
 mallista täysin
 umpinaisen.

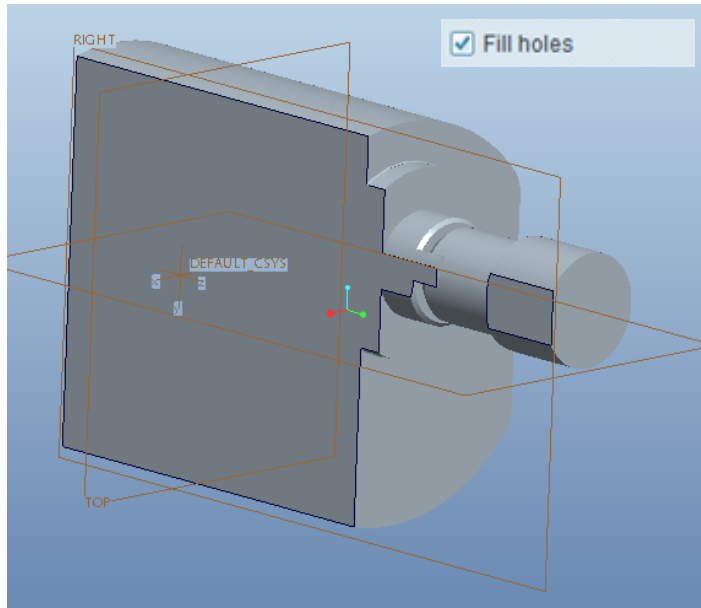
Laadun pidän 1:ssä
 ja jätän mahdollisen
 luurankomallin
 huomioimatta.

Merged Solid
 yhdistää kaikki osat
 yhdeksi
 kappaleeksi.

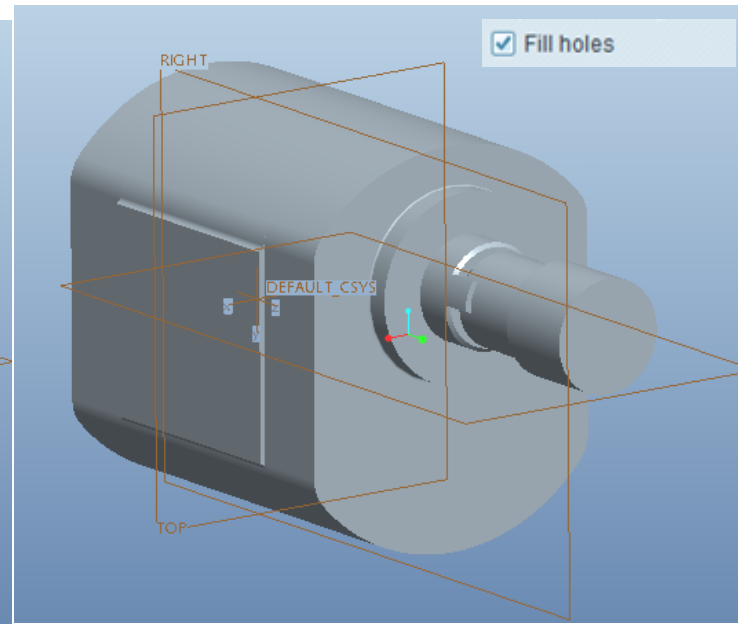


LIITE 4

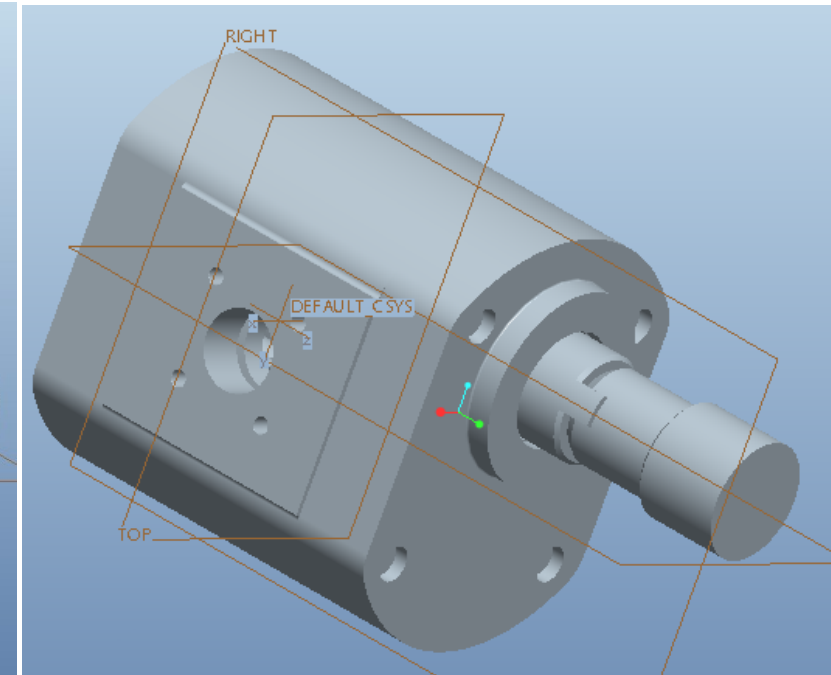
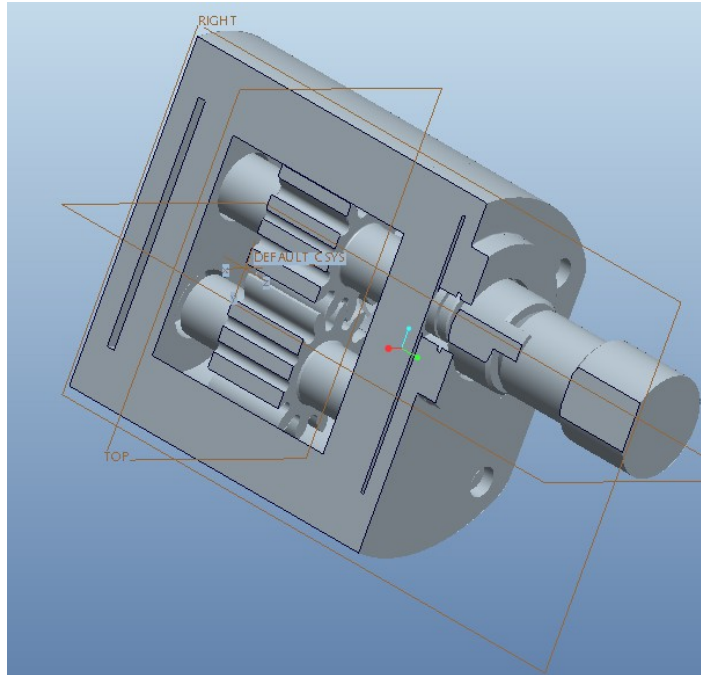
5. 3D-malli on sisältä täysin umpinainen ja siitä puuttuu kaikki reiät.



6(9)

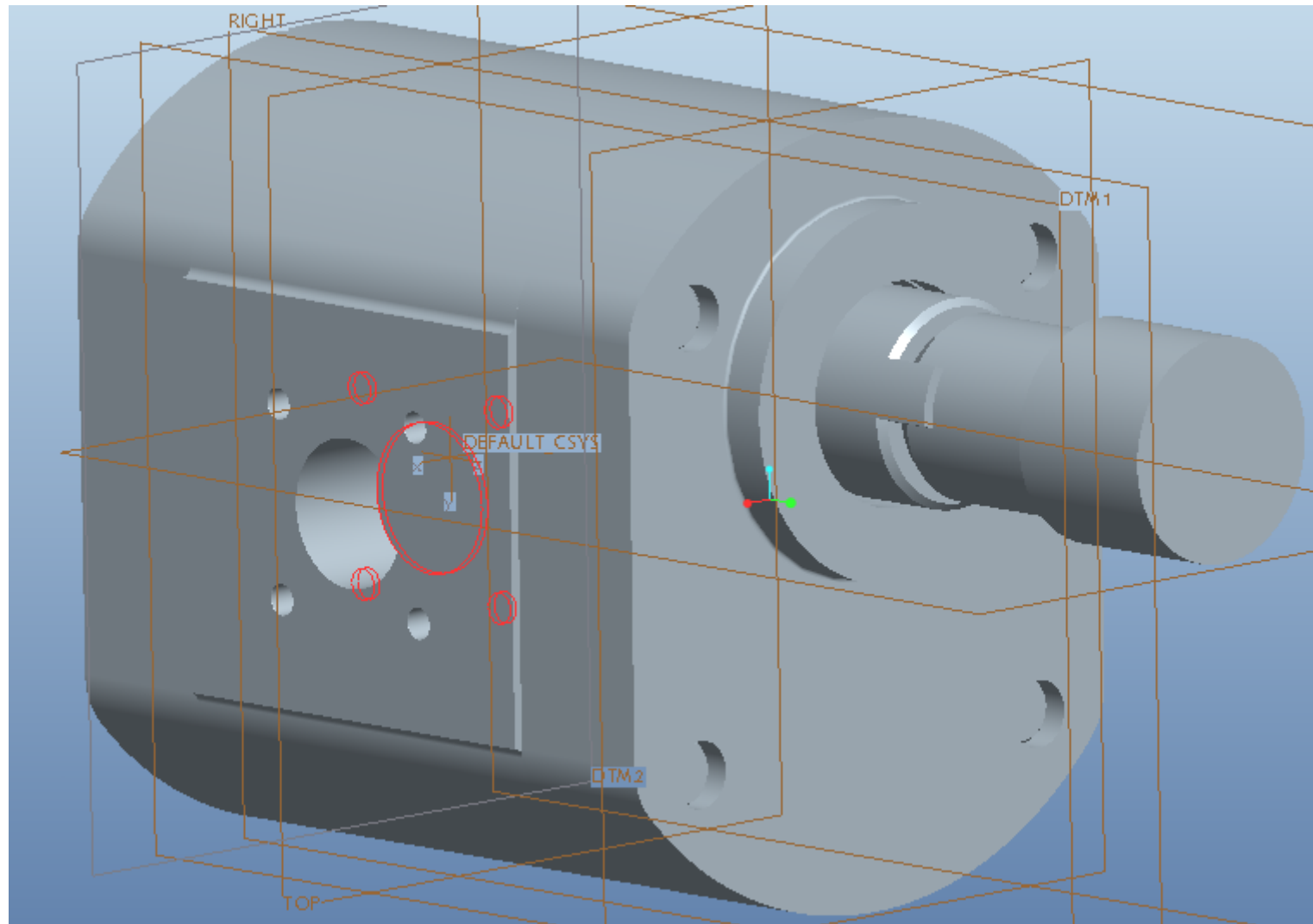


Mikäli **Fill Holes** kohtaa ei valita, niin sisustalle ei tapahdu mitään.



6. Mikäli kappaleeseen halutaan reiät näkyviin, mutta muuten umpinainen niin silloin 3D-mallissa olevat reiät tulee tukkia itse haluamallaan tavalla.

Tässä tapauksessa tulee jättää **Fill Holes** toiminto käyttämättä.

