



Juha-Matti Miettinen

# **PIKAMALLITEKNIikkaAN SOVELTUVAN STL-TIEDOSTON LUOMINEN**

# **PIKAMALLITEKNIikkaAN SOVELTUVAN STL-TIEDOSTON LUOMINEN**

Juha-Matti Miettinen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2011  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU

## TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Kone- ja tuotantotekniikka	Insinöörityö	43	+	0
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Koneautomaatio	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulu PMC osuuskunta	Juha-Matti Miettinen			
Työn nimi				
Pikamallitekniikkaan soveltuvan STL-tiedoston luominen				
Avainsanat				
STL-tiedosto, stereolitografia, stereolithography, pikamallinnus				

Tämän insinöörityön tarkoituksena on olla apuna henkilöille, jotka työskentelevät pikamallinnuksen parissa. Työssä käydään läpi STL-tiedoston muodostuminen ja sen luominen muutamalla yleisimmällä CAD-ohjelmilla. STL-tiedosto on CAD-ohjelmalla luodusta 3D-mallista tehty tiedosto, jossa mallin pinta esitetään kolmioiden avulla. Tätä tiedostoa käytetään lähes kaikissa pikamallinnuskoneissa. Toisinaan 3D-mallin tallentaminen STL-muotoon ei suju ongelmitta, ja tämän työn tarkoituksena onkin opastaa STL-tiedoston sekä CAD-mallien luonnissa.

Työn tavoitteena oli selvittää, mistä STL-tiedostoissa esiintyvät virheet johtuvat ja kuinka ne voitaisiin helpoiten korjata tai välttää. Työssä tutustuttiin ensin pikamallinnukseen ja STL-tiedoston muodostumiseen. Tarpeellisten tietojen hankkimisen jälkeen ryhdyttiin selvittämään syitä STL-tiedostoissa esiintyviin virheisiin. Virheet syntyvät yleisimmin kokemattomasta CAD-mallinnuksesta ja kappaleen monimutkaisesta muodosta. Virheet voidaan huomata STL-tiedostoa tallennettaessa tai viimeistään, kun pikamallinnuskoneen oma ohjelma käy STL-tiedoston läpi.

Virheetön STL-tiedosto saavutetaan parhaiten oikeaoppisella CAD-mallintamisella sekä markkinoilta löytyvillä kyseiseen aiheeseen tehdyillä korjausohjelmilla.

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

SANASTO

1 JOHDANTO .....	7
2 PIKAMALLINNUS .....	8
2.1 CAD-järjestelmän ja RP-koneen liittymä.....	8
2.2 CAD-malli STL-formaatiksi .....	9
2.3 Mallin valmistelu pikamallikoneen työasemassa .....	9
2.4 Pikamallinnus .....	10
2.5 Pikamallinnusmenetelmät.....	12
2.5.1 Stereolitografia (SLA).....	12
2.5.2 Selective Laser Sintering (SLS) .....	13
2.5.3 Fused Deposition Modeling (FDM).....	14
2.5.4 Solid Ground Curing (Cubital) .....	14
2.5.5 Laminated Object Manufacturing (LOM) .....	15
2.5.6 Direct Shell Production Casting (DSPC) .....	16
2.6 3D-mallinnusohjelmat.....	17
2.7 Catia .....	17
2.8 IronCAD.....	18
2.9 Autodesk Inventor .....	18
2.10 Solidworks .....	18
3 GEOMETRINEN TIEDONSIIRTO.....	20
3.1 IGES.....	20
3.2 ACIS SAT .....	21
3.3 STL-formaatti.....	21
3.3.1 ASCII ja binääri .....	24
3.3.2 ASCII.....	25
3.3.3 Binääri.....	26
3.4 Hyvä STL-tiedosto.....	27
3.5 Mallintaminen ja STL:n luonti IronCADillä .....	28
3.6 Kappaleen luonti.....	28
3.7 Ohje STL-tiedoston luontiin .....	29
3.8 Mallintaminen ja STL:n luonti Solidworksillä.....	31

3.9 Kappaleen luonti.....	31
3.10 Ohje STL-tiedoston luontiin .....	32
3.11 Mallintaminen ja STL:n luonti Catialla.....	34
3.12 Kappaleen luonti.....	35
3.13 Ohje STL-tiedoston luontiin .....	36
4 VIRHEET STL-TIEDOSTOSSA .....	39
5 YHTEENVETO.....	43
LÄHTEET .....	44

## SANASTO

Boolean-menetelmä CAD-ohjelmissa käytettävä mallinnusmenetelmä

CAD Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu

CAM Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus

Export Ohjelmasta vietään tiedosto ulos halutussa muodossa

IGES Initial Graphics Exchange Specification, tiedostoformaatti

Import Ohjelmaan tuodaan haluttu tiedosto

Mb Megabitti

RP Rapid Prototyping, pikamallinnus

SAT 3D ACIS, mallinnusytimen tiedostoformaatti

Sketsi Luonnos pursotettavasta kappaleesta CAD-ohjelmissa

SLC SliCe format, tiedostoformaatti

STEP Standard Template for Electronic Publishing, tiedostoformaatti

STL Stereolithography, tiedostoformaatti

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Oulu PMC osuuskunta, joka on puolueeton asiantuntijaorganisaatio ja toimii verkostonsa kanssa yhteistyössä tuottaakseen tarkkuusmekaniikkaa. Päätoimialana on uusien teknologioiden tuominen suomalaiseen teollisuuteen, innovaatiotoiminta ja alan yritysten toiminta- ja kilpailukyvyn parantaminen. Oulu PMC osuuskunta hallinnoi noin 5 M€ arvosta tarkkuusmekaniikkaan liittyviä koneita ja ohjelmistoja, jotka sijaitsevat Oulun Teknologia kylässä. (1.)

Pikavalmistuksessa tulostuksen lähtökohtana on 3D-mallinnusohjelmalla tuotettu ehjä 3D-tiedosto. Tiedostomuotoina käytetään muun muassa STL- ja IGES-formaatteja, joista ensin mainittu on osoittautunut käytössä varmemmaksi.

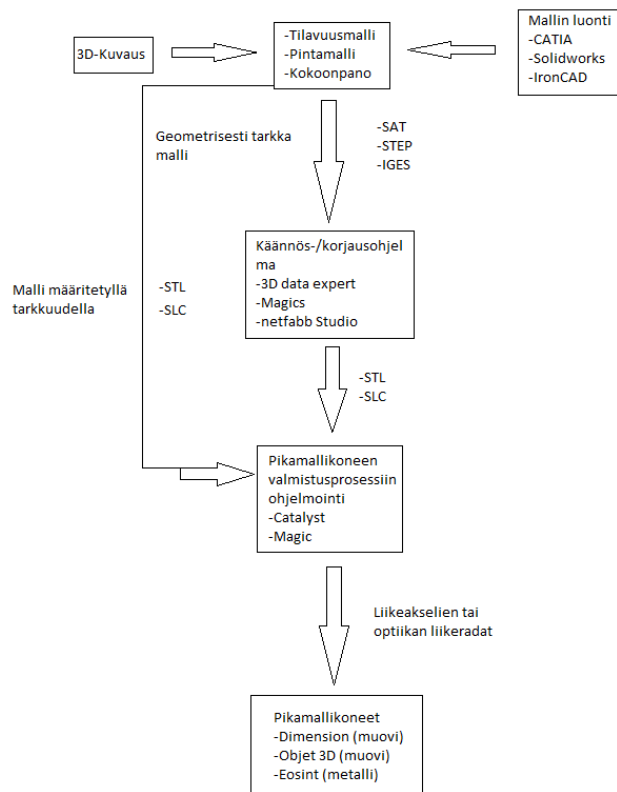
Oulu PMC huomasi ongelman, jossa sinne tulleissa STL-tiedostoissa oli ollut puutteita. Niiden seurauksena 3D-tulostin ei voinut suorittaa tulostusta. Myös Oulun seudun ammattikorkeakoulussa oli huomattu samoja vikoja. Tässä työssä pyritään selvittämään, mistä STL-tiedostojen virheet johtuvat ja kuinka asian voisi korjata.

## 2 PIKAMALLINNUS

### 2.1 CAD-järjestelmän ja RP-koneen liittymä

Pikamallitekniikka vaatii enemmän CAD-suunnittelulta ja malleilta kuin perinteiset valmistusmenetelmät. Käytännössä järjestelmällä pitäisi voida tuottaa kappaleen pinta- tai solidimalli. RP-malleja suunniteltaessa on huomattu, että pintamalleissa on enemmän ongelmia kuin solidimalleissa. Solidimallista tulee automaattisesti suljettu tilavuus eikä siinä ole pintamalleissa tyypillisesti esiintyviä aukkoja tai pintojen päällekkäisyyksiä. (2.)

Kuvassa 1 on esitetty suunnittelutiedon käsittelyprosessi ja siihen liittyviä tyypillisiä vaihtoehtoja. Kuva esittää samalla myös, miten prototyypin valmistus etenee pikamallitekniikalla. (2.)



KUVA 1. Suunnittelutiedon käsittelyprosessi RP-tekniikan yhteydessä



## **2.2 CAD-malli STL-formaatiksi**

CAD-ohjelmilla tehdyt kappaleet tallentuvat oletuksena ohjelman omalla sisäisellä esitysmuodolla. Tällainen esitysmuoto ei kelpaa RP-laitteiston ohjaustiedoksi. Useimmat RP-laitteistot hyväksyvät lähtötietona STL-formaatin mukaisen mallin, jossa kappale on esitetty kolmioina. Muunnoksen voi tehdä useimmilla CAD-ohjelmilla järjestelmän omassa esitysmuodossa tai jonkin graafisen standardiformaatin kautta kuten IGES. (2.)

Jos käytettävään CAD-ohjelmistoon voi liittää STL-kääntäjän, joka osaa lukea järjestelmän sisäistä esitysmuotoa, kannattaa tämä tehdä. Yleensä tällaisilla kääntäjillä saadaan paras lopputulos. Jos suoraa STL-käännöstä ei voida tehdä tai kääntäjä on huono, täytyy STL-tiedosto luoda jonkin standardiformaatin kautta kuten IGES tai ACIS SAT. (2.)

Lopullisen pikamallin tuottava yritys muuttaa yleensä piirretyn mallin omilla CAD-järjestelmillään STL-formaattiin. Tämän vuoksi on toivottavaa olla yhteydessä kyseisen yrityksen kanssa, jotta tiedostomuodoissa ei tule epäselvyyksiä. Formaatin käsittelyasetukset tulee siten tehdä jo muunnosta tehtäessä. Muunnosohjelman oletusasetukset eivät välttämättä ole kovin käyttökelpoisia, minkä vuoksi asetukset tulisikin aina tarkistaa ennen tiedoston luontia. (2.)

## **2.3 Mallin valmistelu pikamallikoneen työasemassa**

Malli sijoitetaan 3D-avaruuden ensimmäiseen neljännekseen tiettyyn asentoon parhaan lopputuloksen saamiseksi. Seuraavaksi malleille suoritetaan virheettömyystarkistus, jossa selviää, onko kyseinen kappale mahdollista tulostaa. Jos yrityksellä on käytössä korjausohjelma, jotkin virheet voidaan vielä korjata tarkistusvaiheessa. Muutoin malli joudutaan palauttamaan asiakkaalle. Kolmanneksi luodaan tukirakenne tukemaan kappaletta sekä pitämään se paikoillaan valmistusprosessin aikana. Malli- ja tukitiedosto muutetaan käyttäjän määrittelemien parametrien mukaisesti

CAD-tiedostoista viipaletiedostoiksi. Seuraavaksi viipaletiedostot sulautetaan yhdeksi tiedostoksi, josta luodaan lopulliset kappaleen valmistustiedostot SLA-konetta varten. (2.)

## 2.4 Pikamallinnus

Pikamallinnus sana tulee englannin kielen sanasta ”rapid prototyping”. Rapid prototyping, lyhyesti RP, on joukko menetelmiä, joilla 3D-mallista saadaan aikaan ilman lastuamista tai käsityötä nopeasti, tarkasti ja suhteellisen edullisesti käsin kosketeltava kolmiulotteinen malli. (3.)

Pikavalmistuksella tuotettuja muovi- tai metalliesineitä voidaan käyttää lopullisten tuotteiden näköismalleina, toiminnallisina malleina, työkalun valmistuksen malleina, valumalleina, työkaluina tai lopullisina tuotteina. Perinteisesti pikavalmistus on ollut tuotekehitysprosessia monella tavalla nopeuttava osa. Nykyään ollaan vähitellen siirtymässä vaiheeseen, jossa teknologia mahdollistaa myös lopullisten tai lähes lopullisten työkalujen tai komponenttien valmistuksen suoraan CAD-datasta ilman normaaleissa valmistusmenetelmissä tarvittavia aihioita, työkaluja ja materiaalihukkaa. (1.)

Käsin kosketeltava malli (kuva 2) on suunnittelussa hyödyllinen, koska suunnitteluohjelman ruudulta ei aina voi nähdä konkreettisesti kaikkea osan toimintaan vaikuttavia tekijöitä (3). Esimerkiksi Oulun yliopistollinen sairaala tekee harjoitusleikkauksia Oulun seudun ammattikorkeakoululta tilaamallaan potilaiden luustoista tehdyillä pikamalleilla. Näin ollen voidaan välttyä suurilta suunnitteluvirheiltä. Nykyään RP-mallien materiaalit ovat kehittyneet huomattavasti kestävämpään suuntaan, ja niistä voidaankin tehdä myös toimivia testiprotoja.