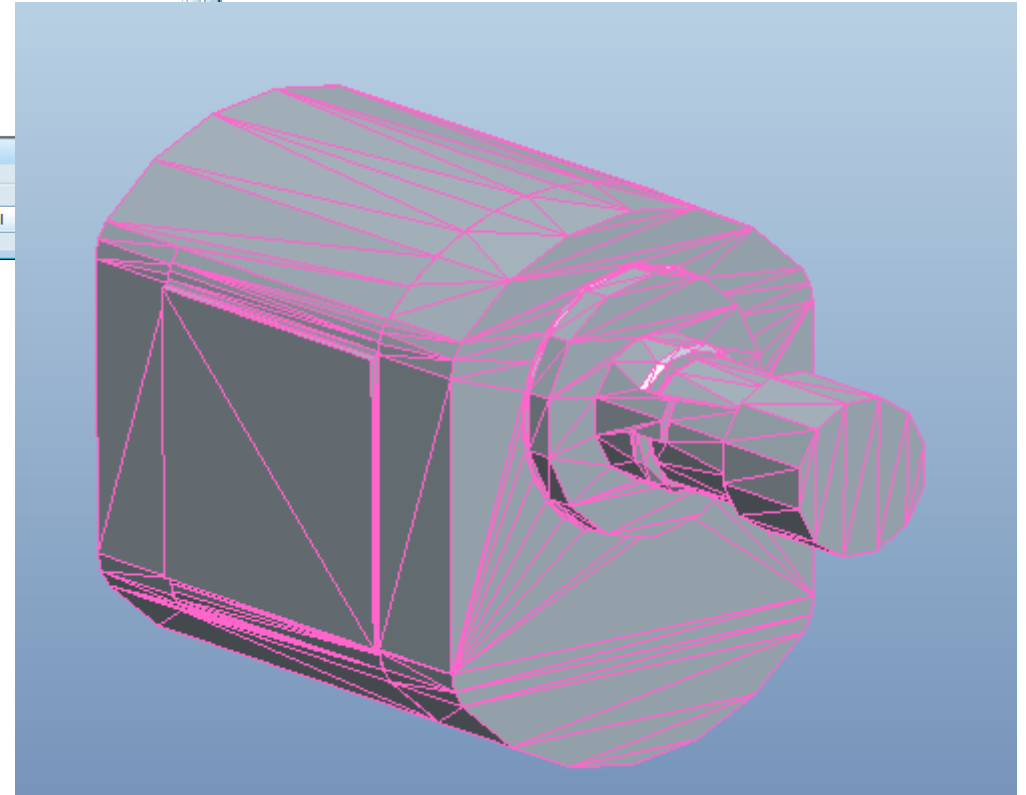
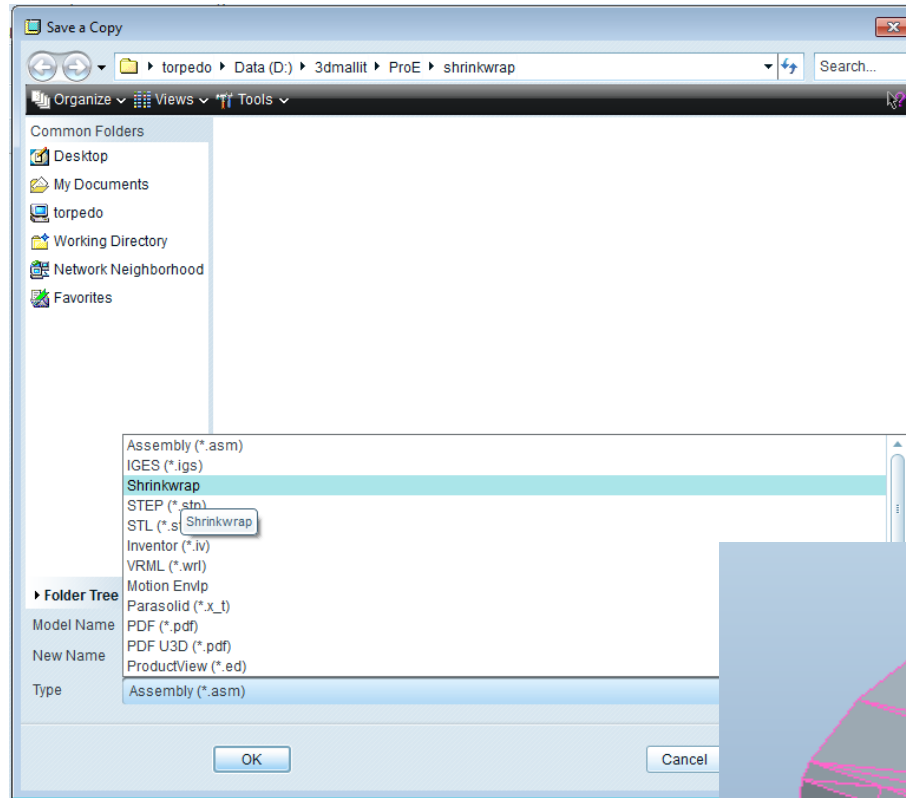


7. Yksinkertaistettu malli voidaan tallentaa halutussa 3D-tulostamista tukevassa tiedostomuodossa valitsemalla **File -> Save a Copy..**

Type valikossa valitaan sitten 3D-tulostimen tukema muoto.

Yleisimmin tuettu muoto on STL, mutta se ei tue värejä.

VRML –muoto tukee värejä ja sopii siinä tapauksessa paremmin, mikäli 3D-kappaleessa tulee olla värejä.



Shrinkwrap ei aina sovi kaikkiin eri tapauksiin ja riippuen tapauksesta ei sitä välttämättä tarvitse edes käyttää. Tarpeeksi yksinkertaiset mallit voidaan tehdä täysin ilman mitään muutoksia itse malliin, mutta silloin seinämien paksuus on oltava aivan minimissään sen 1 mm, mutta mielummin 2 mm tai enemmän.

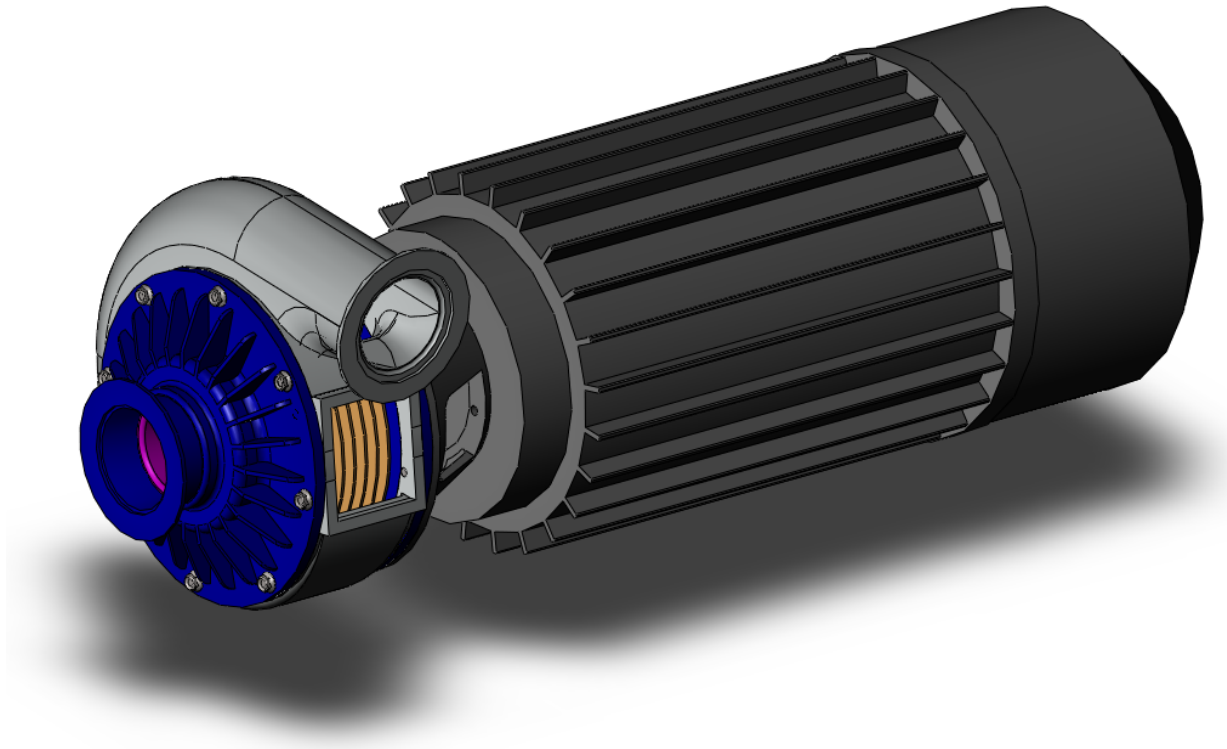
Vaikka kaikki värit eivät esimerkiksi STL-muodossa tulekaan mukaan, niin niitä on mahdollista lisätä malliin 3D-tulostimen ohjelmistossa.

Shrinkwrap työkalu on alun perin tarkoitettu 3D-mallien keventämiseksi, sillä yksinkertaistetut mallit vievät selvästi vähemmän muistia niitä käsitellessä.

3D-tulostettavien kappaleiden muokkaus

9 Solidworks

Tässä ohjeessa käymme läpi Solidworksin mahdollisuuksia mallin yksinkertaistamiseen. 3D-mallien tulostamisessa tulee ottaa huomioon tulostettavat piirteet ja se, mitä tulostettavaan kappaleeseen otetaan mukaan. Käytämme hyväksi solidworksissa olevaa **Defeature**-työkalua, jolla saamme poistettua 3D-mallista joitain piirteitä, mitä emme halua tulostettavaan kappaleeseen.

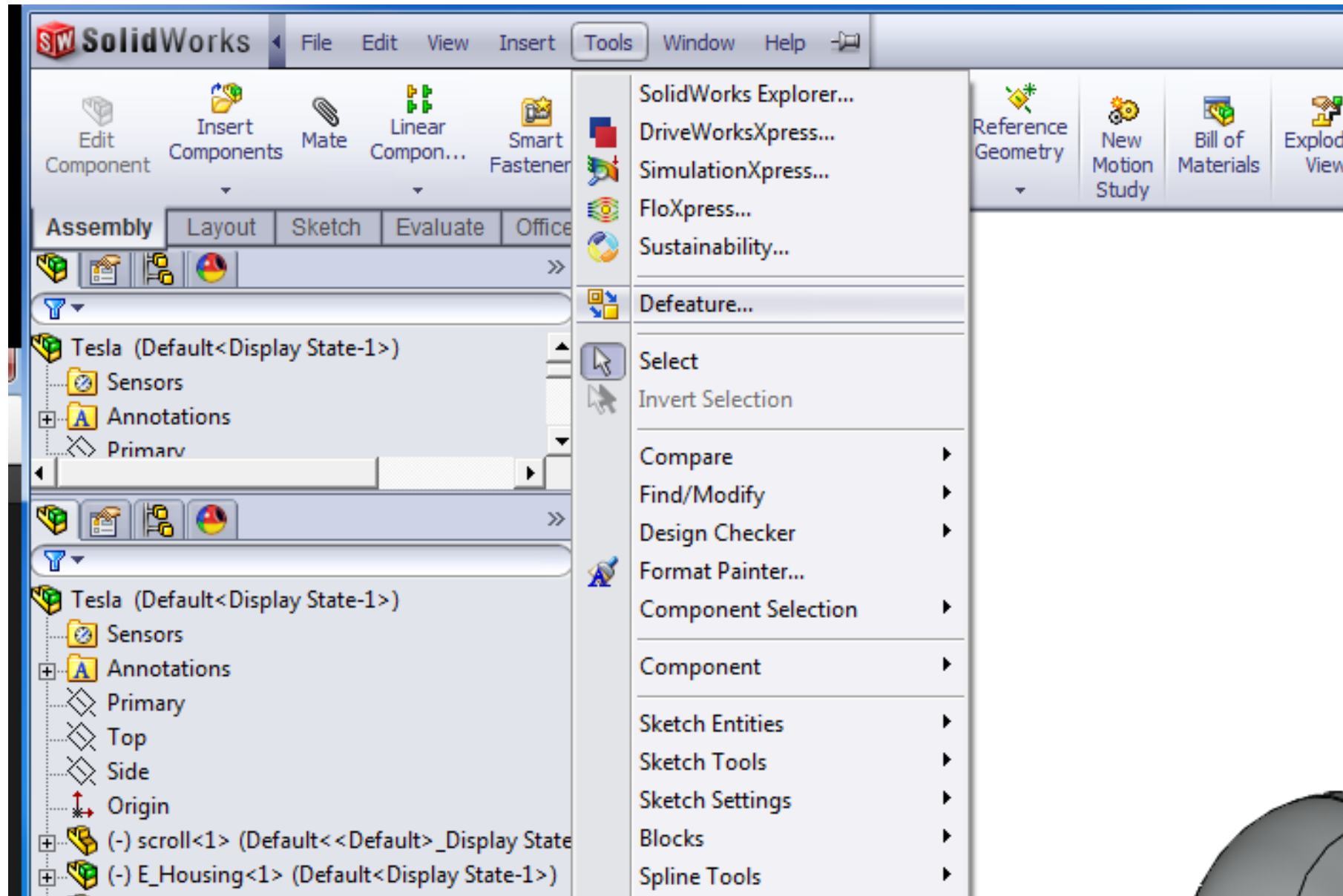


Pienoismallista tehdään 1:5 mittakaavassa oleva pienoismalli. On suositeltavaa, että tulostettava malli olisi sisältä täysin umpinainen. Samalla poistetaan mallissa olevat siivekkeet, jotka ovat yrityssalaisuus ja suuren kehitystyön tulos.

Samaa käsiteltyä 3D-mallia voidaan käyttää myös isoissa kokoonpanoissa, missä on tarpeen keventää käytettäviä 3D-malleja.

Defeature toiminto löytyy SolidWorksin valikosta:

Tools ->  Defeature



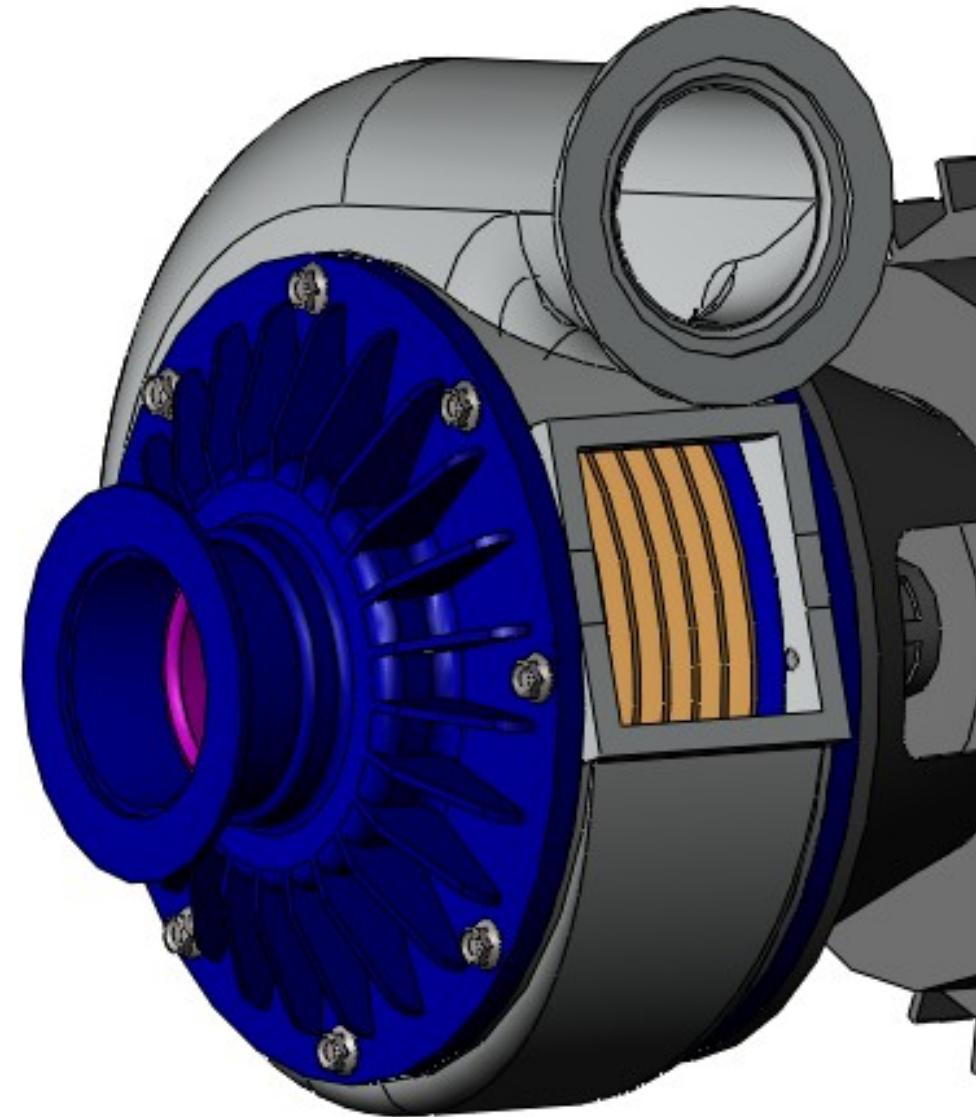
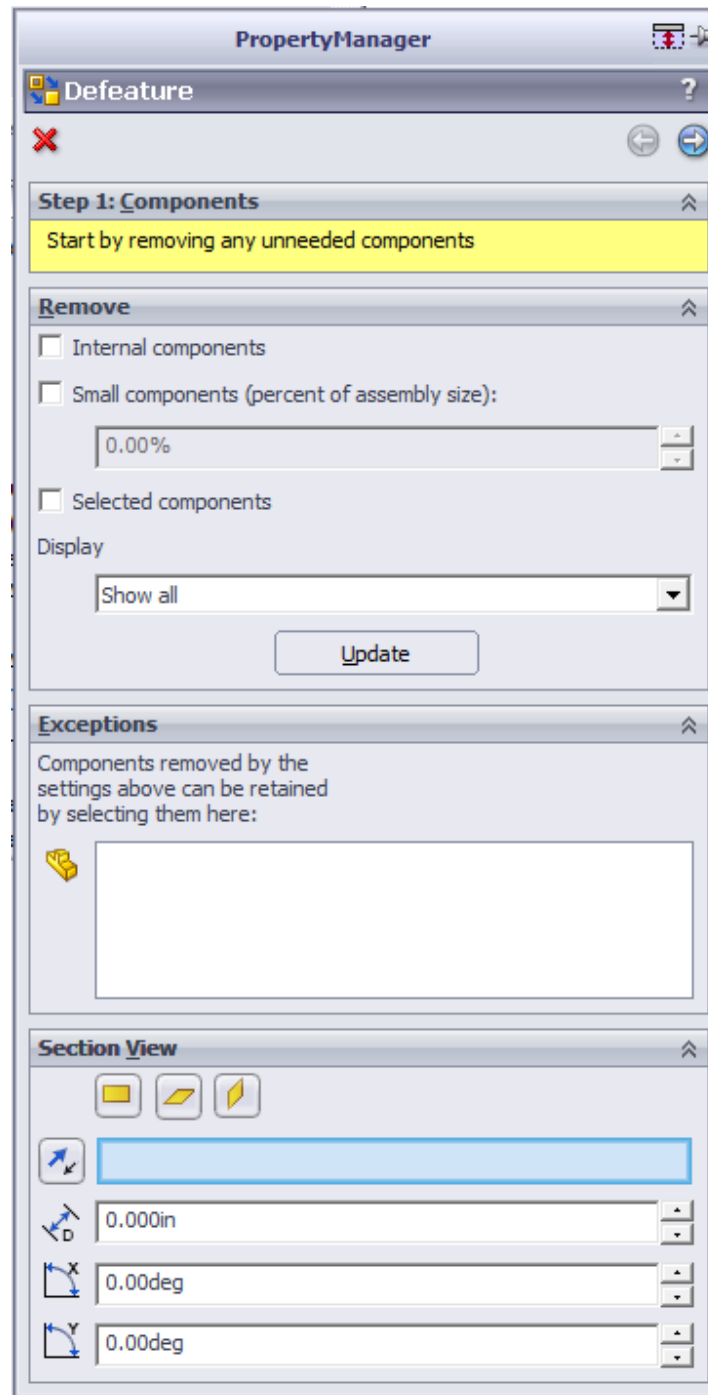
Defeature toiminnoissa nähdään keltaisella pohjalla mitä ohjelma odottaa sinun tekevän. Ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus poistaa ne komponentit, mitä ei haluta muokattuun kokoonpanoon.

Internal components valitsee kaikki osat, jotka jäävät sisäpuolelle, mikäli 3D-malli on jo valmiiksi umpinainen.

Small components vertaa poistettavien kappaleiden kokoa kokoonpanon kokoon ja poistaa komponentteja prosenttiluvun mukaan.

Selected components poistaa muokatusta kokoonpanosta kaikki erikseen valitut kohteet.

Exceptions tilaan voi valita säilytettävät osat, mikäli esim. Small components kohdassa on 100% (joskus tämä voi olla nopein vaihtoehto)



Vaihe 1

Valitaan levyt ja muut osat, joita ei haluta tulevan muokattuun kokoonpanoon.

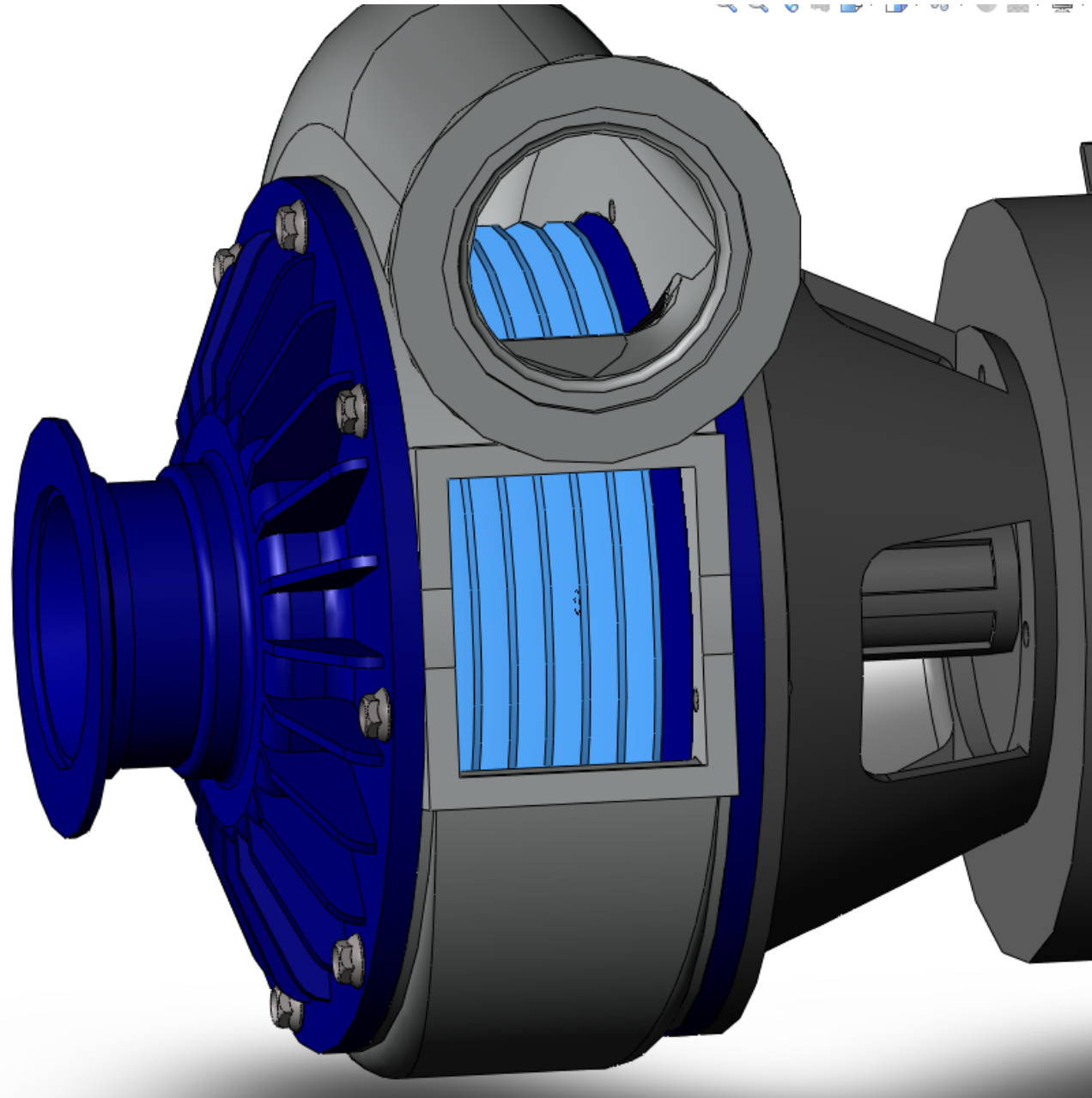
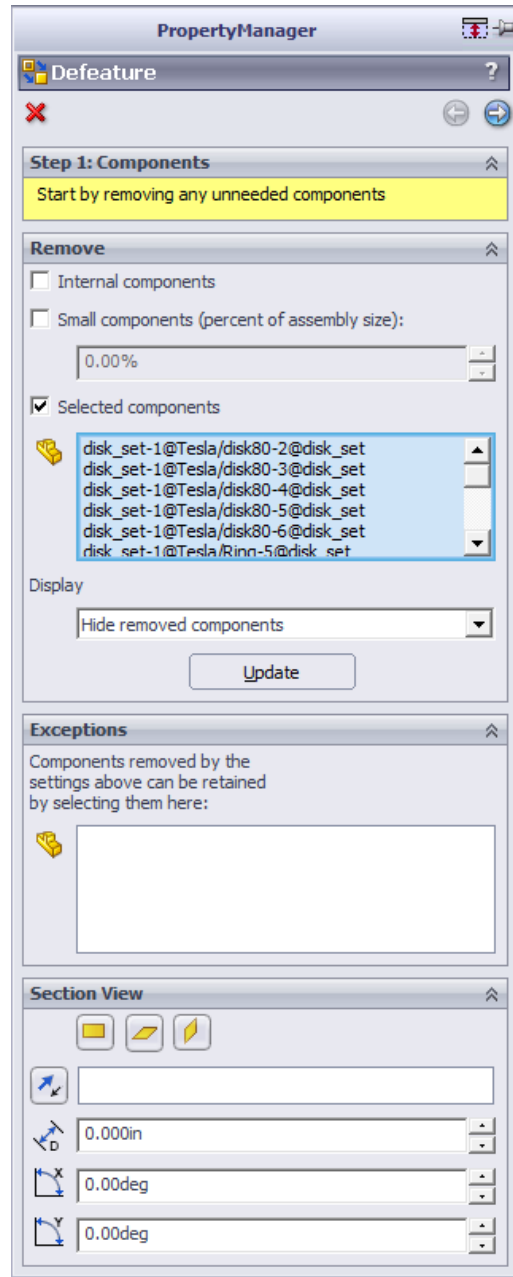
Tässä on käytössä **Selected components** – työkalu.