*KUVA 2. 3D-tulostimella tehty kappale, alkuperäinen kappale vasemmalla (4)*

Monelle termi 3D-tulostus on saattaa olla vieras ja erityisesti kysymyksiä herättää usein ero pikavalmistukseen. Mitään varsinaista virallista määritelmää tai rajanvetoa pikavalmistuksen (rapid prototyping = RP) ja 3D-tulostuksen välillä ei ole edes olemassa. (5.)

3D-tulostimet tai toimistotulostimet (kuva 3), kuten niitä myös nimitetään, perustuvat samaan peruseriaatteeseen kuin kaikki muukin pikavalmistus, ja onkin oikeampaa puhua pikavalmistuksen alalajista. 3D-tulostus terminä keksittiin 1990-luvun lopulla, kun RP-laitteiden joukkoon ilmestyivät ensimmäiset koneet, jotka eivät enää vaatineet teollisuusympäristöä, jatkuvaa valvontaa tai varsinaista käytön erityisosaamista. (5.)



*KUVA 3. Oulu PMC:n käyttämä Eden260 3D-tulostinlaitteisto (6)*

Pikavalmistulaitteet voidaan nykyään jakaa kolmen tyyppisiin laitteisiin:

- tekniset pikavalmistulaitteet
- 3D-toimistotulostimet (konseptimallintimet)
- rapid tooling -laitteet (työkalujen pikavalmistus).

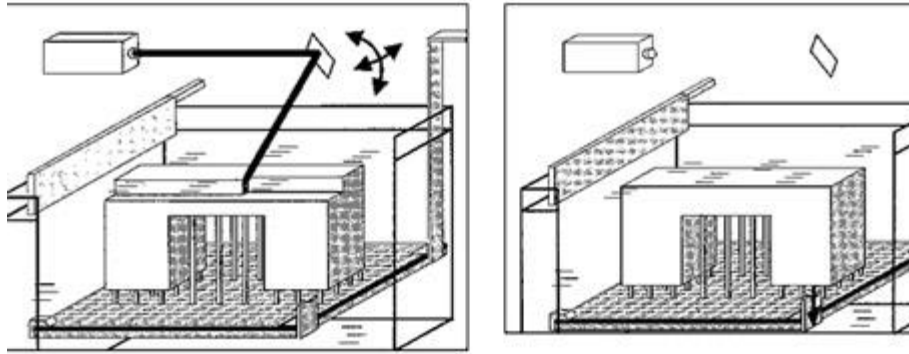
Tämä jako on siis vain epävirallinen luokittelu, joka toivottavasti hiukan selventää eri laitteistojen eroja. (5.)

## **2.5 Pikamallinnusmenetelmät**

Seuraavassa esitellään yleisimmät pikamallinnusmenetelmät.

### **2.5.1 Stereolitografia (SLA)**

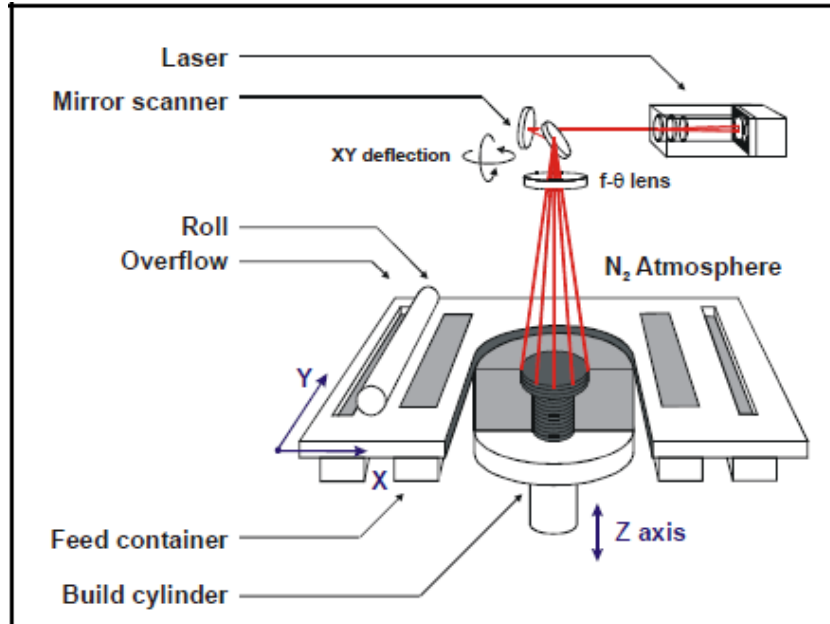
Stereolitografialla tarkoitetaan valmistusmenetelmää, jossa valokovettuvaa hartsia (photopolymer) kovetetaan altaassa (kuva 4) kerros kerrokselta käyttäen tarkoitukseen sopivaa laseria. Mallien materiaalina on joko akryyli- tai epoksipohjainen valokovettuva hartsi. (3.)



KUVA 4. Stereolitografian periaatekuva (7)

## 2.5.2 Selective Laser Sintering (SLS)

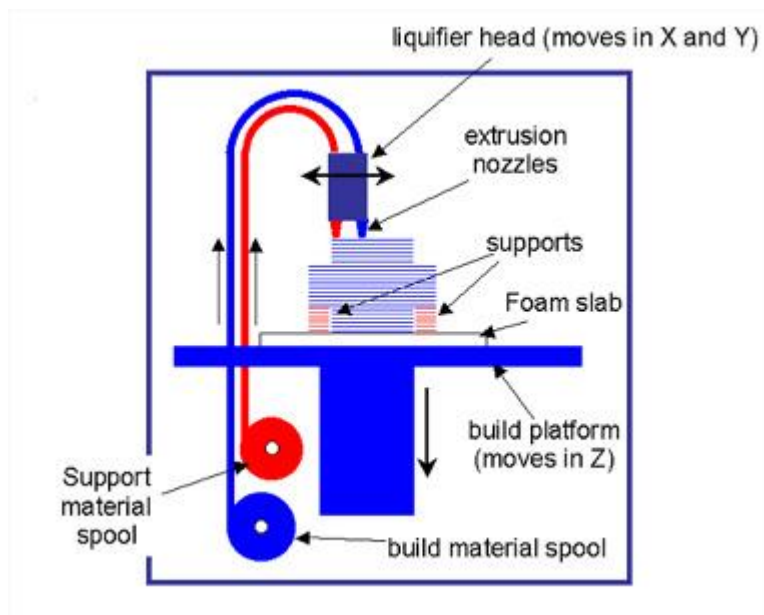
SLS on menetelmä, jossa ohut pulverikerros kuumennetaan laserin avulla (kuva 5) niin, että se sintraantuu tai sulaa kiinni edelliseen vastaavasti sintrattuun tai sulatettuun kerrokseen. Tällä menetelmällä voidaan suoraan valmistaa tarkkuusvaluvahasta valumalleja. Muita soveltuvia materiaaleja ovat polykarbonaatti, polyamidi ja polystyreeni. (3.)



KUVA 5. Selective Laser Sinteringin periaatekuva (8)

### 2.5.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

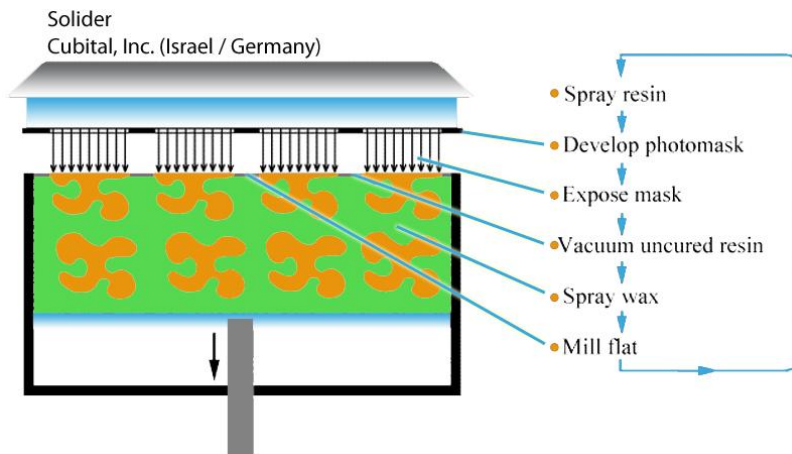
FDM on valmistusmenetelmä, jossa malli aikaansaadaan pursottamalla sulaa termoplastista materiaalia suuttimen kautta edellisten kerrosten päälle (kuva 6). Sula jäähmettyy erittäin nopeasti ja muodostaa kiinteän kappaleen. Prosessin materiaalit ovat tarkkuusvalu- ja koneistettava vaha, polyolefiinin ja polyamidin kaltaiset kestumuovit ja ABS-muovi. (3.)



KUVA 6. Fused Deposition Modelingin periaatekuva (9)

### 2.5.4 Solid Ground Curing (Cubital)

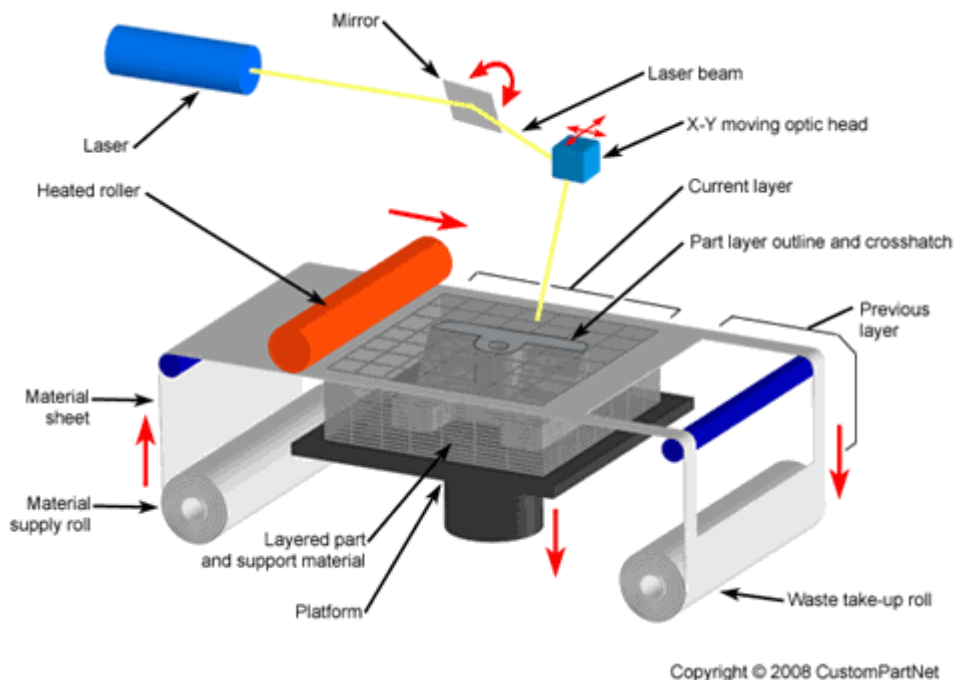
Cubital-menetelmässä rakennetaan kappale kovettamalla ohut kerros valokovettuvaa hartsia UV-valolla. Kerros valotetaan maskin lävitse (kuva 7), jolloin alla oleva hartsi kovettuu valoa läpäisevän maskin osan kohdalla. Kappaleen tukena käytetään vahaa, jonka sisällä valmis malli lopuksi on. (3.)



KUVA 7. Solid Ground Curingin periaatekuva (10)

## 2.5.5 Laminated Object Manufacturing (LOM)

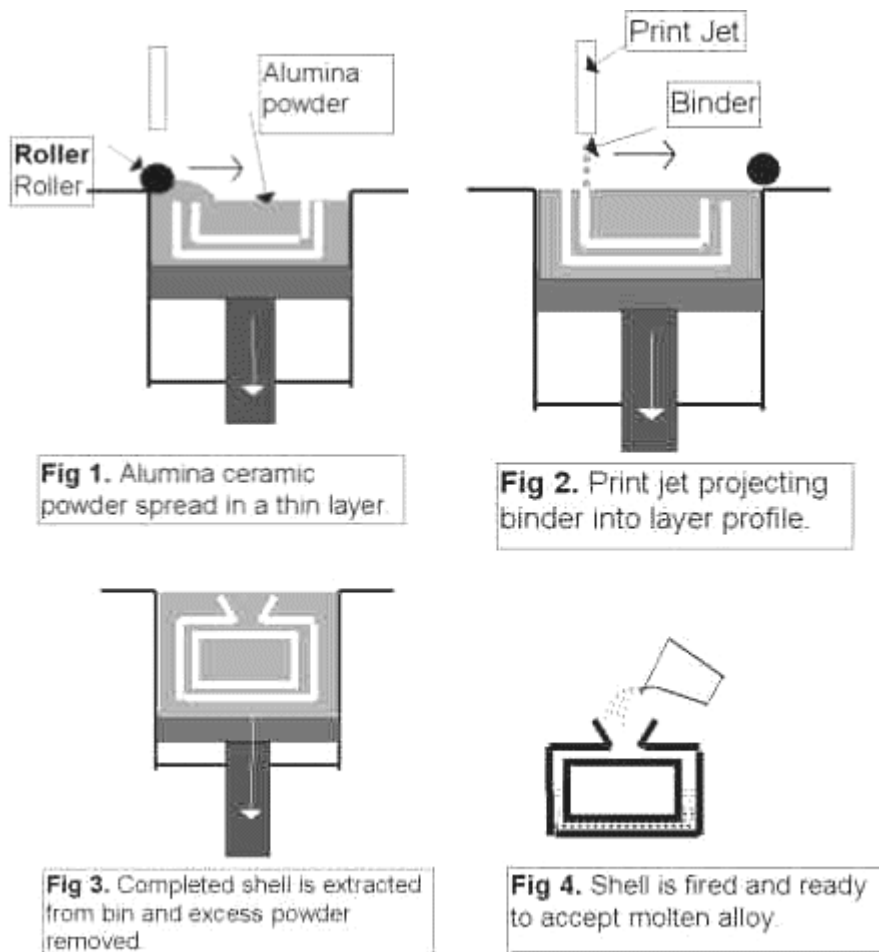
LOM on RP-menetelmä, jossa malli valmistetaan liimaamalla ohuita kalvoja päällekkäin ja leikkaamalla kerros ääriviivojen mukaan laserilla (kuva 8), ennen kuin seuraava kerros liimataan. Yleisin kalvomateriaali on tavallinen paperi, joka on päällystetty polyeteenillä. Liimaus tapahtuu käyttäen lämpöä ja puristusta, jotka aikaansaadaan kuumen valssin avulla. (3.)



KUVA 8. Laminated Object Manufacturing periaatekuva (11)

## 2.5.6 Direct Shell Production Casting (DSPC)

DSPC on menetelmä, jossa ei tehdä mallia vaan suoraan valumuotti. Keraamiseen pulveriin ruiskutetaan sideainetta (kuva 9) haluttuihin kohtiin. Näin voidaan kerros kerrokselta rakentaa kuorimainen keraamimuotti, jota sitten käytetään tarkkuusvalussa. (3.)



KUVA 9. Direct Shell Production Castingin periaatekuva (12)

Toimintatapoja lähes yhtämöntä kuin laitteistovalmistajia. Periaatteet voidaan jakaa kuitenkin muutamaan eri tyyppiin:

- nestettä kovettavat, jotka toimivat yleensä laserilla tai UV-valolla
- sulasta materiaalista lisäävät, "3D-printterit"
- pulverista sintraavat tai sitovat muovi-, metalli- tai kipsijauhetta
- levystä leikkaavat jotka ovat tyyppinä katoamassa.



## 2.6 3D-mallinnusohjelmat

Tuotteiden kolmiulotteista suunnittelua kutsutaan 3D-mallintamiseksi. Tällä tarkoitetaan, että mallia tehtäessä se näyttää juuri siltä, kuin se tulee näyttämään todellisuudessa. Kappaleet suunnitellaan kolmiulotteiseen avaruuteen, joka muodostuu x-, y- ja z-akseleista. Koordinaatisto rakentuu näytölle siten, että x-akseli on vaakatasossa, y-akseli on pystytasossa ja z-akseli on syvyys suunnan mukainen. Akselien positiiviset suunnat ovat näytöllä oikealle, ylös ja näytöstä ulospäin. (13, s.16 - 19).

Tällä hetkellä käytössä olevat 3D-mallinnusohjelmat vaihtelevat suuresti sisällöiltään ja sen suhteen, mitä kaikkea niillä pystytään tekemään. Ohjelmistoja löytyy tavanomaisista 2D-piirto-ohjelmista aina kehittyneempiin 3D-ohjelmistoihin saakka, jotka osaavat hyödyntää kappaleiden pintojen muotoja. Uudet ohjelmat sallivat kappaleen täyden pyörittelyn 3D-maailmassa ja tarkastelun kaikista mahdollisista kamerakulmista. Kaikista ohjelmista löytyy myös matemaattisia ohjelmia, joilla voidaan laskea kappaleen lujuuksia ottaen huomioon materiaalit ja kappaleen geometriat. (13, s. 31 - 32)

## 2.7 Catia

Catia (ransk. Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée) on suunnittelussa käytettävä 3D-mallinnusohjelmisto. Ohjelmisto on laajalti käytössä erityisesti lentokone-, auto- ja matkapuhelinteollisuudessa. Alun CAD-ohjelmasta Catia on kehittynyt tuotteita kolmiulotteisesti mallintavaksi suunnittelujärjestelmäksi. (14.)

Laajimmillaan Catia jäljittelee ympäristön ja tuotteiden toimintaa kattavilla virtuaalisilla simulaatioilla. Tuotteista voidaan rakentaa virtuaalisesti toimivia malleja, esimerkiksi tosiaikaisesti simuloitu lentokoneen ohjaamo toimintoineen. Catian vahvuutena voidaan pitää ydinalgoritmeja, pitkälle vietyä parametrisuutta ja kokoonpanojen käsittelyä, integraatiota ulkopuolisiin

järjestelmiin sekä virtuaalisten reaaliaikaisten 3D-simulointien mallinnusmahdollisuutta. Käyttöliittymältään ohjelma noudattelee Windows-standardeja: käyttö muun muassa perustuu vahvasti ikoneihin. (14.)

## **2.8 IronCAD**

IronCAD on vuonna 2001 Yhdysvalloissa, Atlantassa perustettu yritys. Version 10 myötä IronCADin tehokkuus etenkin suurten kokoonpanojen käsittelyssä on parantunut huomattavasti, pääosin ohjelmistoon lisätyn Tech Soft 3D:n kehittämän HOOPS® -teknologian ansiosta. Käyttäjälle tämä näkyy ensisijaisesti siten, että suuretkin mallit pyörivät ruudulla kevyesti ja osien aktivointi suurista kokoonpanoista on entistä nopeampaa. Myös 2D-piirustusympäristö hyötyy uudesta HOOPS®-teknologiasta merkittävästi; IronCAD V10 pystyy luomaan 3D-malleista 2D-piirustuksia parhaimmillaan jopa 10 kertaa nopeammin kuin ohjelmiston edelliset versiot, varsinkin kun työstetään suuria kokoonpanoja. (15.)

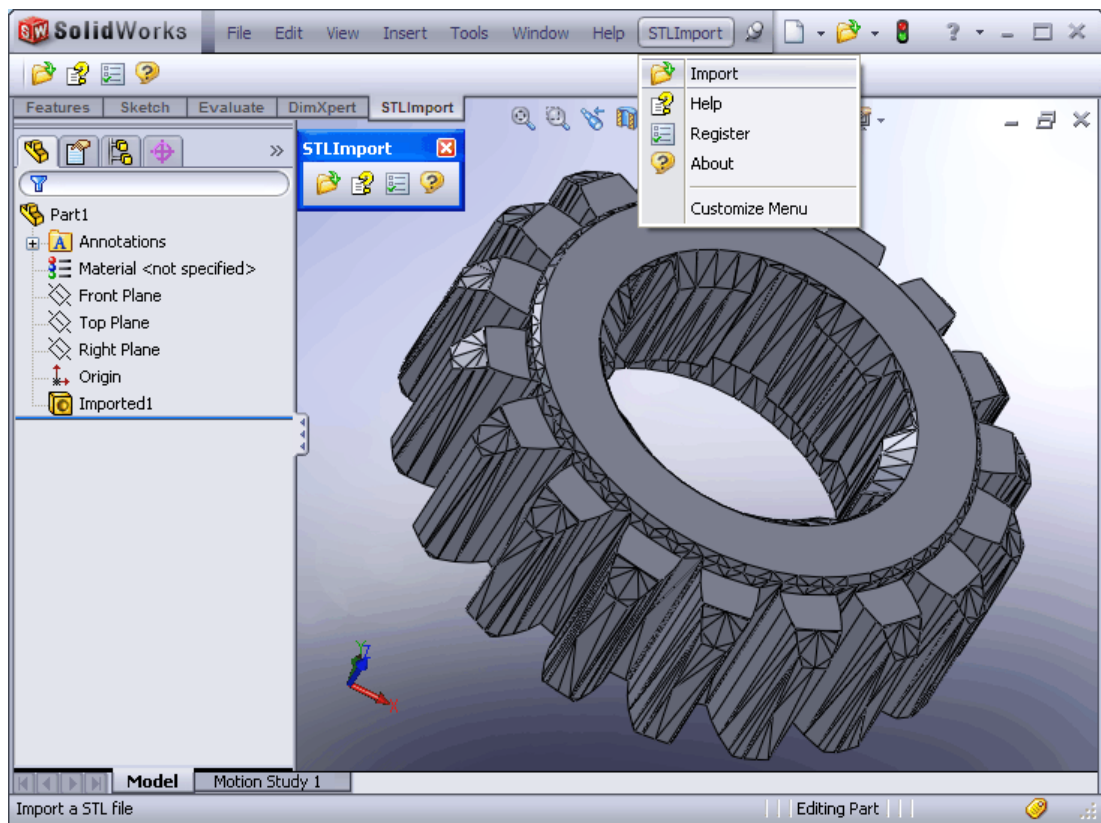
## **2.9 Autodesk Inventor**

Autodesk Inventor on amerikkalaisen Autodesk-ohjelmayrityksen ohjelma 3D-mallintamiseen. Tällä hetkellä käytössä oleva Inventor 2011 on jo 16. versio. Ensimmäinen versio julkaistiin vuoden 1999 loppupuolella, ja uusia versioita on ilmestynyt sen jälkeen tasaisin väliajoin aina nykypäivään asti. Ohjelma käyttää malleille IPT-tiedostotyyppiä ja kokoonpanokuville IAM-tiedostotyyppiä. Sillä voidaan myös tallentaa tiedostoja DWF-tyyppisinä, mikä mahdollistaa tiedostojen siirtämisen muiden Autodeskin ohjelmien välillä. (16.)

## **2.10 Solidworks**

SolidWorks (kuva 10) on ranskalaisen Dassault Systemsin kehittämä mallinnusohjelma. Sen ensimmäinen versio tuotiin julkisuuteen vuonna 1995, ja tällä hetkellä siitä on käytössä jo 17. versio. Lisäksi siitä tuodaan markkinoille seuraava versio vuoden 2010 loppupuolella. SolidWorks on

myös hyvin laajennettavissa erilaisilla laajennuspaketeilla. Laajennuksia valmistavat sekä Dassault Systems että myös kolmannet osapuolet. Tiedostojen tallentamiseen se käyttää Microsoftin Structured storage -tiedostotyyppiä, mikä tekee siitä hyvin yhteen sopivan monien ohjelmien kanssa. (16.)



KUVA 10. Solidworksillä tehty 3D-malli sekä kolmioverkko (17)

## 3 GEOMETRINEN TIEDONSIIRTO

Koska nykyaikainen tuotesuunnittelu joutuu yhä suorittamaan suunnitteluprosessin eri vaiheita ja osa-alueita erilaisissa suunnittelujärjestelmissä, mallinnus ja työkalusuunnittelu CAD-järjestelmässä ja työkaluvalmistuksen tarvitsemat tiedot tuotetaan CAM-järjestelmässä, jolloin järjestelmien välinen tiedonsiirto on oltava sujuvaa. (18, s. 254.)

Eri järjestelmien välille on järjestelmän toimittajien yhteistyön tuloksena syntynyt järjestelmäriippuvaisia kääntäjiä, joita tarvitaan tiedon siirtoon aina kaksi: toinen lukeva ja toinen kirjoittava kääntäjä jokaista järjestelmäparia kohden. Teoriassa on mahdollista valita käytettävät järjestelmät siten, että ne kirjoittavat ja lukevat toistensa formaatteja, mutta valinta sitoo käyttäjän tiettyihin järjestelmäparametreihin ja rajoittaa selvästi mahdollisuuksien lukumäärää, lisäksi järjestelmien välinen tiedonsiirto ei silti ole täysin kitkatonta etenkin version vaihdoksien aikaan. (18, s. 254.)

Käytännössä kuitenkin harvat järjestelmät lukevat tai kirjoittavat suoraan toisten järjestelmien omia tiedostoformaatteja siksi geometrioiden siirtoon eri suunnittelujärjestelmien välille on ollut pakko kehittää järjestelmästä riippumattomia geometriatiedon esitystapoja. (18, s. 254.)

### 3.1 IGES

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) oli ensimmäinen neutraalin CAD-tiedonsiirron määrittelevä standardi. IGES on nykyään lähes jokaisen järjestelmätoimittajan tukemana kaikkein laajimmalle levinnyt neutraali tiedonsiirtomuoto. (18, s. 256.)

Pintoja tarkasti mallintava IGES määrittelee sekä tiedosto- että kieliformaatin ja tuotetiedon esityksen. Tuotetiedon määrytykset sisältävät geometrisen, topologisen ja ei-geometrisen osuuden. Geometriaosa määrittelee tuotteen geometriaelementtien esitystavan. Topologiaosa määrittelee

geometriaelementtien väliset suhteet. Tuotteen geometria määritellään näiden kahden avulla. Ei-geometrinen osuus voidaan jakaa kolmeen osaan: huomautuksiin, määrittelyihin ja järjestysosaan. Huomautusosaan kuuluvat mitat, huomautukset, tekstit yms. Määrittelyosa mahdollistaa erikoisominaisuuksien määrittelyn tietyille elementille tai elementtiryhmiä. Järjestysosa määrittää geometria-, huomautus- tai ominaisuuselementtien ryhmittelyn. (18, s. 256.)