Valitut osat näkyvät vaalean sinisinä.

Nuolinäppäimellä pääsee seuraavaan kohtaan.

Huom.

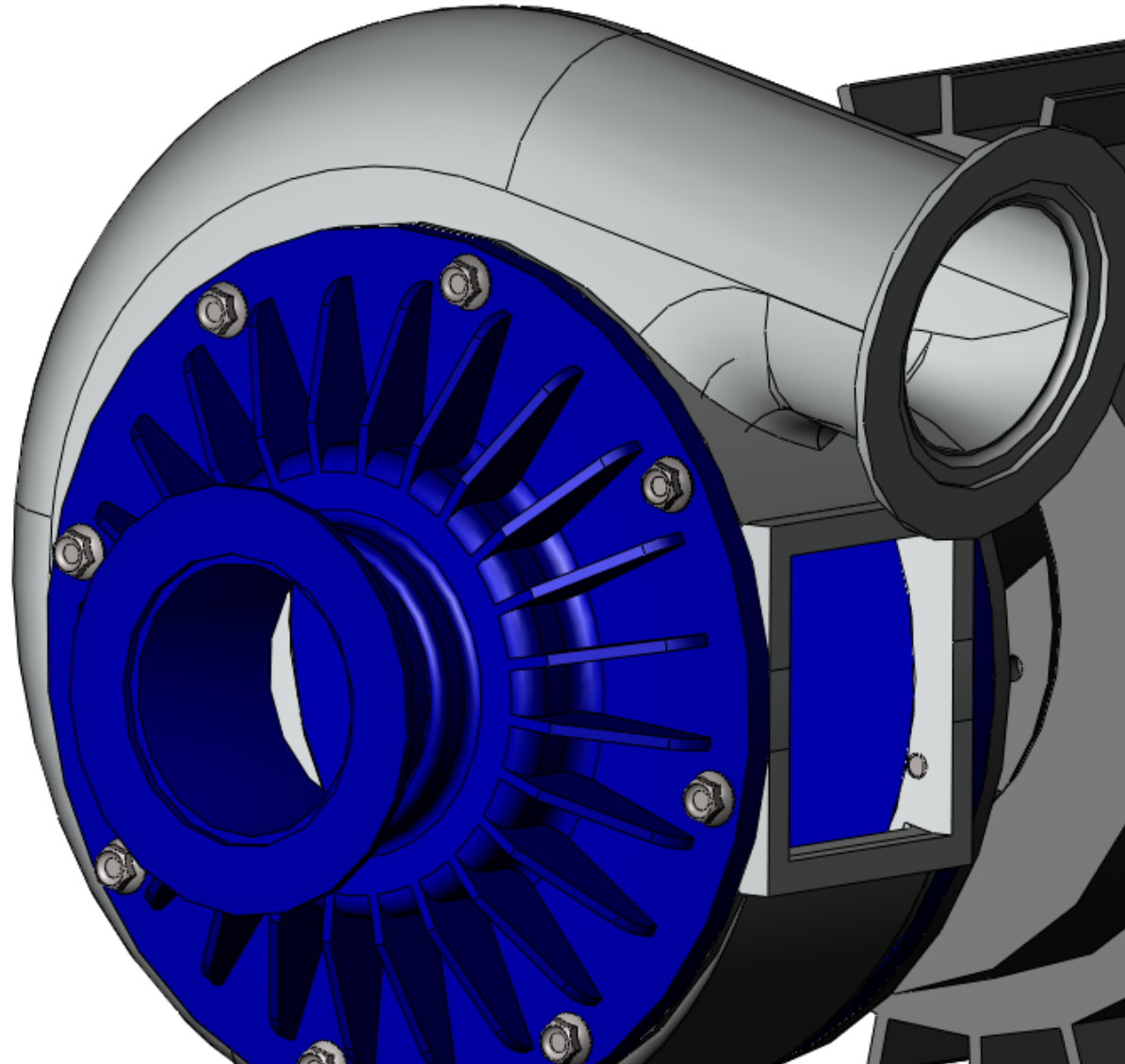
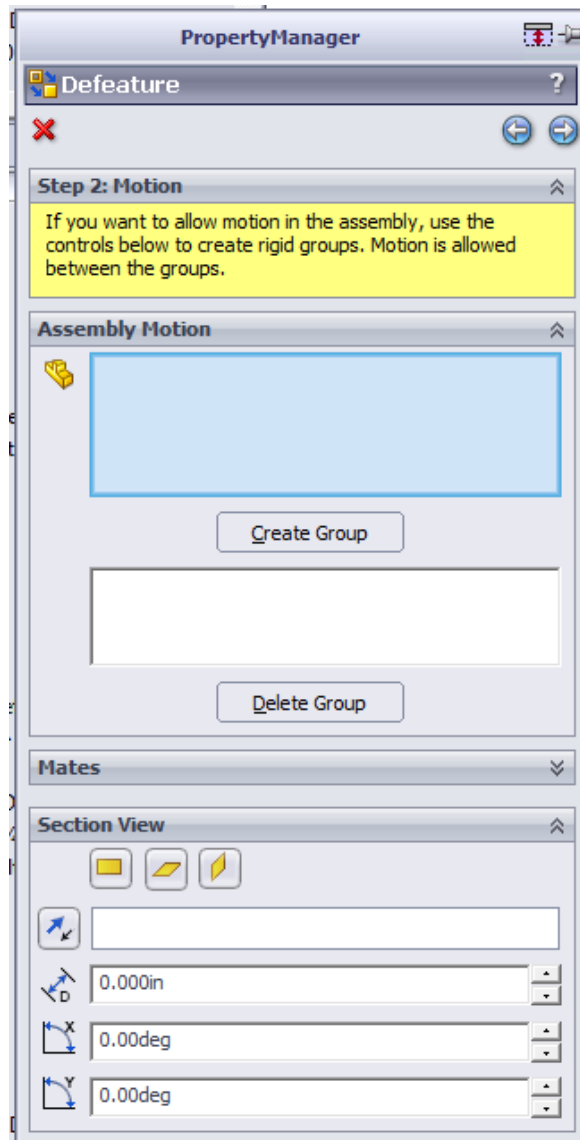
Defeature toiminnon valikon alaosassa on **Section View**, jonka avulla on mahdollista tarkastella kappaleen poikkileikkausta.



Vaihe 2

Tässä vaiheessa voimme valita osia, joiden tulisi pystyä liikkumaan eli esim. jos niitä käytetään animaatiossa.

Tarkoituksena ei ole tehdä animaatiota, joten hypätään tämän kohdan yli.



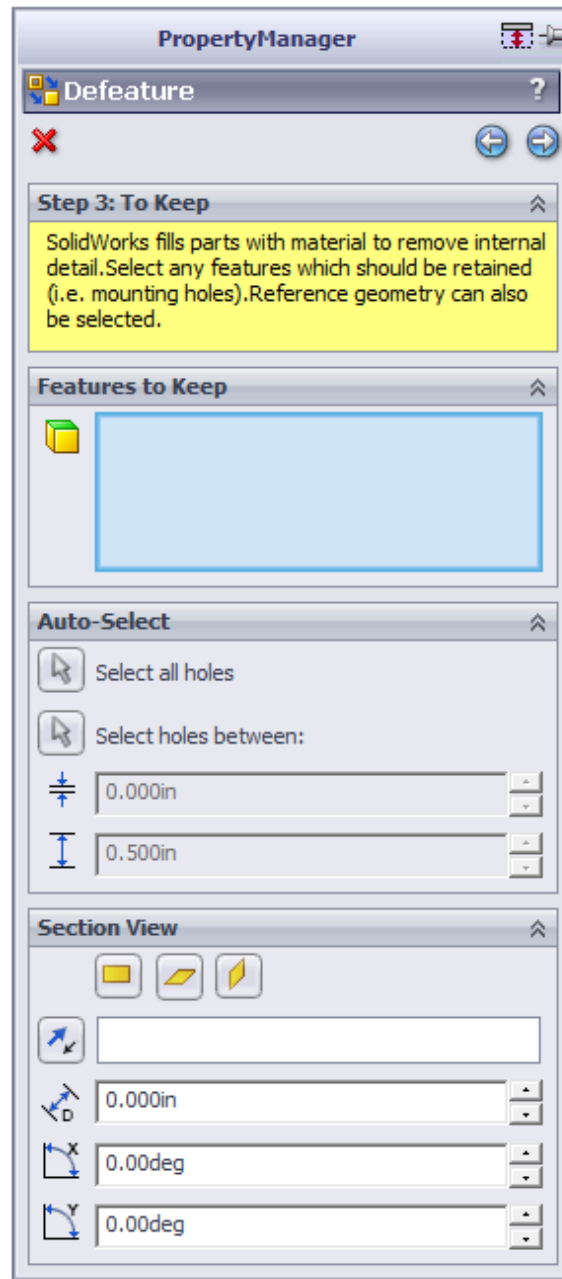
LIITE 5

Vaihe 3

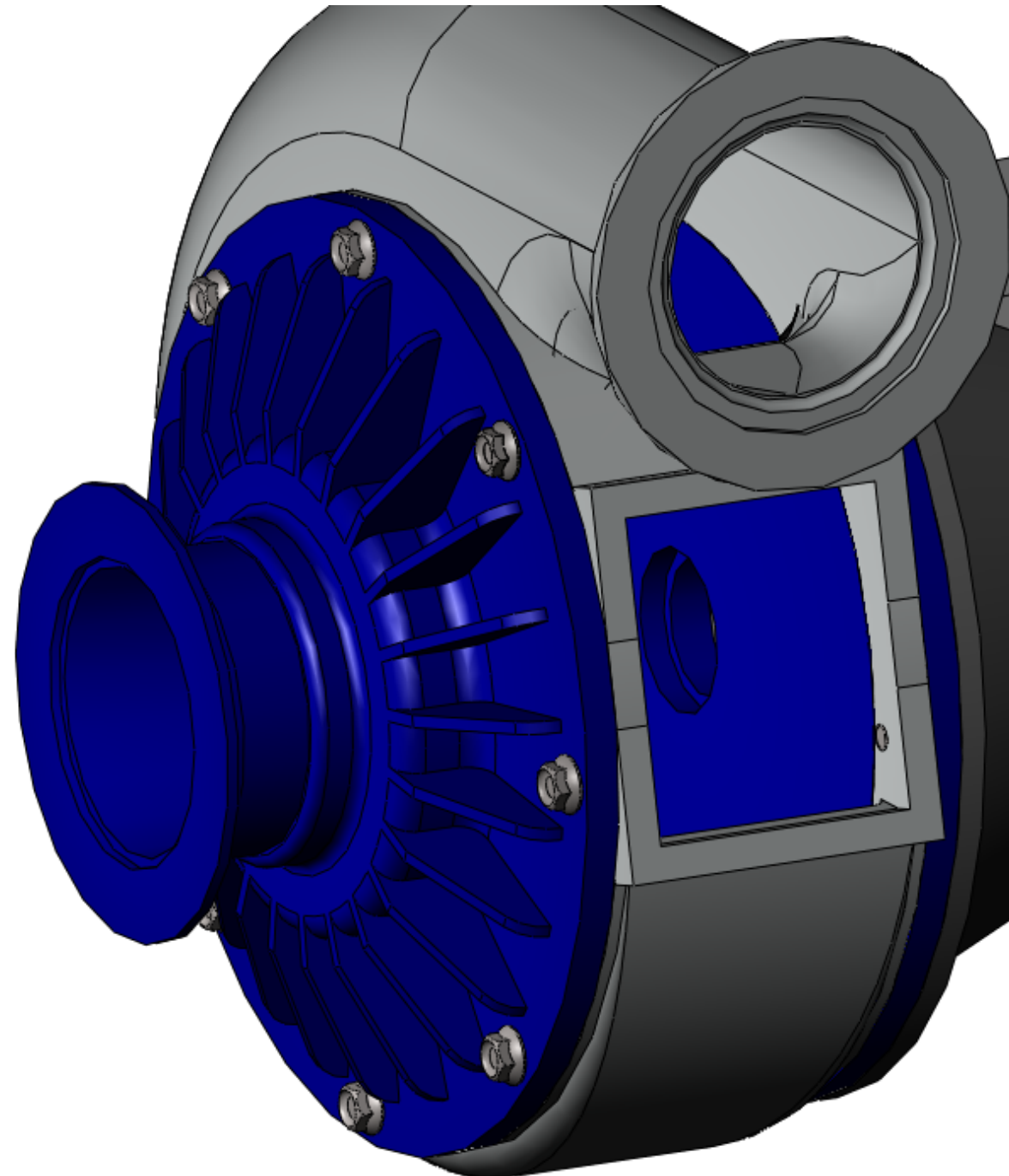
Tässä vaiheessa olisi mahdollista valita muokattuun kokoonpanoon esimerkiksi reiät, joita ei poisteta. Tämä on käytännöllistä esimerkiksi jos kappaleessa on asennuksessa käytettäviä reikiä.