IGES-tiedostojen rakenteesta aiheutuva koko ja siihen suoraan liittyvä tiedoston prosessointiaika ovat käytännön ongelmia. IGES sisältää rakenteeltaan tiukasti määritettyjä tiedostoja, kuten 80 merkin pituiset rivit sekä ASCII-teksti, joissa jokaiseen elementtiin on löydettävä viittaus sekä hakemisto- että parametrisiosta kaksisuuntaisin osoittimin varustettuna. Tämänkaltaisen osoitinrakenteen monimutkaisuus on potentiaalinen virheiden aiheuttaja tiedonsiirron käänkösvaiheessa. (18, s. 257.)

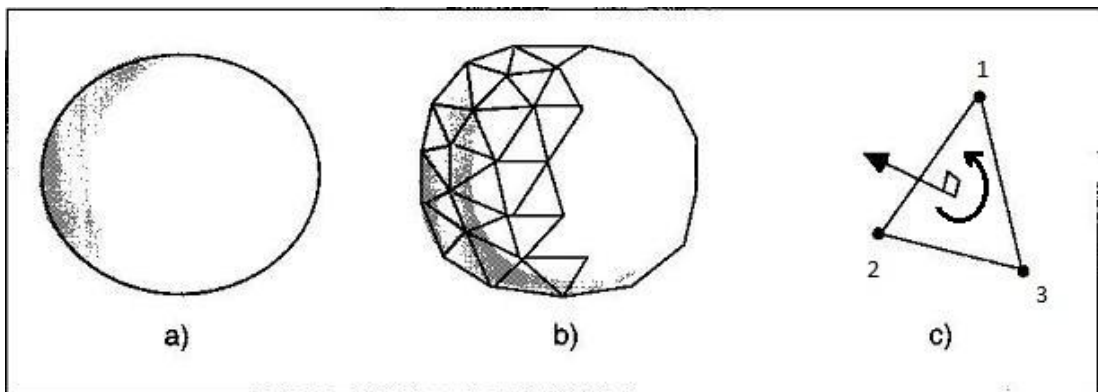
### **3.2 ACIS SAT**

Spatial Tehcnology Inc:n (STI) ACIS on yksi nykypäivän nopeimmin leviävistä mallinnusytimistä. ACIS luo mahdollisuuden avoimeen arkkitehtuuriin rautalanka-, pinta- ja tilavuusmallille yhteisellä ja yhdenmukaisella tietorakenteella. Kaikki ACIS-ydintä käyttävät mallintimet tallentavat tiedostonsa SAT-muotoon. Tällä saavutetaan hyvä yhteensopivuus ACIS:ta käyttävien mallinnusjärjestelmien välillä. (18, s. 258.)

### **3.3 STL-formaatti**

STL-formaatti (Stereolithography) kehitettiin alun perin pikavalmistuslaitteistoihin siirrettävän geometrian esitystavaksi. Pikavalmistustekniikan yleistyessä ja sulautuessa osaksi tuotekehitysprosessia on yhä useampi järjestelmätoimittaja liittänyt omaan järjestelmäänsä STL-tuen. Yksinkertaisuutensa vuoksi STL on varma ja luotettava tiedonsiirtoformaatti, joka on yleisessä käytössä CAD/CAM-tiedonsiirrossa. (18, s. 259.)

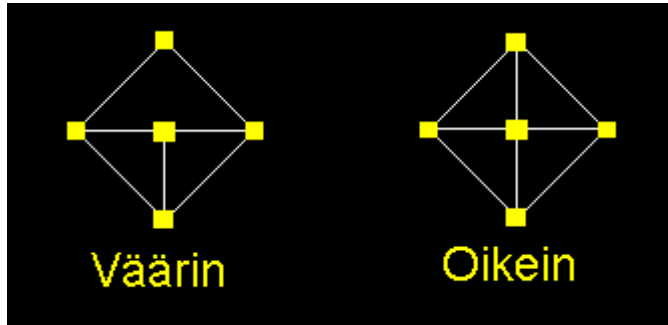
STL-malli syntyy, kun 3D-mallin päälle luodaan kolmioverkko. Kolmioitu malli on approksimaatio oikeasta mallista tietyllä tarkkuudella. Tätä pidetäänkin STL-formaatin suurimpana ongelmana. Kun kaareva pinta kolmioidaan joudutaan pinnan kaarevuudesta tekemään approksimaatio, sillä kolmiot ovat aina tasapintoja ja sellaisena ”oikaisevat” eivätkä seuraa aivan tarkasti pinnan kaarevuutta. (18, s. 259.) Pientämällä kolmioiden tai tahojen kokoa saadaan tarkempi malli, mutta samalla kasvavat kolmioiden määrä ja tiedoston koko. Jokaista kolmiota edustaa pintanormaali (nuoli kuvan 11 c-kohdassa), sekä kolme solmupistettä, jotka edustavat kolmion kärkiä, merkittynä vastapäivään kierteen. STL-mallin maksimitarkkuus on n.  $\pm 0,01$  mm, ja sillä saadaan tarkkoja 3D-tulosteita pienten yksityiskohtien kera. (19.)



KUVA 11. Aluperäinen malli (a) ja sen kolmioinnin tulos (b) sekä yksittäisen kolmion esitystapa (c) (18, s. 228)

Alkuperäisen STL-formaatin on täytettävä seuraavat ehdot: pintanormaalin ja jokaisen kolmion jokaisen kärjen paikka on määritetty kolmella koordinaatilla, joten jokainen kolmio sisältää 12 numeroa. Jokainen kolmio on osa kappaleen sisä- ja ulkopuolen välistä rajaa. Kolmioiden suunta (mikä puoli on ulos ja mikä sisään) määräytyy kahdella tapaa, jotka on oltava johdonmukaiset. Ensiksi pintanormaalin suunta on oltava ulospäin. Toiseksi solmukohtat ovat kirjoitettu vastapäiväisessä järjestyksessä, kun esinettä katsotaan ulkopuolelta (oikean käden sääntö). Jokaisen kolmion on jaettava kaksi solmukohtaa jokaisen vieressä olevan kolmion kanssa (vertex-to-vertex-sääntö), kuten on esitetty kuvassa 12. Esitettynä olevan objektin on

sijaittava ensimmäisessä oktantissa (kaikkien solmukohtien koordinaattien on oltava positiivisia), koska viipaloinnin aikana kaikki luvut kääntyvät positiivisiksi ja ero positiivisen ja negatiivisen luvun välillä häviää. (19.)



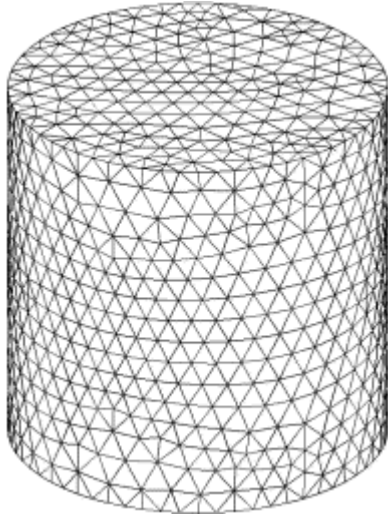
KUVA 12. Vertex-to-vertex-sääntö

On myös olemassa STL-sovelluksia, joilla STL-tiedostoa voidaan jalostaa. Jos pintanormaalit ei ole määritelty, se voidaan helposti laskea solmukohtien koordinaateista käyttämällä oikean käden sääntöä. Lisäksi solmukohtat voivat sijaita missä tahansa oktantissa. Kuvassa 13 näkyy mallinusohtelman omalla STL-kääntäjällä tehty pintakolmiointi. (19.)



KUVA 13. Alkuperäinen STL-verkko. 252 kolmiota, 128 solmukohtaa.  
Korkeus: 30 mm (20)

Viimeiseksi taho voi sijaita jopa kahden kappaleen rajapinnassa (tai saman kappaleen kahden osan välissä). Tämä tekee jalostetusta STL-formaatista (kuva 14) käyttökelpoisen yksittäisten 3D-objektien mallinnukseen. (19.)



*KUVA 14. Jalostettu. 2 302 kolmiota, 1 153 solmukohtaa (20)*

Kun malli siirretään tulostimelle, se ensin exportataan STL-tiedostoksi. STL-tiedosto viipaloidaan RP- koneessa tietynpaksuisiksi, ohuiksi viipaleiksi. Seuraava vaihe on mallin valmistus kerroksittain. Kerrospaksuudet ovat yleisimmin 0,06-0,25 mm. Tästä seuraa mallin pinnalle porrasmaisuutta, joka on suurin tarkkuuteen vaikuttava asia. Tarkkuus riittää kuitenkin useimpiin sovelluksiin. Kehitteillä on menetelmiä joissa 3D-malli viipaloidaan RP-tulostimelle valmiiksi, jolloin voitaisiin välttää kolmioinnista aiheutuva epätarkkuus. (3.)

### **3.3.1 ASCII ja binääri**

STL-standardi sisältää kaksi tiedostomuotoa: ASCII sekä binääri. Vaikka ASCII on yksityiskohtaisempi, silti binääri on yleisemmässä käytössä, koska STL-tiedostoista tulee pienempiä sekä niiden avaaminen ja viipalointi on nopeampaa. (19.)



### 3.3.2 ASCII

ASCII (akronyymi sanoista American Standard Code for Information Interchange) on 7-bittinen eli 128 merkkipaikan laajuinen tietokoneiden merkkistö, joka sisältää ensisijaisesti amerikanenglannissa tarvittavat kirjaimet, numerot, väli- ja erikoismerkkejä sekä eräitä ohjauskoodeja. Lähes kaikkien nykyisin yleisessä käytössä olevien tietokonemerkkistöjen 128 ensimmäistä merkkiä ovat samat kuin ASCII:ssa, joten ne voidaan luokitella ASCII:n laajennuksiksi. Unicode-merkkistön yhteydessä tätä ensimmäistä lohkoa kutsutaan latinalaiseksi perusosaksi. (14.)

ASCII kehitettiin 1960-luvulla paperille tulostavien kaukokirjoitinlaitteiden ja tietokonepäätteiden merkkistöksi ja ohjauskoodistoksi. Aikaisemmat laitteet käyttivät yleensä 5-bittistä Baudot-koodia. ASCII:n kehitti Bob Bemer. (Wikipedia. 2010, hakusanalla stl file format.) Merkkivalikoima perustuu lähinnä Yhdysvaltojen tarpeisiin. Tämä on aiheuttanut jatkuvia ongelmia ei-englanninkielisen tekstin käsittelyssä: esimerkiksi suomen kielen aakkosista kirjaimet A–Z sisältyvät kaikkiin ASCII-merkkistön muunnoksiin ja näkyvät siis käytännössä aina oikein, mutta niin sanotut ääkköset (Å, Ä, Ö) aiheuttavat yllättävän usein yhteensopivuusongelmia vielä nykyäänkin. (14.)

Ensimmäinen rivi ASCII-koodissa (kuva 15) on kuvausrivi, jonka täytyy alkaa englannin kielen sanalla “solid” pienillä kirjaimilla kirjoitettuna. Sitä seuraa lisäinformaatiot kuten tiedoston nimi, tekijä, päiväys ym. Viimeisen rivin täytyy olla avainsana “endsolid”. Kaikki rivit näiden välissä sisältävät kuvauksen yksittäisistä tahoista (19), kuten kuvassa 9 on esitetty.

```
solid name
{
  facet normal  $n_x$   $n_y$   $n_z$ 
  outer loop
  vertex  $v1_x$   $v1_y$   $v1_z$ 
  vertex  $v2_x$   $v2_y$   $v2_z$ 
  vertex  $v3_x$   $v3_y$   $v3_z$ 
  endloop
endfacet
endsolid name
```

KUVA 15. ASCII STL-tiedoston syntaksi (21)

### 3.3.3 Binääri

Binäärijärjestelmä, binaarijärjestelmä eli 2-järjestelmä on lukujärjestelmä, jonka kantaluku on kaksi. Toisin sanoen siinä on käytössä vain kaksi eri merkkiä lukujen esittämiseen. Tyypillisesti käytetyt symbolit ovat 0 ja 1. Binäärijärjestelmän toteuttaminen elektronisilla piireillä on suoraviivaista, ja tästä syystä muun muassa käytännössä kaikki nykyiset tietokoneet perustuvat siihen. Prosessoreissa ja muissa digitaalipiireissä nolla ja yksi esitetään usein kahtena eri jännitetasona. (Wikipedia. 2010, hakusanalla binääri.)

Binääri STL-tiedosto koostuu 80 bittisestä otsikkorivistä (kuva 16), joka voidaan tulkita kommentti rivinä. Kommenttiriviä ei periaattessa tarvitse huomioida, mutta se ei saisi koskaan alkaa sanalla "solid", sillä monet ohjelmat voivat siten tulkita sen ASCII-muotona. Otsikkorivin jälkeen seuraa 4-bittinen etumerkitön kerroin osoittamassa tiedoston kolmiotahojen määrän. Tämän jälkeen käydään vuorollaan läpi jokaisen kolmion tiedot ja tiedosto yksinkertaisesti loppuu viimeisen läpikäydyn kolmion jälkeen. (14.)

Bytes	Data type	Description
80	ASCII	Header. No data significance.
4	unsigned long integer	Number of facets in file
4	float	$i$ for normal
4	float	$j$
4	float	$k$
4	float	$x$ for vertex 1
4	float	$y$
4	float	$z$
4	float	$x$ for vertex 2
4	float	$y$
4	float	$z$
4	float	$x$ for vertex 3
4	float	$y$
4	float	$z$
2	unsigned integer	Attribute byte count

KUVA 16. Binääri STL-tiedoston syntaksi (21)

### 3.4 Hyvä STL-tiedosto

Tahot tai tasaiset kohdat osatiedostossa ovat yhteydessä stl-tiedoston resoluutioon. Hyvän STL-tiedoston koko on noin 5 Mb yksinkertaisille tiedostoille ja 10 Mb isoimmille ja monimutkaisemmille osille. Yleisesti ottaen jos osan koko ei osu tälle välille, sitä pitäisi muuttaa. (18.)

Avataan STL-tiedosto käytössä olevalla CAD-ohjelmalla ja varmistetaan, että osa näyttää suunnitelman mukaiselta. On syytä kiinnittää huomiota ylimääräisiin tasaisiin kohtiin mutkissa ja ääriviivoissa. Tarkistetaan myös onko tiedosto tuumissa vai millimetreissä, koska jotkin ohjelmat, kuten SolidWorks, tallentaa tiedoston millimetreissä, vaikka osan mitat olisivat tuumilla. Jotkin CAD-sovellukset eivät osaa aukaista STL-tiedostoja, mutta internetissä on tarjolla ilmaisohjelmia kuten Marcam Viewer, jolla voi katsella STL-tiedostoja. (18.)

Kun kolmionti on karkeaa, osan mutkaisilla pinnoilla voi nähdä tasaisia kohtia (kuva 17). Tasaiset kohdat, jotka näkyvät STL-tiedostossa, näkyvät myös kappaleessa, kun se tulostetaan. (18.)



*KUVA 17. Liian pieni resoluutio (22)*

Vaikka osat tulostuvat korkeallakin resoluutiolla kuten kuvassa 18, voi se aiheuttaa viivästyksiä prosessoinnissa tiedoston suuren koon takia. Resoluution liiallinen nostaminen ei paranna tulostuksen laatua. Huolehdataan että STL-tiedostojen koot ovat alle 10Mb. (18.)



*KUVA 18. Liian suuri resoluutio (22)*

Hyvien STL-tiedostojen kolmiointi pitäisi näyttää samansuuntaiselta kuin kuvassa 19. Ne ovat helposti käsiteltäviä ja niillä voidaan tuottaa erittäin hyviä prototyyppjejä. (11.)



*KUVA 19. Hyvä resoluutio (22)*

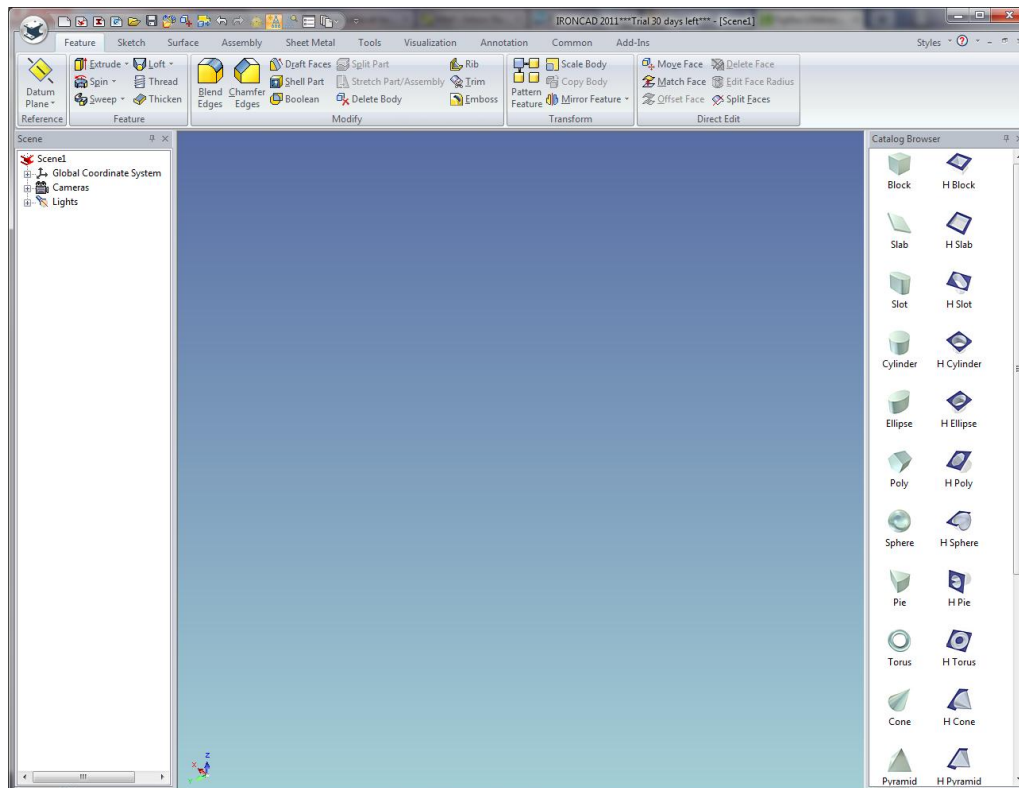
### **3.5 Mallintaminen ja STL:n luonti IronCADilla**

Seuraavassa ohjeistetaan STL-tiedoston luonti sekä parametrien asettelu IronCADilla.

### **3.6 Kappaleen luonti**

IronCADilla kappaleen luonti eroaa muista 3D-mallinnusohjelmista siten, että sillä voi "pudottaa" työpöydälle valmiita geometrisia tilavuusalkioita sekä muokata että yhdistellä niitä (kuva 20). Tämä ominaisuus tekee mallintamisesta huomattavasti nopeampaa kuin perinteisillä sketsin piirtämis- ja pursotus menetelmillä. IronCADilla voi myös tehdä kappaleita perinteisellä tyyllillä sekä tallentaa valmiita malleja kirjastoon, josta ne on tarvittaessa helppo pudottaa työpöydälle kuten valmiitkin mallit. IronCAD on myös

suhteellisen helppokäyttöinen. IronCADin perusteet oppii jo 4 tunnin pikakurssin aikana.

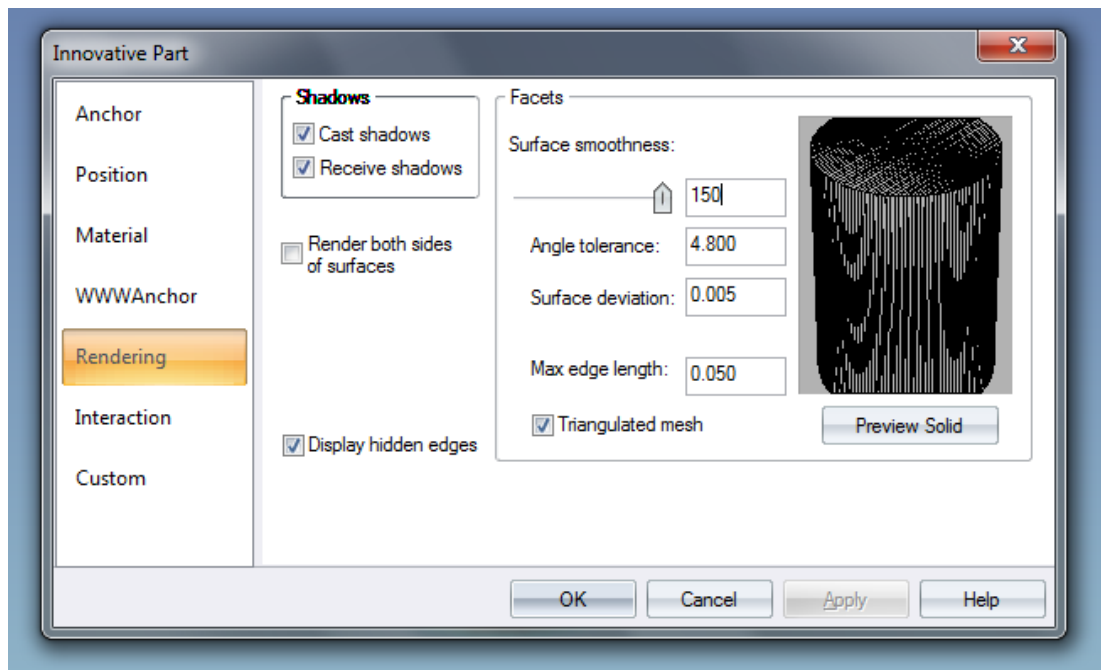


*KUVA 20. IronCADin käyttöliittymä. Oikeassa reunassa luettelo valmiista geometrisista tilavuusalkioista*

### **3.7 Ohje STL-tiedoston luontiin**

STL-tiedoston luonti IronCADilla etenee seuraavasti:

1. Avataan haluttu kappale IronCADilla.
2. Kappaletta napsautetaan hiiren oikealla näppäimellä ja valitaan pudotusvalikosta Part Properties.
3. Valitaan auenneen ikkunan vasemmasta laidasta Rendering (kuva 21).



KUVA 21. IronCAD STL:n parametrien asetus

Auennesta valikosta asetetaan parametrit seuraavasti:

4. Säädetään Surface smoothness kappaleelle sopiville arvoille. Jos sopivaa arvoa ei ole tiedossa, voidaan kokeilla arvoa 150. Mitä korkeampi numero on sitä tasaisempi kappaleen pinnasta tulee.

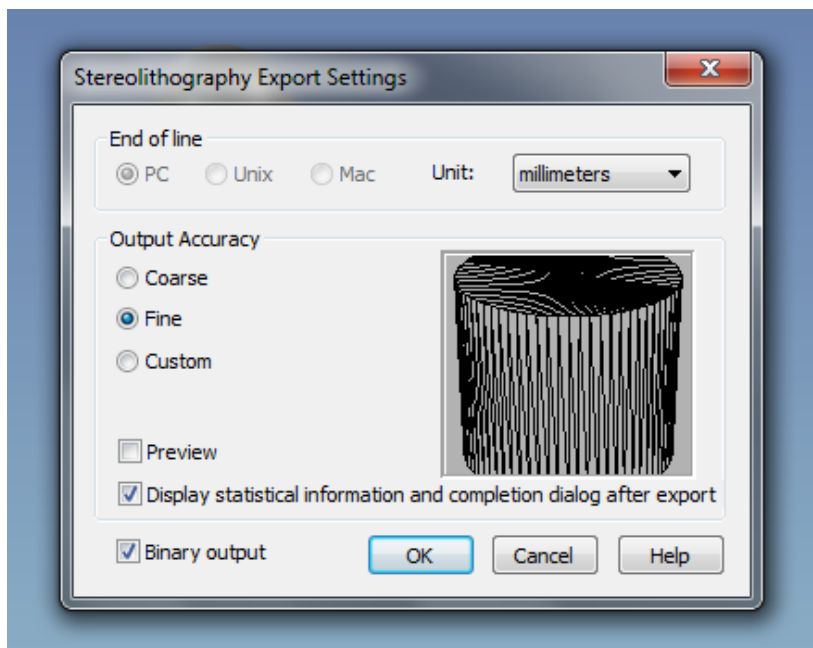
5. Muutetaan Max edge length sopivaksi. Jos sopivaa arvoa ei ole tiedossa, voidaan kokeilla arvoa 0.05. Tämä arvo tuottaa hyviä tuloksia, mutta kasvattaa tiedoston kokoa ja saattaa vaatia useamman minuutin, jotta kappale saadaan renderöityä STL-muotoon.

6. Valitaan Triangulated mesh sileämpien pintojen saavuttamiseksi pallo- ja rengasmaisille geometrioille. Tämän asetuksen valitseminen nostaa STL-tiedoston kokoa, mutta edesauttaa tuottamaan sileitä kaaria. Jos kappaleen pinnat ovat tasaisia, tämä asetus ei paranna tuloksia.

7. Asetukset tallennetaan napsauttamalla OK ja suljetaan ikkuna.

8. File-valikosta, valitaan Export > Export Part sekä tiedostomuodoksi Stereolithography.

9. Stereolithography-ikkunassa katsotaan, että PC on valittuna (kuva 22). Binary output-laatikon ruksaaminen tekee tiedostoista pienempiä, mutta kaikki ohjelmat eivät osaa lukea binary-tiedostoja, muutoin tiedosto tallentuu ASCII-muodossa.