Auto-Select

auttaa reikien valitsemisessa ja siinä voi määrittellä reikien minimikoon ja maksimikoon tai valita kerralla kaikki reiät.



6(9)

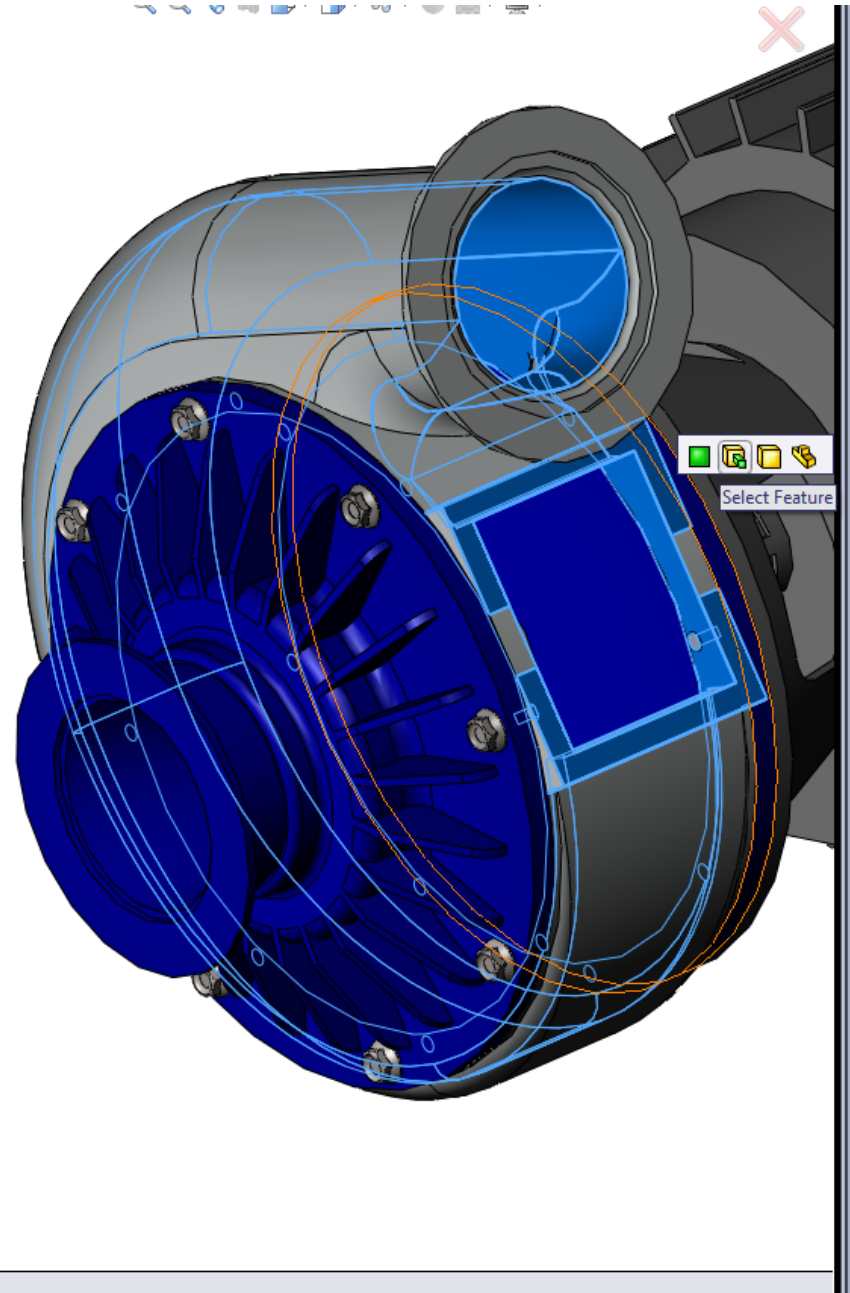
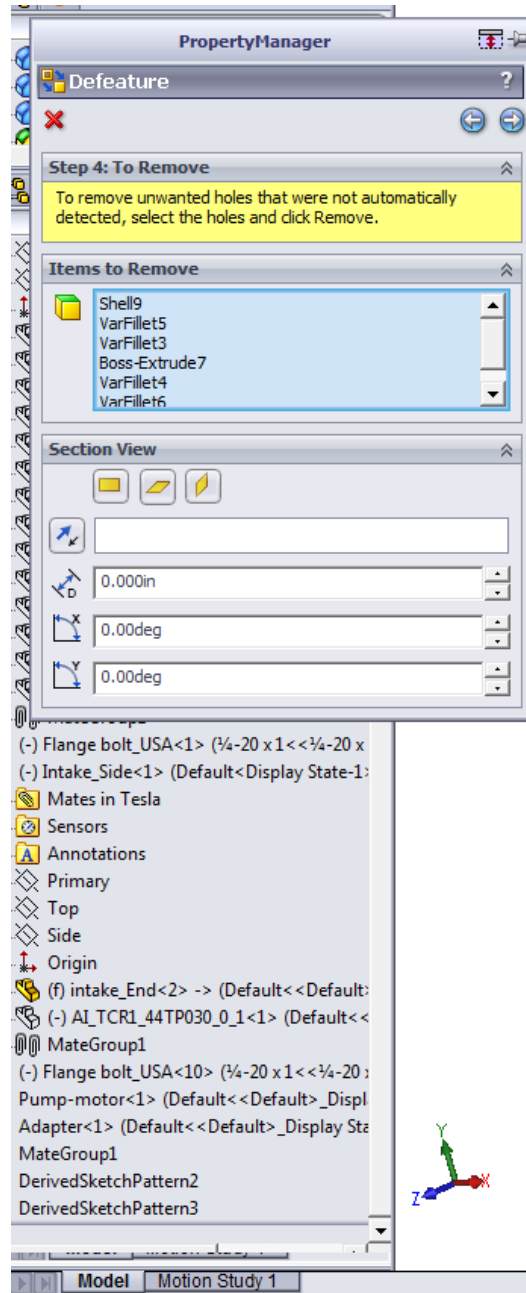


Vaihe 4

Tässä vaiheessa pyritään poistamaan ne reiät, joita ei automaattisesti edellisessä vaiheessa saatu poistettua.

Tässä toimii myös se, että valitaan käytännössä koko turbiinin sisusta. Tämä vaihe on yleensä kaikista haastavin, mikäli 3D-kappaleessa on paljon reikiä ja vieläpä eri muotoisia.

Eräs tapa millä tätä vaihetta voidaan helpottaa on se, että käytetään esimerkiksi pursotusta peittämään neliön muotoiset reiät ennenkuin aletaan käyttämään Defeature toimintoa.

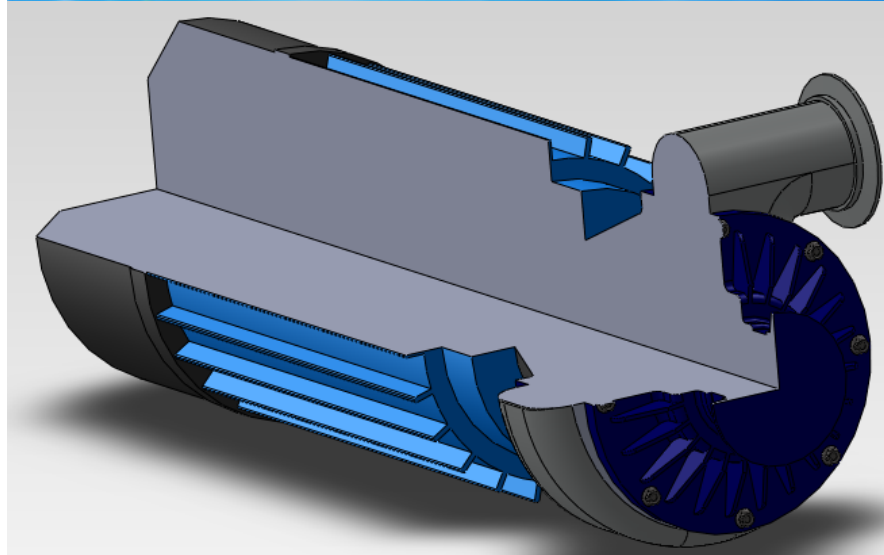
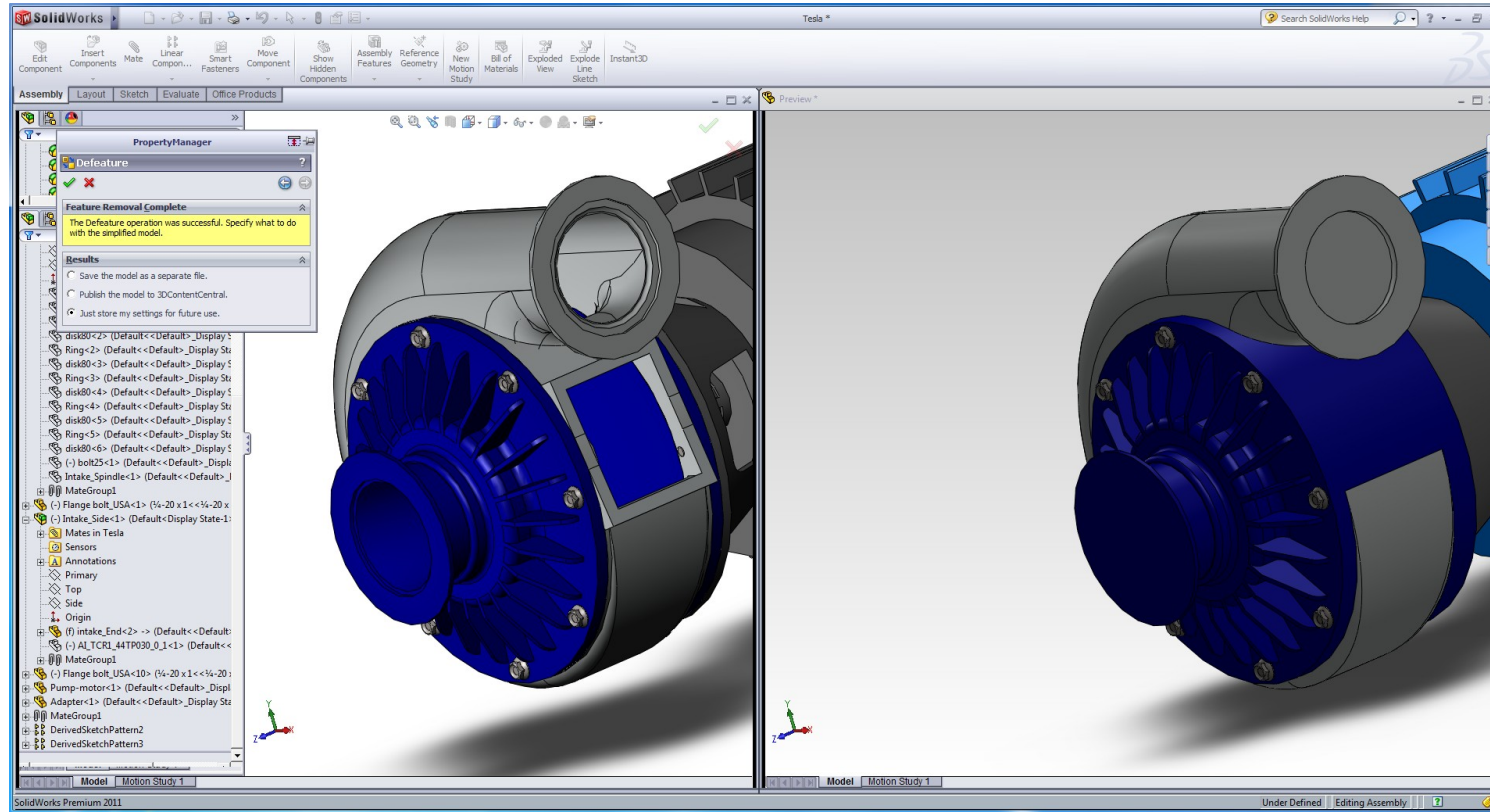


Vaihe 5

Defeature on saanut aikaan sen, että 3D-malli on nyt täysin umpinainen solidi, mikä voidaan siirtää nyt sellaiseen tiedostoformaattiin, jonka 3D-tulostin ymmärtää.