KUVA 22. IronCAD STL-tiedoston tallennus

Kun tarvittavat säädöt on tehty, voidaan STL-tiedosto tallentaa:

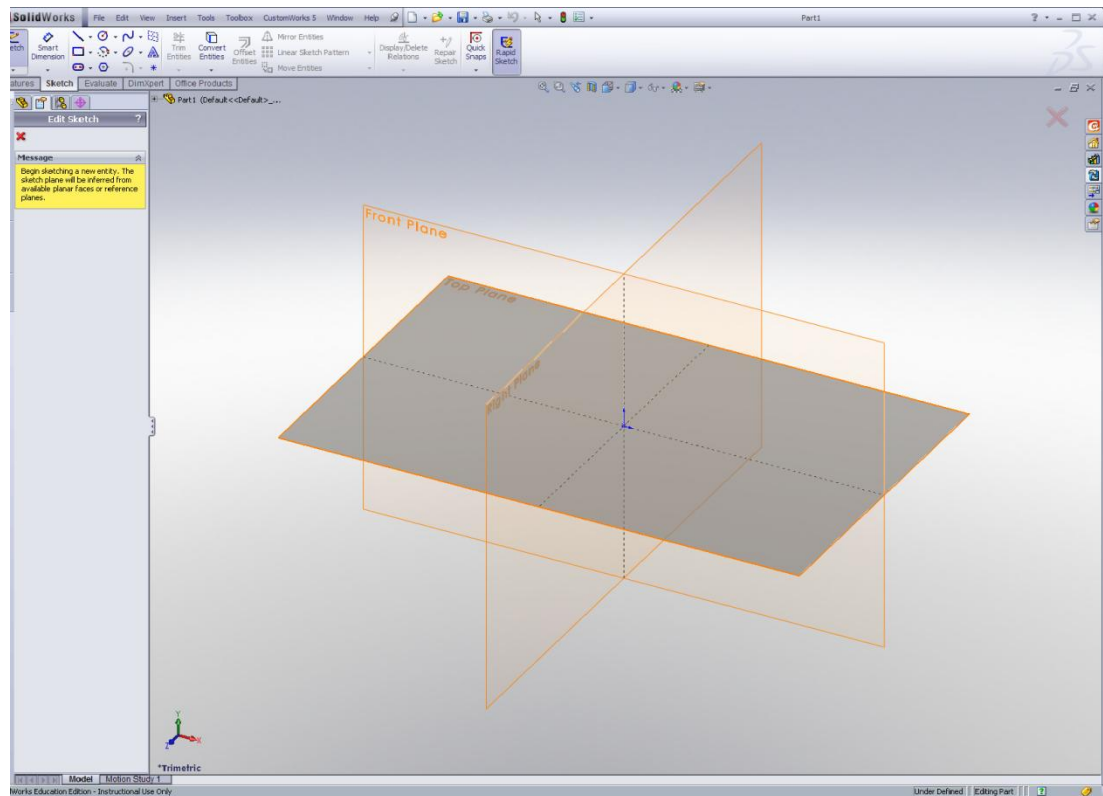
10. Napsautetaan OK asetusten sekä STL-tiedoston tallentamiseksi.

### 3.8 Mallintaminen ja STL:n luonti Solidworksilla

Seuraavassa ohjeistetaan STL-tiedoston luonti sekä parametrien asettelu Solidworksilla.

### 3.9 Kappaleen luonti

Kappaleen luonti Solidworksilla tehdään perinteiseen tyyliin sketsitason valinnalla, (kuva 23) sketsin piirtämisellä ja mitoituksella sekä pursotustyökalulla.



*KUVA 23. Solidworksin sketsi-tason valinta*

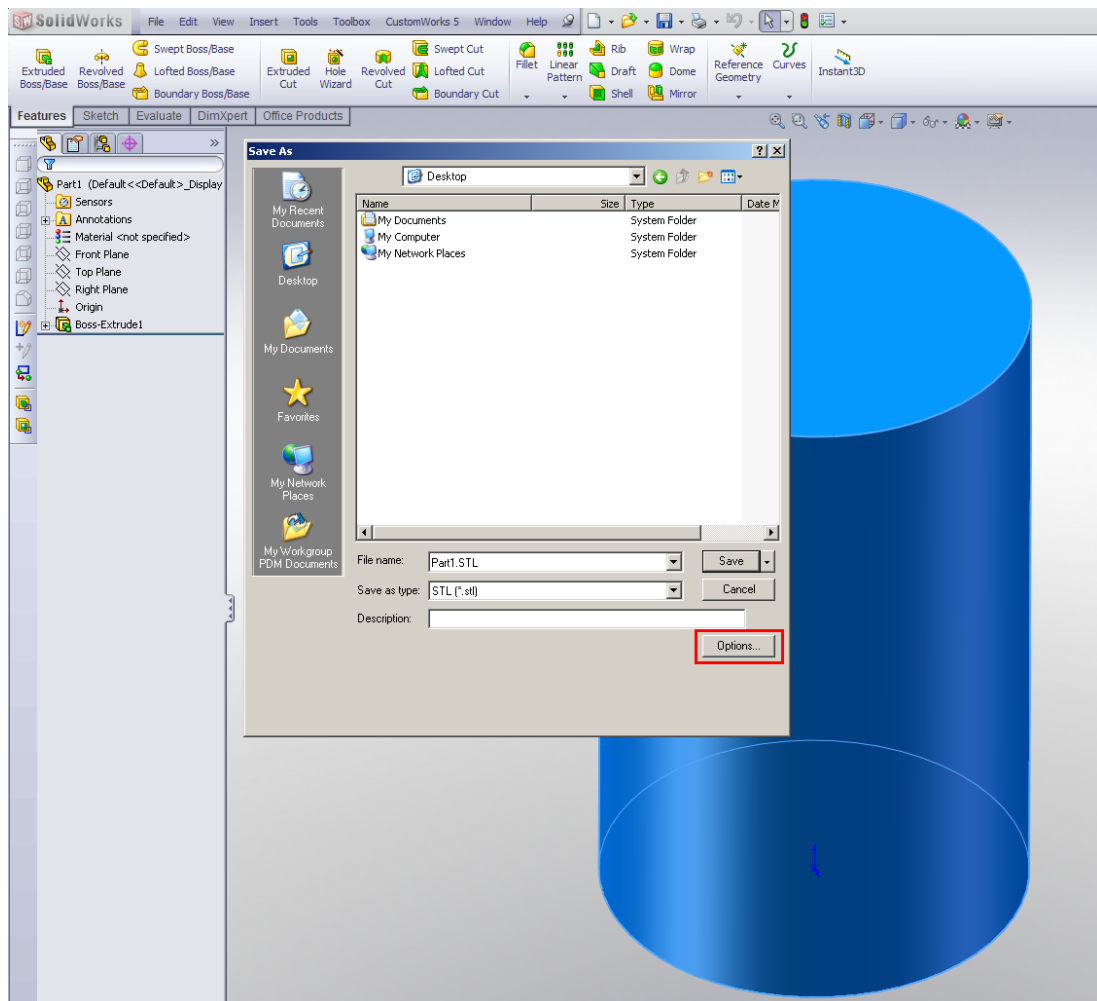
Tarkempaan kappaleen mallinnukseen on käytössä joukko tuttuja työkaluja CAD-ohjelmia käyttäneille. Näillä työkaluilla mallinnus hoituu sujuvasti ja ohjelma on sallii monimutkaisempienkin muotojen mallinnuksen kuin esimerkiksi Catia, joka saattaa usein antaa virheilmoituksia edistyneempiä muokkaustyökaluja käytettäessä.

### **3.10 Ohje STL-tiedoston luontiin**

Solidworksilla STL-tiedoston luonti etenee seuraavasti:

1. Luodaan STL-tiedosto halutusta kappaleesta valitsemalla File, Save As.
2. Valitaan tiedostomuodoksi STL sekä napsautetaan Options-valikkoa (kuva 24).



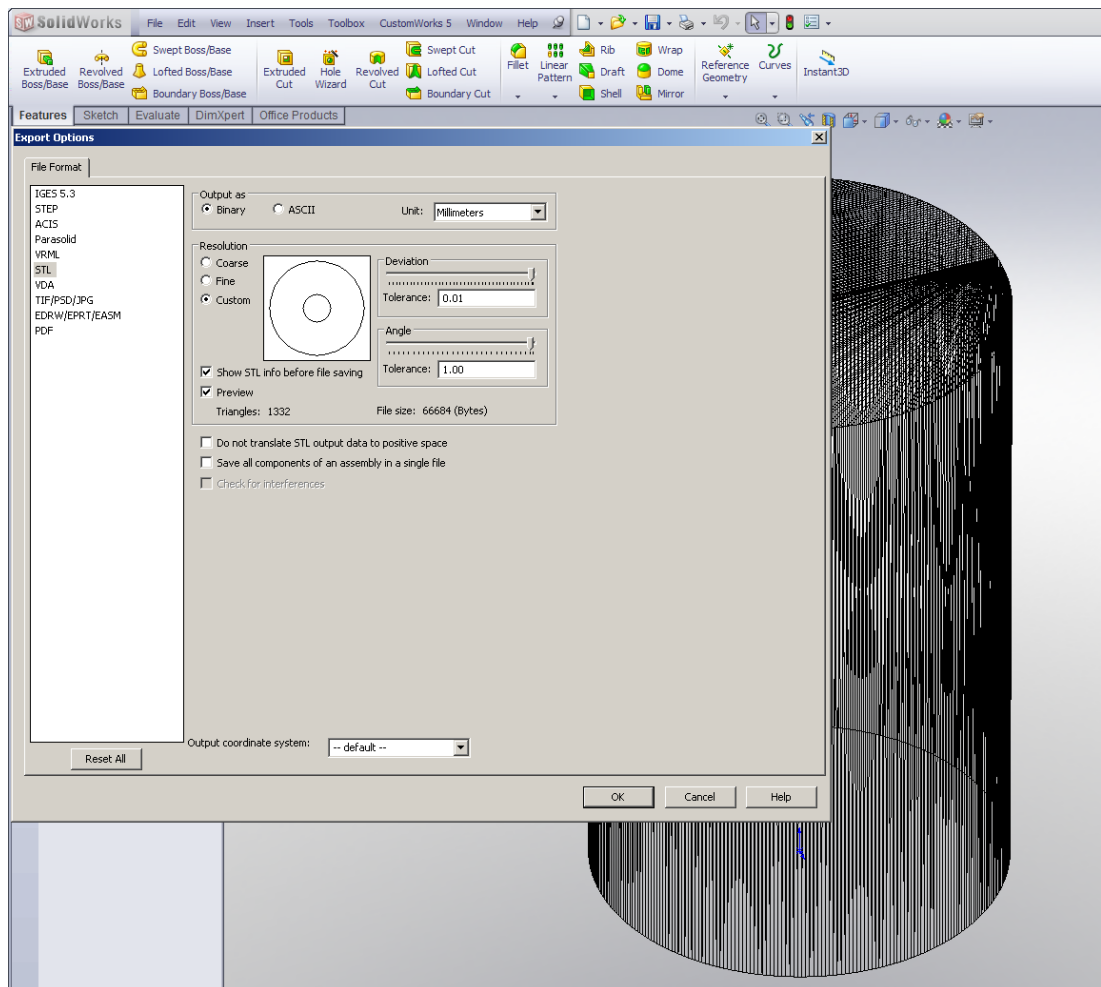


*KUVA 24. Solidworksin STL-tiedoston luonti*

Asetetaan parametrit kappaleelle sopiville arvoille:

3. Deviationia pienentämällä saadaan koko mallista tarkempia tiedostoja (kuva 25). Yleisesti sopivaksi arvoksi käy 0.01.

4. Anglea pienentämällä saadaan pienistä yksityiskohdista tarkempia (kuva 25) mutta näiden tiedostojen tuottaminen kestää kauemmin. Arvolla 1.00 saadaan tarkkoja malleja eikä tiedostokoot kasva kovin suuriksi.



*KUVA 25. Solidworks STL-tiedoston parametrien asettelu*

Parametrien asetusten jälkeen tiedosto on valmis tallennettavaksi:

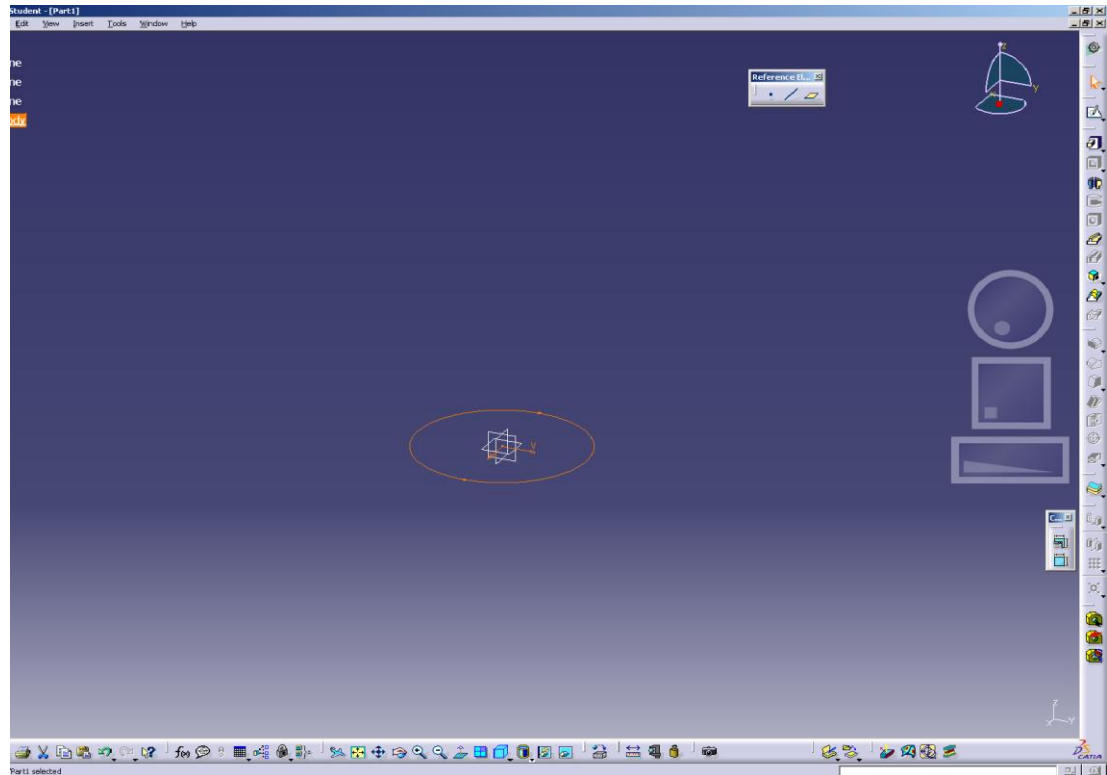
5. Napsautetaan OK ja tallennetaan tiedosto.