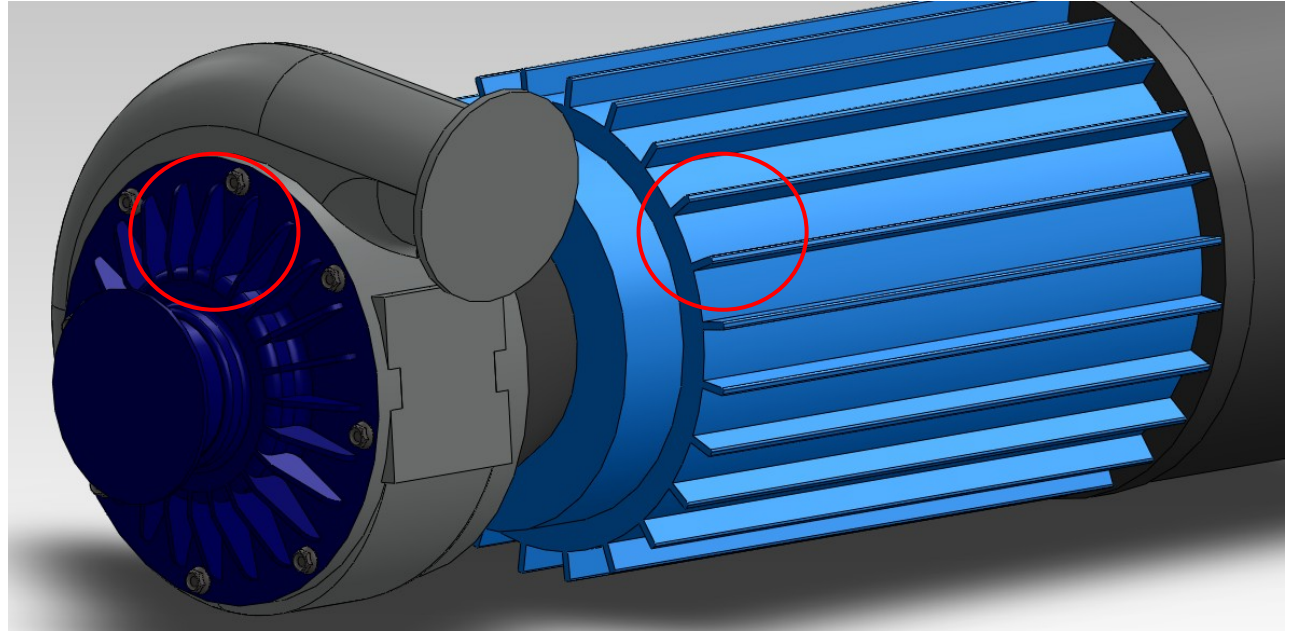
Muokattu kokoonpano kannattaa tallettaa omaksi tiedostoksi, jolloin on varaa vielä tehdä muutoksia alkuperäiseen malliin.

Solidworksissa tiedostoformaatin muuttaminen tapahtuu Save As... -komennon avulla, joilloin formaatti valitaan alasetoivalikosta tallennusikkunassa.



Solidworksin Defeature työkalu on melko nopea ja monessa kohtaa helppokäyttöinen, mutta siinä on otettava huomioon erityisesti se, että tällaisilla työkaluilla on usein paljon vaikeuksia erottaa 3D-mallin sisä- ja ulkopuoli. Usein näissä tapauksissa onkin paras hieman "auttaa" ohjelmaa ymmärtämään kappaleen sisä ja ulkopuoli käyttämällä esimerkiksi pursotustyökalua.

3D-mallin muokkaaminen sisältä umpinaiseksi solidiksi ei välttämättä riitä itsessään kun aletaan puhua kappaleen yksityiskohtien kestävydestä. Tämä voi tulla esiin varsinkin tämän ohjeen kappaleen jäähdytys rivoissa. Näiden korjaamisessa on joko tyydyttävä siihen että ne poistetaan mallista kokonaan tai sitten muokataan mallia ennen tai jälkeen Defeature -toiminnon käyttöä. Muokkaus voi olla esimerkiksi pienten pyöristysten tekeminen ripojen juureen tai sitten ripojen lyhentäminen leikkauspursottamista käyttäen. Näidenkin muokkauksen tarpeellisuus riippuu täysin tämän mallin koosta.



Muokatun ja muokkaamattoman 3D-mallin valmistelut pikamallinnuksessa

Jarmo Lehtimäki

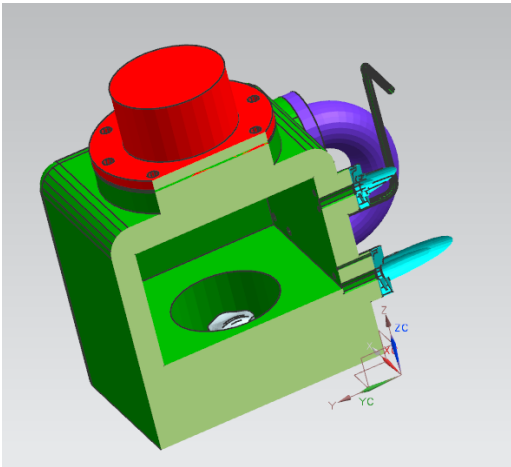
Lähtökohtana onnistuneelle 3D-tulostukselle voidaan pitää sitä, että tulostettava 3D-malli on ehjä ja toimiva. Hyvin toimiva 3D-malli voi säästää paljon aikaa ja rahaa sekä tulostusmateriaalia. Testiä varten tehtiin yksi kokoonpanomalli, josta tehtiin kaksi eri versiota VRML-muodossa joista toiselle ei tehty mitään muutoksia ja toiselle käytettiin Siemens NX 8.0 –ohjelmiston yksinkertaistamistyökalua, joka teki kappaleesta täysin umpinaisen. Alla olevassa taulukossa näkyy molemmille malleille tehdyt muutokset juuri ennen tulostusta.

Tulostettavasta mallista tehtiin 1:5 pienoismalli tulostusohjelmistolla.

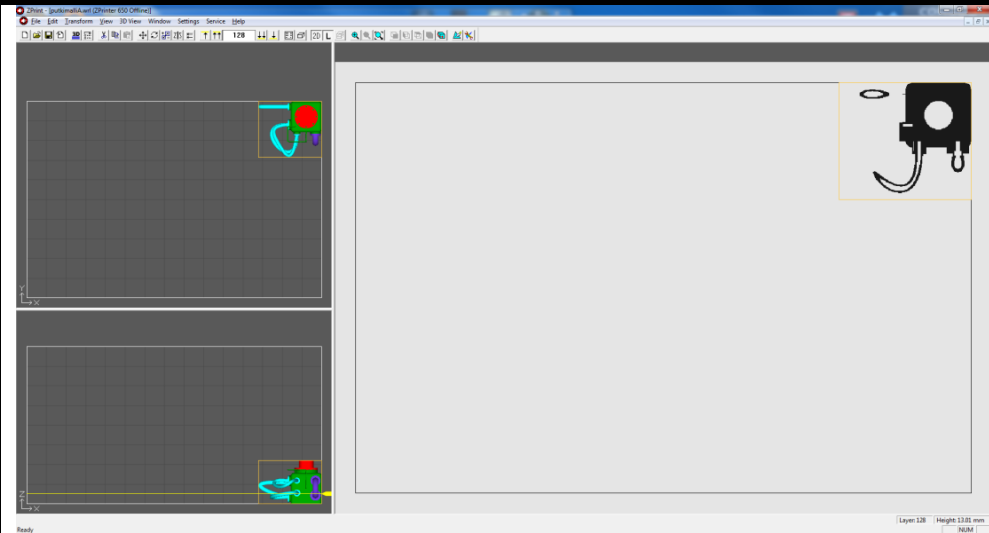
3D-Mallinnusohjelma: Siemens NX 8.0

Tulostusohjelmisto: Zprint

Muokkausohjelmisto tulostamista varten: Zedit Pro 1.1

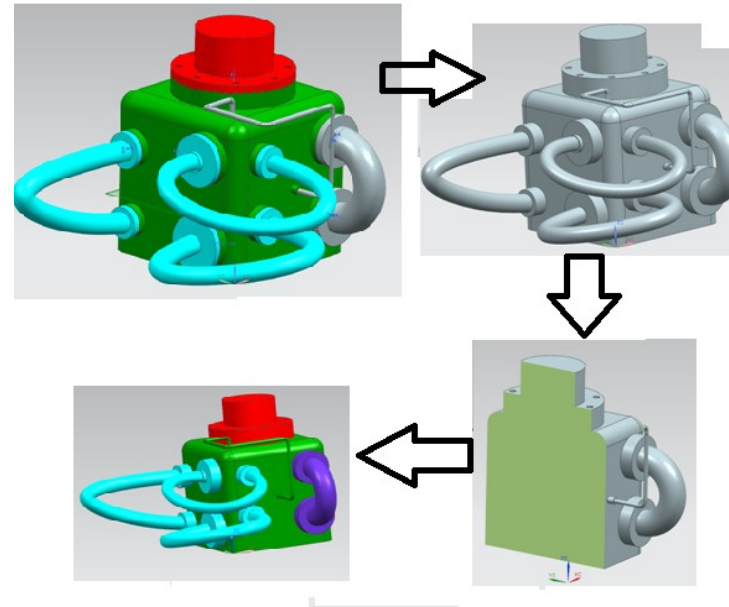


Malli A

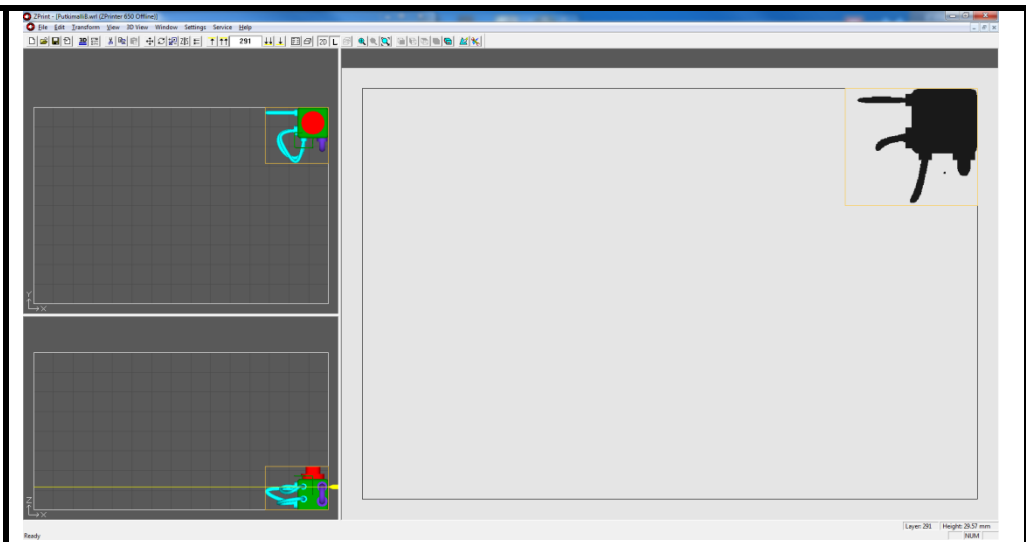
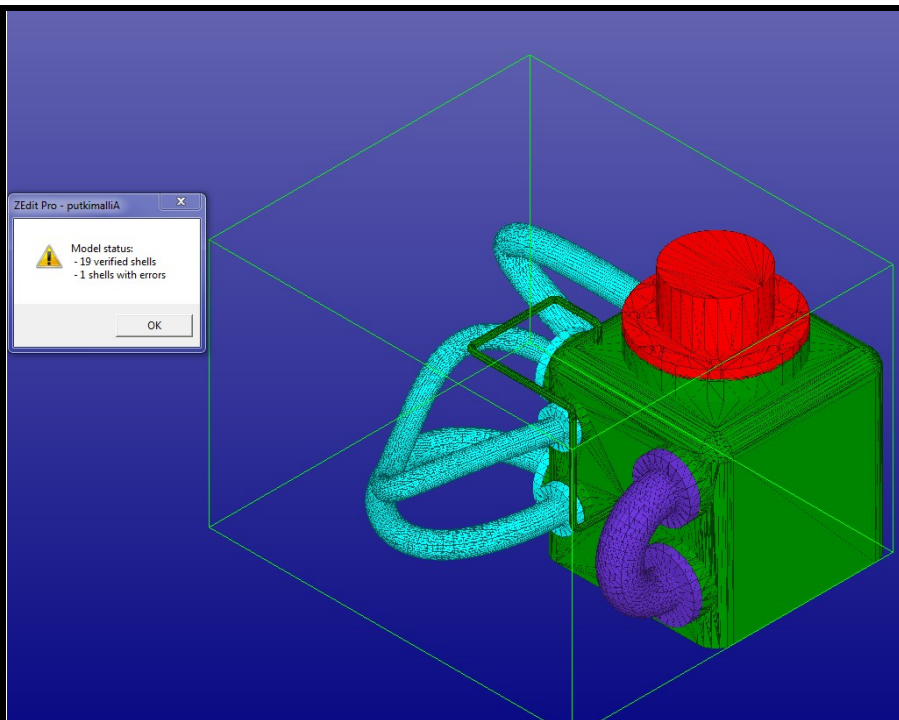


3D-malli siirretään suoraan Zprint -ohjelmistoon.

Malli B

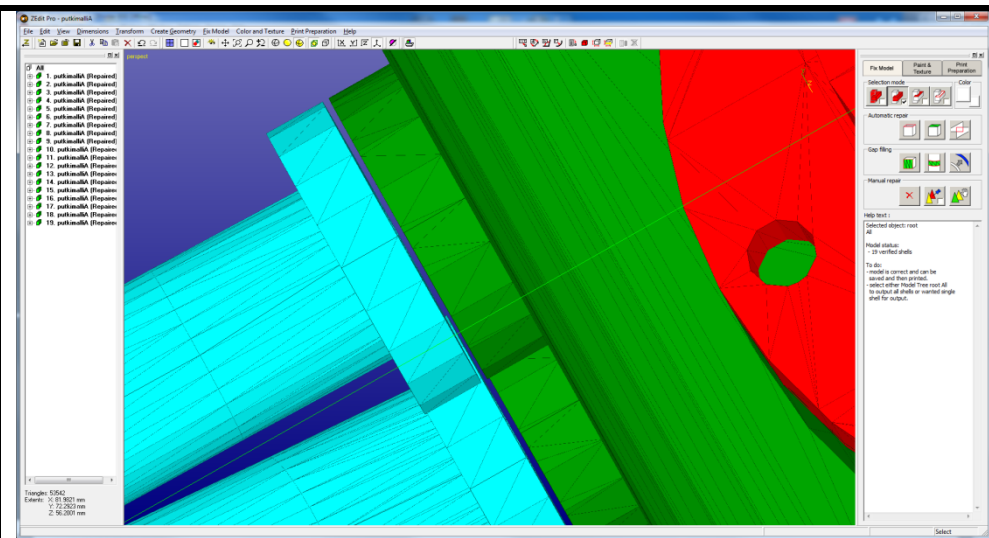


Alkuperäisen mallin Yksinkertaistaminen umpinaiseksi ja maalaaminen vei yhteensä 5 min.

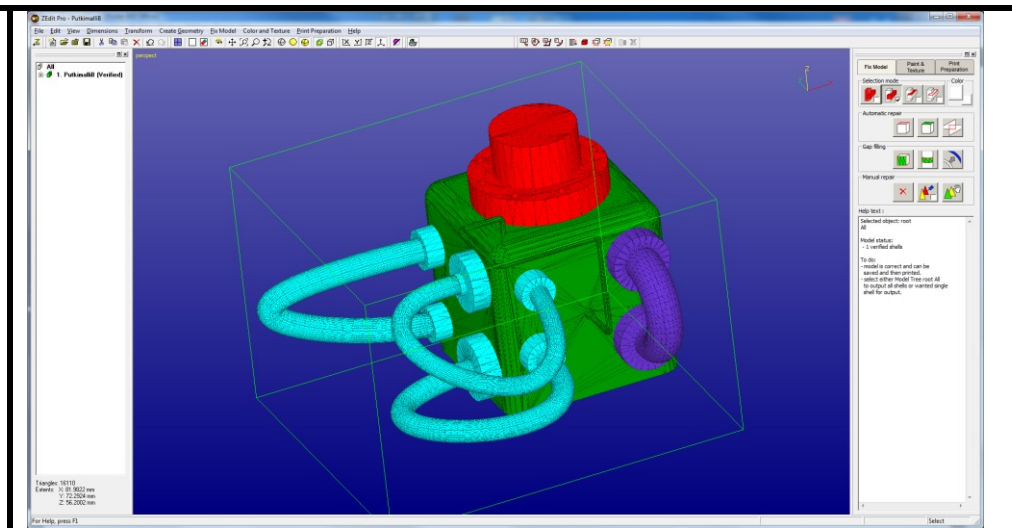


Mallin siirto Zprint -ohjelmaan, jossa suoritetaan tulostus ja muokkaus

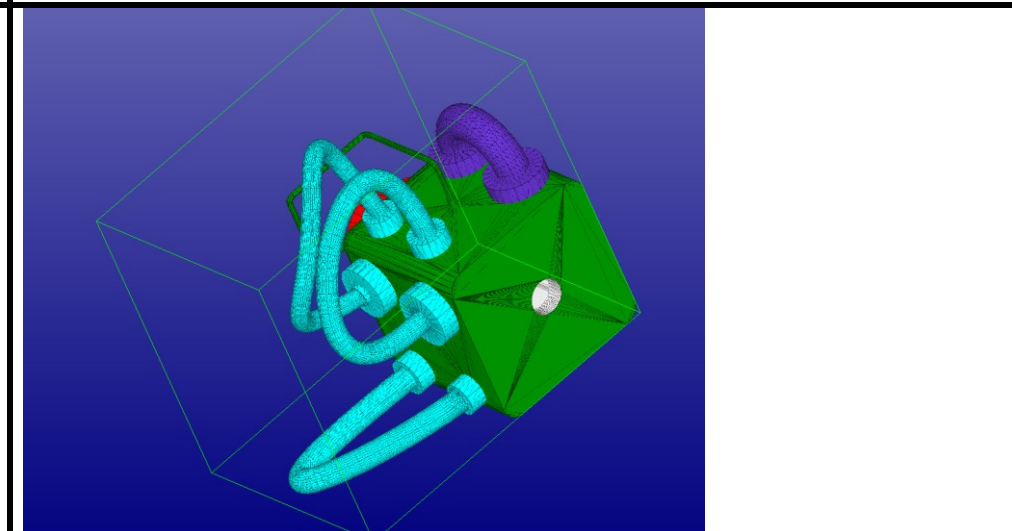
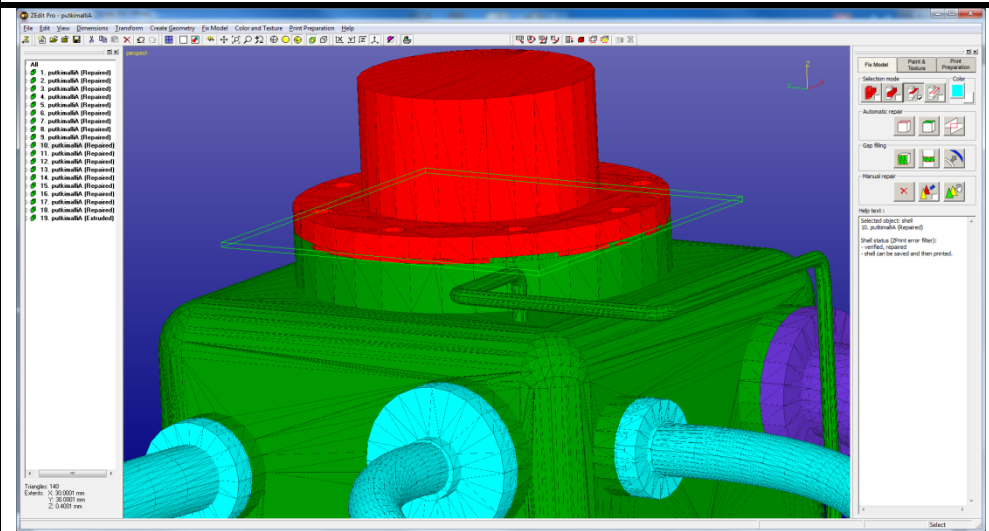
Mallin siirto Zedit Pro -ohjelmaan. Ohjelma huomaa mallissa virheen, joka korjataan automaattisesti.



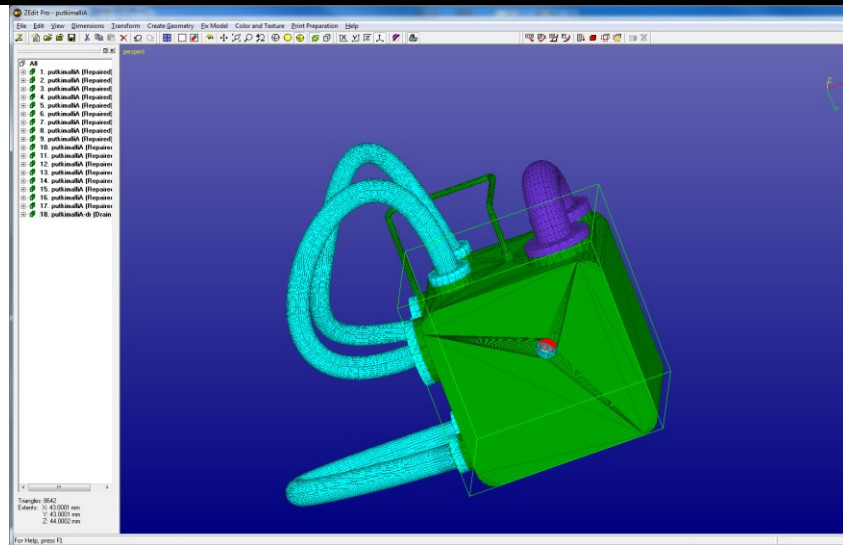
Huomataan irtonaiset putket ja pursotetaan putket kiinni runkoon.



Malli siirretään Zedit Pro -ohjelmaan ja siitä tehdään ontto.

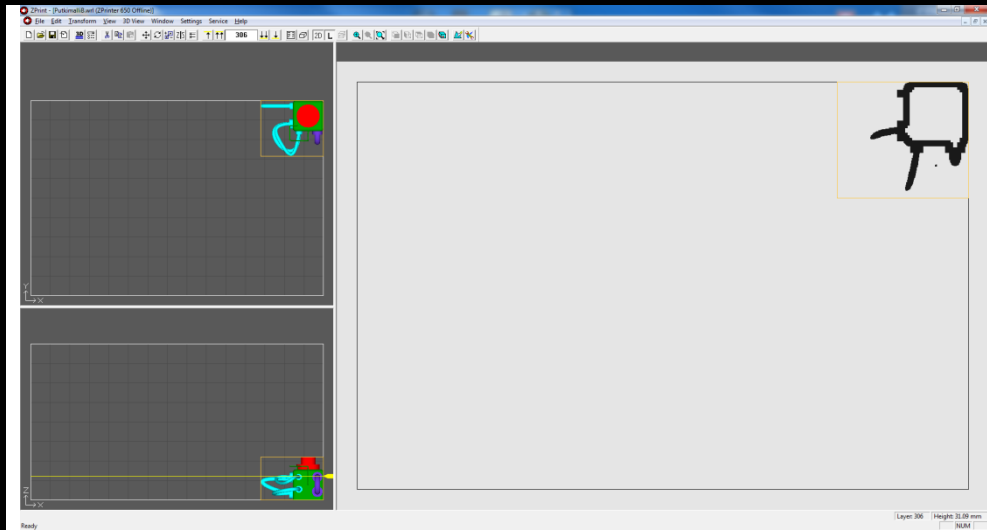


Mallista poistetaan ylimääräinen levy, joka on mallissa sisäkkäin rungon kanssa.



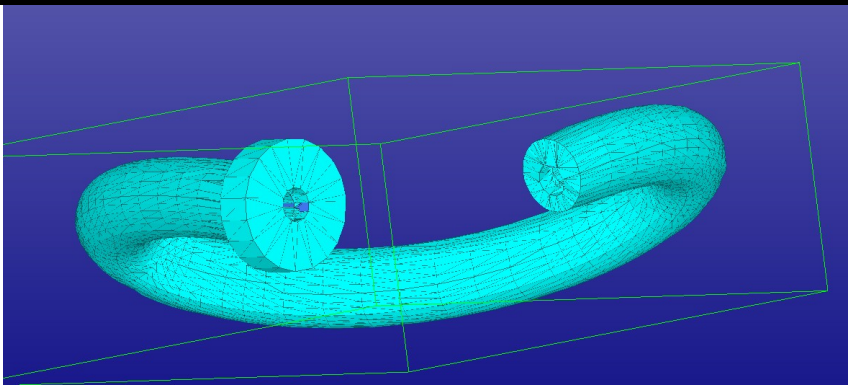
Pohjaan tehtiin pieni reikä, mikä

Malliin tehdään pohjaan reikä, jonka kautta tulostuksessa käyttämätön jauhe saadaan pois.