### **3.11 Mallintaminen ja STL:n luonti Catialla**

Seuraavassa ohjeistetaan STL-tiedoston luonti sekä parametrien asettelu Catialla.

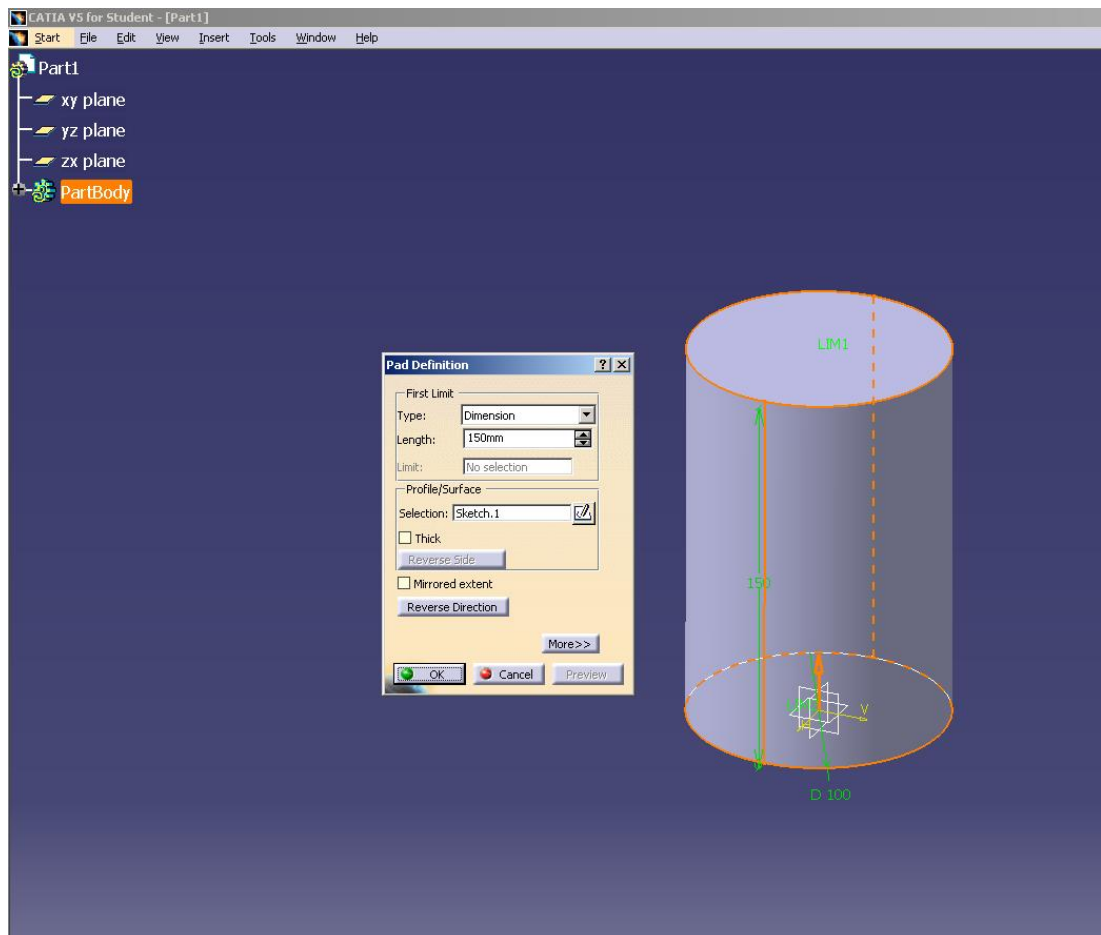
## 3.12 Kappaleen luonti

Catilla kappaleen luonti aloitetaan sketsin piirtämisellä ja mitoituksella (kuva 26).



*KUVA 26. Catian kappaleen mallinnustyöpöytä sekä valmis sketsi*

Sketsistä riippuen kappale yleensä joko pursotetaan tai pyöräytetään haluttuun muotoon (kuva 27).



KUVA 27. Ympyrän muotoisen sketsin pursotus kartioksi Catialla

### 3.13 Ohje STL-tiedoston luontiin

Catiassa on mahdollisuus tallentaa tiedostoja STL-formaattiin, mutta asetuksien muokkaamiseen tarvitaan STL-tiedostojen tallennusta käsittelevän erillisen lisäosan lisenssi.

1. Avataan haluttu tiedosto Catialla. Catia avaa tuodun tiedoston Product-mallina, vaikka tiedosto olisi tallennettu kokoonpanona.
2. Tallennetaan tiedosto.
3. Valitaan File-valikosta New > Part ja nimetään se jonkin komponentin mukaan.

4. Tämä komponentti kopioidaan Product-ikkunasta.

5. Liitetään kopioitu osa part-ikkunaan.

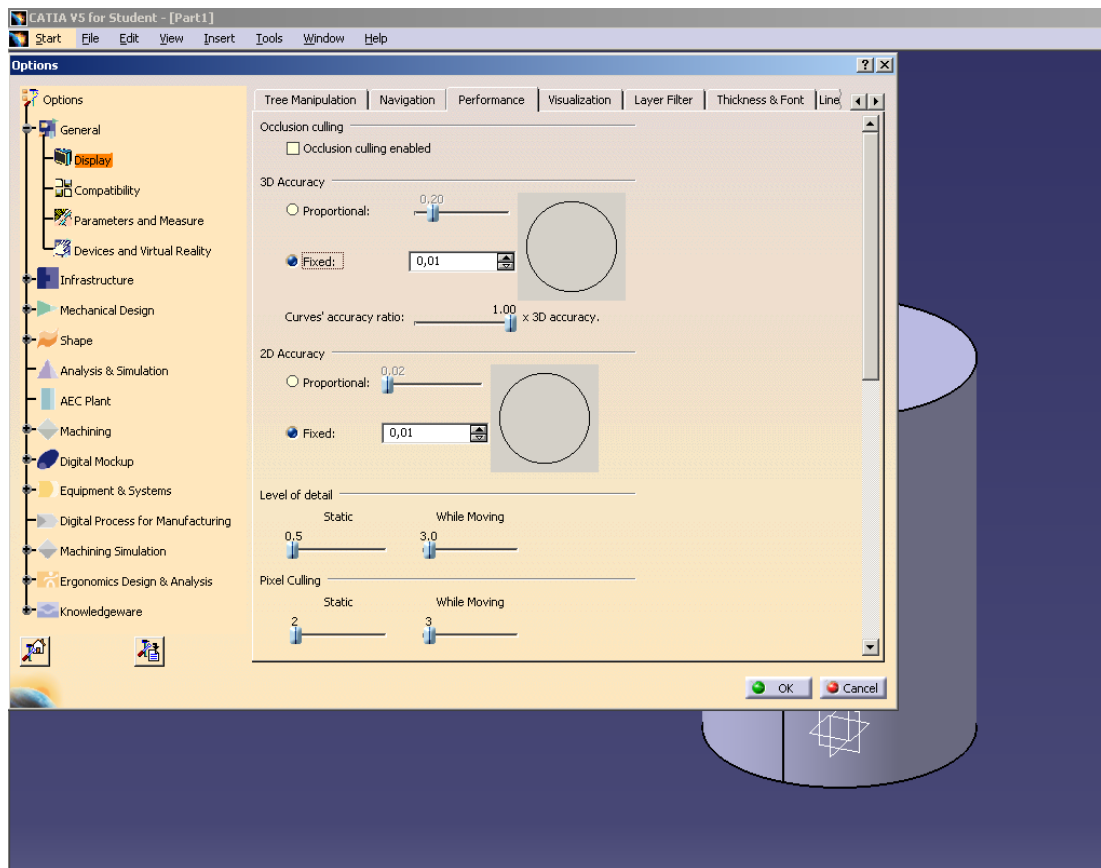
6. Tämä toistetaan, kunnes kaikki komponentit on kopioitu ja liitetty itsenäisiksi osiksi.

7. File-valikosta valitaan New > Part ja annetaan sille sopiva kokoonpanon nimi.

8. Jokainen itsenäinen osa kopioidaan ja liitetään luotuun kokoonpanotiedostoon. Koska kaikkien osien geometriat säilyvät niiden pitäisi sijoittua oikein yhdistetyyn malliin.

Tämän jälkeen malli on valmis käännettäväksi STL-tiedostomuotoon. Asetetaan parametrit sopiviksi seuraavalla tavalla:

9. Tools > Options valikosta valitaan Display ja sieltä välilehti Performance mallin tarkuuden säätämiseksi. Kohdasta 3D Accuracy (kuva 28) säätämällä Fixed-arvoa pienemmäksi saadaan aikaan tarkempia malleja.



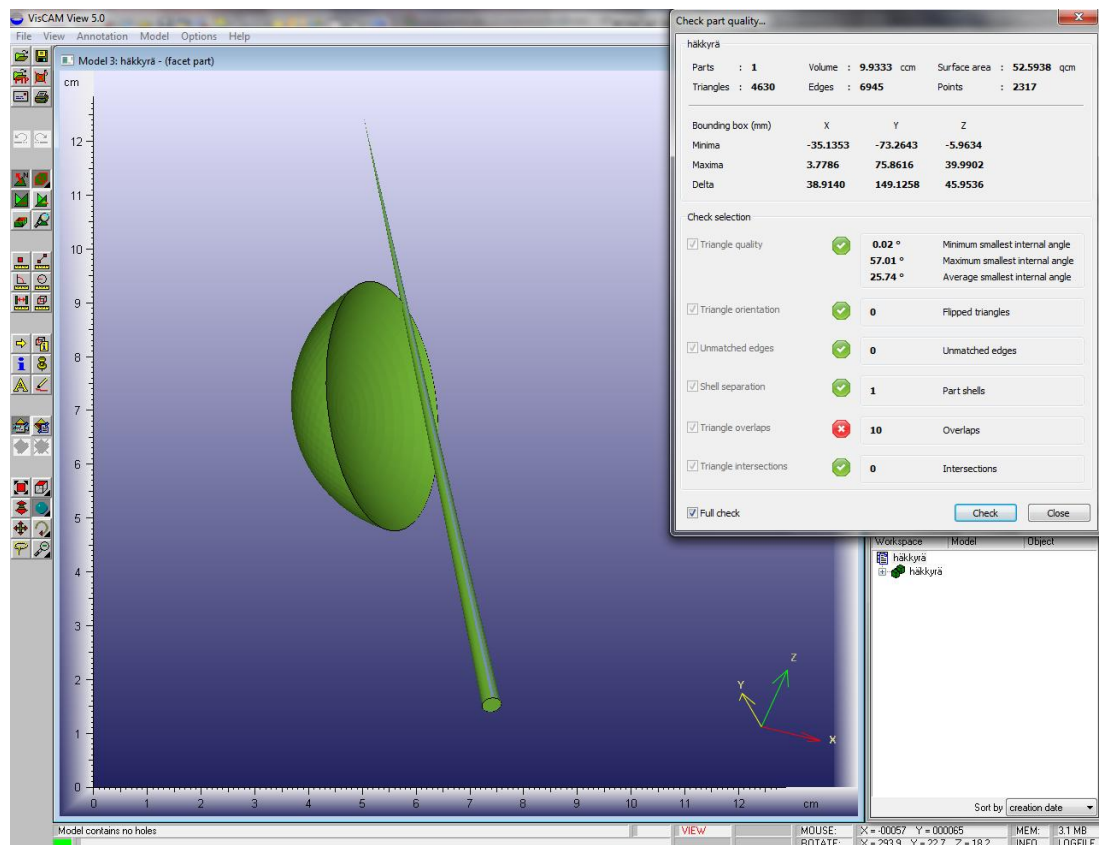
KUVA 28. Mallin parametrien asetus Catia V5:llä

Lopuksi tiedosto tallennetaan STL-muodossa:

Valitaan File-valikosta **Save As** sekä pudotusvalikosta tiedostomuodoksi STL.

## 4 VIRHEET STL-TIEDOSTOSSA

Valmiita STL-tiedostoja voi tarkastella muun muassa VisCAM Viewilla (kuva 29), jonka voi ladata internetistä ilmaiseksi. Ohjelma suorittaa tiedostolle tarkastuksen ja ilmoittaa mahdollisista virheistä.