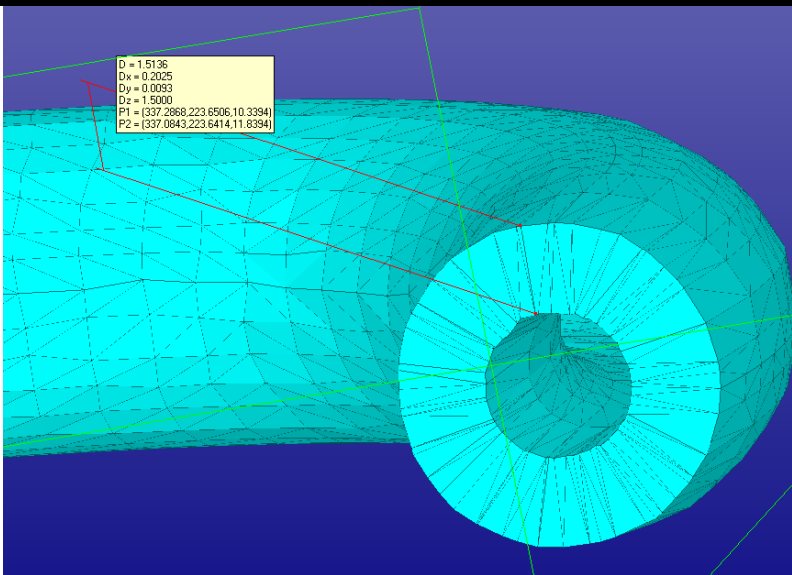


Malli on täysin valmis tulostettavaksi. Malli on ontto ja säästää hieman materiaalia ja kovetinta.

Mallin tekeminen ontoksi ja poistoreiän tekeminen vei 1 minuutin verran aikaa.

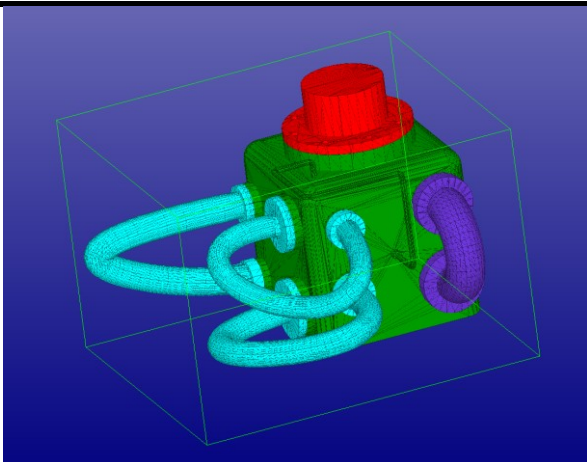


Putkien seinämät olivat liian ohuita, joten niiden seinämien paksuutta tuli muuttaa.



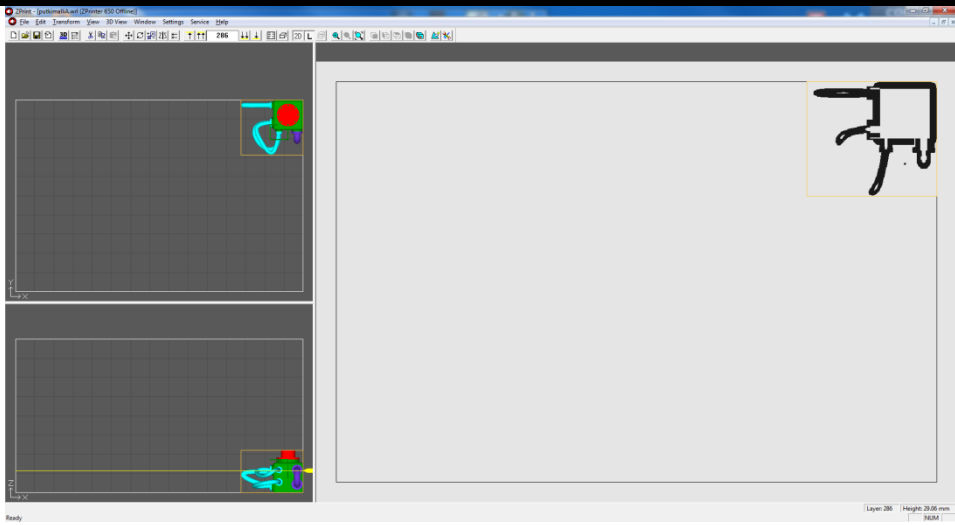
Paksuus oli muokkauksen jälkeen 1.5 mm, joka kestää näin

pitkissä putkissa, mikäli ollaan varovaisia.



Malli on muokattu ohjelmassa tulostettavammaksi ja on valmis tulostukseen.

Aikaa muokkauksiin kului 10 minuuttia



Mallissa näkyy tyhjiä pultin reikiä, mitkä osaksi saattavat aiheuttaa heikkoutta malliin ja putkien paksuus on melko ohut.

Aikaa kului 10 minuuttia. Aikaa kului seuraaviin kohteisiin:

- Ylimääräisen osan poisto
- Putkien kiinnittäminen malliin pursotuksen avulla
- Poistoreiän tekeminen
- Putkien seinämien paksuntaminen

Aikaa kului 6 minuuttia. Aikaa kului seuraaviin kohteisiin:

- ”Simplify Assembly” NX 8.0 ohjelmalla
- Kappaleen muokkaaminen ontoksi
- Poistoreiän tekeminen

Arvioitu tulostus raportti Zprint – ohjelmalla:

Ennen muokkausta

Date: Friday, March 01, 2013

Build Name: C:\Users\ällöpallo\Desktop\Pilottimallit\uus testi\putkimalliA.wrl

Printer Type: ZPrinter 650 Powder Type: ZP150

Build Height: 56.20 mm Layer Thickness: 0.1016 mm Number of Layers: 553

Estimated build time in monochrome mode:: 2 hours and 11 minutes

Estimated binder usage in monochrome mode: 110.8 ml

Estimated build time in color mode:: 2 hours and 11 minutes

Estimated clear binder usage in color mode: 16.6 ml

Estimated color binder usage: Black = 18.4 ml; Yellow = 26.5 ml; Magenta = 19.6 ml; Cyan = 29.6 ml

Total volume of parts: 53.30 cubic centimeters.

Total surface area: 393.00 square centimeters.

Surface to volume ratio: 18.73.

Arvioitu kesto ja materiaalin kulutus raportti Zprint – ohjelmalla:

Ennen muokkausta:

Date: Friday, March 01, 2013

Build Name: C:\Users\ällöpallo\Desktop\Pilottimallit\uus testi\PutkimalliB.wrl

Printer Type: ZPrinter 650 Powder Type: ZP150

Build Height: 56.20 mm Layer Thickness: 0.1016 mm Number of Layers: 553

Estimated build time in monochrome mode:: 2 hours and 11 minutes

Estimated binder usage in monochrome mode: 111.6 ml

Estimated build time in color mode:: 2 hours and 11 minutes

Estimated clear binder usage in color mode: 28.8 ml

Estimated color binder usage: Black = 18.4 ml; Yellow = 22.1 ml; Magenta = 19.4 ml; Cyan = 22.9 ml

Total volume of parts: 79.17 cubic centimeters.

Total surface area: 163.80 square centimeters.

Surface to volume ratio: 5.26.

Muokkauksen jälkeen:

Date: Friday, March 01, 2013

Build Name: C:\Users\ällöpallo\Desktop\Pilottimallit\uus
testi\zpr\putkimalliA.zbd

Printer Type: ZPrinter 650 Powder Type: ZP150

Build Height: 56.20 mm Layer Thickness: 0.1016 mm Num-
ber of Layers: 553

Estimated build time in monochrome mode:: 2 hours and 11
minutes

Estimated binder usage in monochrome mode: 112.9 ml

Estimated build time in color mode:: 2 hours and 11 minutes

Estimated clear binder usage in color mode: 17.4 ml

Estimated color binder usage: Black = 18.4 ml; Yellow = 25.9
ml; Magenta = 20.1 ml; Cyan = 31.1 ml

Total volume of parts: 61.84 cubic centimeters.

Total surface area: 472.76 square centimeters.

Surface to volume ratio: 19.42.

Muokkauksen jälkeen

Date: Friday, March 01, 2013

Build Name: C:\Users\ällöpallo\Desktop\Pilottimallit\uus
testi\zpr\PutkimalliB.zbd

Printer Type: ZPrinter 650 Powder Type: ZP150

Build Height: 56.20 mm Layer Thickness: 0.1016 mm Num-
ber of Layers: 553

Estimated build time in monochrome mode:: 2 hours and 10
minutes

Estimated binder usage in monochrome mode: 107.1 ml

Estimated build time in color mode:: 2 hours and 10 minutes

Estimated clear binder usage in color mode: 24.5 ml

Estimated color binder usage: Black = 18.4 ml; Yellow = 22.1
ml; Magenta = 19.4 ml; Cyan = 22.8 ml

Total volume of parts: 42.74 cubic centimeters.

Total surface area: 239.05 square centimeters.

Surface to volume ratio: 14.21.

Loppupäätelmät

Malli A teetti paljon töitä muokkauksessa ja esimerkiksi noin pitkien putkien paksuus ei ole kovin hyvä vaikka seinämäpaksuutta muokattiinkin paksummaksi. Aikaa kului reipas 10 minuuttia ja kappaleen muokkaaminen oli hieman rajallista. Mallin sisustaa ei alettu muokkaamaan umpinaiseksi, sillä se olisi vienyt selvästi paljon enemmän aikaa. Tuloksena seinämän paksuus oli 4 mm, mikä kestää tulostettuna ympäristön rasitettua todella hyvin. Malli A käytti muokkauksen jälkeen enemmän tulostusmateriaalia, sillä putkien seinämiä oli paksunnettava. Hyvää tässä mallissa olikin nimenomaan se, että eri osien paksuntaminen oli mahdollista. Ohuiden yksityiskohtien, kuten antennin paksuntaminen on mahdollista vain, mikäli Zedit Prossa paksunnettavaa osaa ei olla sulautettu yhteen suureen kokoonpanoon.

Malli B oli muokattu yksinkertaistamistyökalun avulla Siemens NX:llä. Muokkaaminen tulostimen ohjelmistolla jäi vähäiseksi ja käytännössä tehtäväksi jäi ainoastaan tulostaminen. Yhteensä käytettiin aikaa 6 minuuttia, johon kuului tulostettavan kappaleen muokkaaminen ensiksi Siemens NX:llä ja sitten mallin tekeminen ontoksi tulostimen ohjelmistolla. Putket olivat umpinaisia, joten niiden kestävyys on paljon parempaa kuin Malli A:ssa muokkauksen jälkeen. Mallin seinämän paksuuden pystyi määrittelemään erikseen ja sen avulla pystytään paljon vaikuttamaan tulostetun mallin kestävyteen ja kulutettavaan tulostusmateriaaliin. Värien laittaminen muokattuun kappaleeseen ei onnistunut aivan samalla tavalla kuin muokkaamattomassa kappaleessa. Muokatussa kappaleessa laipat pursotettiin kiinni runkoon, jolloin NX ymmärsi osat yhdeksi. Väriyksessä pystyttiin värittämään pelkästään erilliset pinnat, joten putken väri tuli myös rungossa olevaan laippaan. Väriin muokkaaminen olisi voitu muokata pursottamalla laippojen väli niin, että olisi käytetty pienempää halkaisijaa pursotettavassa osiossa.

Tulostusmateriaalia ja kovetinta kulutettiin Malli A:ssä enemmän kuin Malli B:ssä. Näkyvämpien tulosten saamiseksi mallin olisi pitänyt olla selvästi monimutkaisempi ja sisältää esimerkiksi paljon ohuita seiniä, sillä ne ovat yleensä ne ongelmat, mihin tulostaessa törmätään

helposti pienoismalleja tehdessä. Monimutkaisen kappaleen muokkaaminen olisi kestänyt Zedit Pro:lla selvästi kauemman ja pahimmillaan osa muokkauksista olisi ollut mahdotonta tehdä, mikäli mallia ei olisi muokattu 3D-mallinnusohjelmalla yksinkertaiseksi. Selväksi tässä kokeilussa tuli se, että kun kappale on umpinainen, niin sen tulostettavaksi muokkaus Zedit Pro:lla on paljon helpompaa ja säästää tulostusmateriaalia.