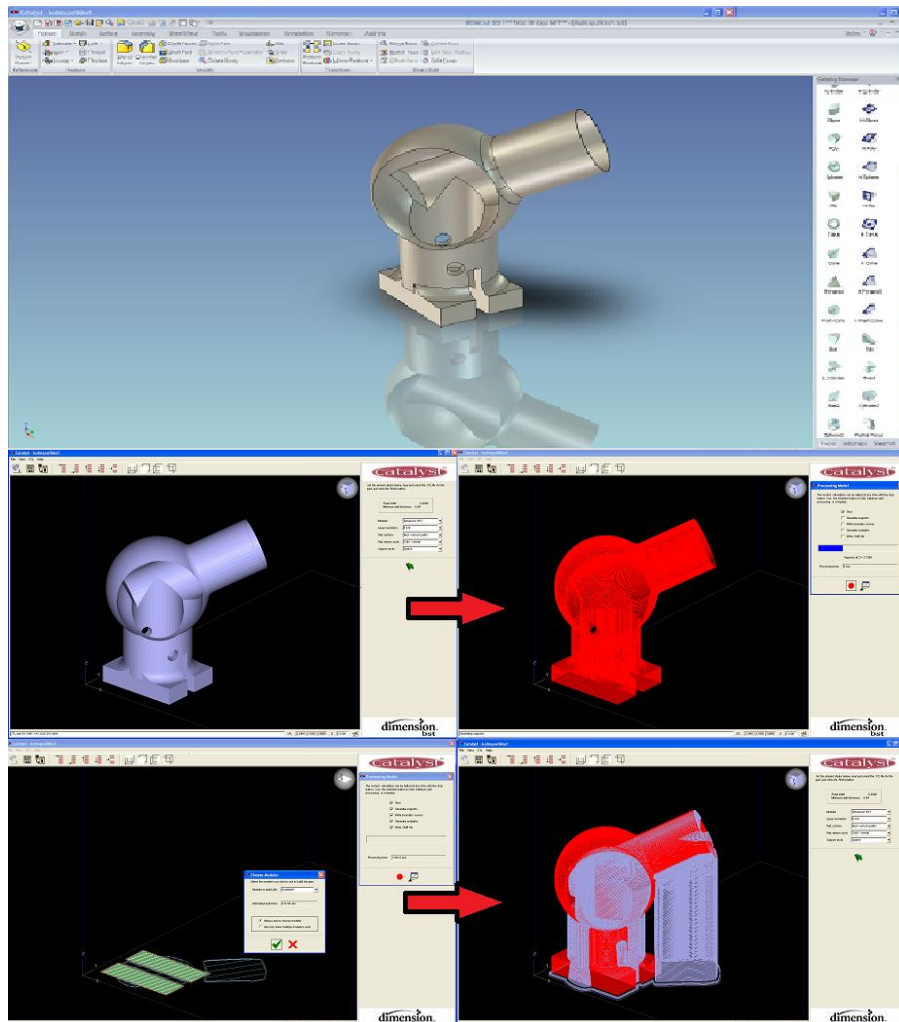


KUVA 29. STL-tiedoston tarkistus VisCAM Viewilla

Yleisimmät virheet tiedostoissa ovat olleet ns. pintarikot, eli osassa ei ole yhtenäinen pinta, ruuvitornit irti, reikiä pinnoissa ym. Toinen virhe tekemisen kannalta on tiedoston liian suuri pintakolmiointi, jolloin kaarevista tai pyöreistä pinnoista tulee kulmikkaat. Monesti ongelmia on myös silloin, kun kuva ei ole tilavuusmallina vaan pintamallina. Myös boolean-menetelmä voi aiheuttaa ongelmia STL-tiedoston luonnissa. Boolean-työkaluilla voi yhdistää, leikata ja halkaista kappaleita ja pintoja eli 3D-geometrioita lisätään ja vähennetään toisistaan. Kun geometriat rajautuvat täsmälleen samaan pintaan eivätkä mene selvästi lomittain, tulokseen saattaa jäädä "kalvo", ylimääräinen pinta. Ohjelma ei enää käsitä tätä "kalvoa" tilavuusmallina ja kolmioverkon luonti

epäonnistuu. Virhe on silloin vältettävissä luomalla kappale muulla kuin boolean-menetelmällä tai muuttamalla yhdisteltävien alkioiden mittoja.

Pikamallikoneissa tulee yleensä mukana koneen oma ohjelma kuten Insight tai Catalyst (kuva 30). Ohjelman avulla käyttäjä voi päättää, miten päin ja millä tarkkuudella rakentaa kappaleen sekä tarkastaa heikot kohdat ja korjailla niitä mahdollisuuksien mukaan. Pikamallikoneen ohjelma ilmoittaa virheistä, kun se käsittelee kuvaa. Jos virhe on vähäinen, voi ohjelmisto "päästää sen läpi" eli suostuu rakentamaan mallin, mutta jos virheitä on useita, kone ei edes rakenna sitä.



*KUVA 30. IronCAD-malli siirretään Catalystiin, joka käsittelee mallin ja laskee sille tukirakenteet tulostusta varten*



Tarjolla on myös maksullisia korjausohjelmia kuten **netfabb Studio**, jolla pystyy korjaamaan suurimman osan CAD-ohjelmilla tuotetuista virheellisistä STL-tiedostoista. Korjaustyökalut sisältävät muun muassa yksilöllisen automaattisen korjauksen, pintojen karkeuden siloittamisen sekä itseristeymien halkaisun ja poiston.

**3Data Expert 9.1** -ohjelma korjaa pintaviat ja aukot hyvin. Korjaustarkuutta voi säätää, jolloin ohjelma puuttuu ankarammin virheisiin. Korjatuista kappaleista tulee ohjelman mukaan kunnollisia, vaikka niihin olisikin jäänyt muutamia kolmiovirheitä. Ohjelma sortuu jonkin verran ylikorjaukseen, jolloin alkuperäisiin kappalegeometrioihin tulee kuulumattomia pintoja tai muotoja tai muotoja häviää. Tämä on seurausta kolmioiden yhdistelystä tai poistosta, sen mukaan millainen geometrinen poikkeama kappaleeseen tulee korjailun jälkeen. Kuitenkin tämä on ongelmana vähäinen. (23.)

Testatuissa kappaleissa deskartesin 3Data expert on korjannut kappaleen ilman, että kappaleen geometria olisi muuttunut mitenkään. Ohjelma pienentää STL-tiedoston kokoa suurilla kappaleilla merkittävästi, jolloin tietokoneeltakaan ei vaadita niin suurta suorituskykyä. Tiedostojen korjauksessa kannattaa käyttää välitallennuksia, jotta ylikorjaamiselta ja geometrian muutoksilta vältytään. Käytöltään ohjelma on hieman kankea, mutta siihen pääsee nopeasti sisälle. (23.)

**Magics** on ohjelma, joka soveltuu erityisen hyvin pienien virheiden korjaamiseen. Käyttämisen aloittaminen on helpompaa ja joustavampaa kuin 3data expertillä. Magicskin jättää välillä virheitä ja ohjelma suorittaa jonkin verran ylikorjauksia kappaleissa, joissa on paljon virheitä. Kun Magicisillä korjaa samaa kappaletta kuin 3Data expertillä malliin tulee pieniä geometrian muutoksia ja pinnoille on jäänyt näkyviä kolmioita. Ongelma on kuitenkin hyvin pieni. (23.)

Vanhemmilla tietokoneilla Magic saattaa kaatuilla, jos tiedoston koko on useita kymmeniä megatavuja. Yli 100 Mt:n kappaleet ovat hyvin vaikeita korjata Magicisillä. (23.)

3Data experttiä ja Magicsia kannattaa käyttää rinnakkain vaikeissa ja suurien tiedostokokojen kappaleissa, jolloin korjataan ensin 3Data expertillä enimmäkseen virheet ja tarvittaessa loput Magicsillä. (23.)

## 5 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin STL-tiedoston luontia CAD-mallinnuksesta valmiiseen pikamalliin asti. Onnistuneeseen STL-tiedostoon vaikuttaa moni tekijä, kuten CAD-ohjelman käyttäjästä riippuva mallinnustekniikka, jokaisen CAD-ohjelman omat asetukset, käytettävissä olevat laitteet ja ohjelmat sekä mallinnettavan kappaleen koko ja muoto. Yleensä mallinnuksessa virheet voidaan välttää rakentamalla kappale huolellisesti ja käyttämällä oikeita parametrejä. Valmiita malleja voidaan hyvin myös korjata tarkoitukseen tehdyillä ohjelmissa.

Työn tuloksena valittiin Oulu PMC:lle STL-tiedostojen korjausohjelma 3Data expert. 3Data expert on CAD-tiedostojen korjaamiseen, kääntämiseen sekä muokkaamiseen tarkoitettu ohjelma, jota käytetään 3D-tulostimien, pikamallinnuksen kuin myös simuloinnin yhteydessä. 3Data Expertillä 3D-pintamallit voidaan kolmioida tarkoiksi kolmiomalleiksi. Kolmioidut mallit voidaan korjata ehjäksi dataksi automaattisen korjausohjelman avustamana. 3Data Expertillä voidaan importoida IGES-, VDA-FS-, STL-, VRML-, ZPR-, OBJ-, ProE-, Catia-, Unigrahpis- tai STEP-malleja. Toisten formaattien tuki on saatavilla kysyttäessä.

# LÄHTEET

1. Oulu PMC. 2010. Saatavissa: <http://www.oulupmc.com/>. Hakupäivä 8.11.2010.
2. CAD-mallista pikamalliksi. 2003. OAMK.  
[http://www.oamk.fi/tekniikka/pikamallitekniikka/CAD-\\_ja\\_RP-tekniikka.php](http://www.oamk.fi/tekniikka/pikamallitekniikka/CAD-_ja_RP-tekniikka.php).  
Hakupäivä 4.5.2011.
3. Syrjä, Antti – Ekroos, Mikael – Reijonen, Antti – Järviranta, Juha-Matti  
2000. Prototyypitys. Saatavissa:  
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali/prototyypitys.pdf>.  
Hakupäivä 8.11.2010.
4. Wikimedia. 3D Scanning and printing. Saatavissa:  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/60/3D\\_scanning\\_and\\_printing.jpg/636px-3D\\_scanning\\_and\\_printing.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/60/3D_scanning_and_printing.jpg/636px-3D_scanning_and_printing.jpg). Hakupäivä 8.11.2010.
5. C-ADVICE OY. 2006. 3D-tulostus ja sen käyttökohteet. Saatavissa:  
<http://www.c-advice.com/?q=node/35>. Hakupäivä 8.11.2010.
6. Objet. 2010. Products. Saatavissa:  
<http://www.objet.com/Portals/0/images/Eden260V/eden260V24.11.08.gif>.  
Hakupäivä 10.11.2010.
7. Virtuaaliyliopisto. SLA – Stereolitografia. Saatavissa:  
[http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muovitekнологia/pikamallit/01-10\\_sla-st.html](http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muovitekнологia/pikamallit/01-10_sla-st.html). Hakupäivä 11.11.2010.
8. Kruth, J.P. – Mercelis, P. – Froyen, L. – Rombouts, M. Binding Mechanisms in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting. 2004.  
Saatavissa: [http://www.rm-platform.com/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=7&Itemid=1](http://www.rm-platform.com/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=7&Itemid=1). Hakupäivä 13.11.2010.
9. Xpress3D. Fused deposition modeling. 2005. Saatavissa:  
[http://www.xpress3d.com/images/fdm\\_process.jpg](http://www.xpress3d.com/images/fdm_process.jpg). 14.11.2010.

10. Knowledgebase. Stereolithography. Saatavissa:  
<http://knowledge.stereolithography.com/activekb/images/solider%20copy.jpg>.  
Hakupäivä 21.11.2010.
11. Custompart.net. Laminated Object Manufacturing. 2008. Saatavissa:  
[//www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/lom-small.png](http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/lom-small.png).  
Hakupäivä 11.11.2010.
12. Fouyndryonline. Direct Shell Production Casting. 2010. Saatavissa:  
<http://www.fouyndryonline.com/images/dspcf1.gif>. Hakupäivä 11.11.2010.
13. Tuhola, Esa – Viitanen, Kristiina 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä. Tammertekniikka.
14. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. 2010. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org>.
15. Planix. IronCAD V10 on julkaistu. 2008. Saatavissa:  
[http://www.planix.fi/uutiset/index.php?id=27&group=00000005&mag\\_nr=5](http://www.planix.fi/uutiset/index.php?id=27&group=00000005&mag_nr=5).  
Hakupäivä 1.12.2010.
16. Kuivaniemi, Jarkko. 3D-mallinnusohjelmien vertailu uuden käyttäjän näkökulmasta. 2009. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa:  
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8651/Kuivaniemi.Jarkko.pdf?sequence=2>. Hakupäivä 6.12.2010.
17. Sycode. STL Import for SolidWorks. 2008. Saatavissa:  
[http://www.sycode.com/products/stl\\_import\\_sw/images/stl\\_import\\_sw.gif](http://www.sycode.com/products/stl_import_sw/images/stl_import_sw.gif).  
Hakupäivä 14.12.2010.
18. Laakko, Timo 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo WSOY.
19. Department of Mechanics K132. 2005. STL File Format. Saatavissa:  
<http://mech.fsv.cvut.cz/~dr/papers/Lisbon04/node2.html>. Hakupäivä 11.11.2010.
20. Sciverse. Generation of a finite element MESH from stereolithography (STL) files. 2001.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448500001469>. Hakupäivä 11.11.2010.

21. Fabbers. The stl format. 1999. Saatavissa:

<http://www.ennex.com/~fabbers/StL.asp>. Hakupäivä 11.11.2010.

22. AlphaPrototypes. How to create stereolithography files. Saatavissa:

<http://www.alphaprototypes.com/how-to-create-stereolithography-files.aspx>.

Hakupäivä 23.11.2010.

23. Hirvonen, Tommi 2011. Deskartesin stl-kääntäjästä. Sähköpostiviesti.

Vastaanottaja: Juha-Matti Miettinen. 12.4.2011.