

Opinnäytetyö (AMK)

Muotoilu

Teollinen muotoilu

2016

Matias Rahkola

ADI KALUSTEET OY:LLE SOVELTUVA 3D- MALLINNUSOHJELMA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Muotoilu

2016 | Sivumäärä 55

Markku Seppälä

Matias Rahkola

ADI KALUSTEET OY:LLE SOVELTUVA 3D-MALLINNUSOHJELMA

Opinnäytetyön teemana oli 3D-mallinnus ja tutkimus markkinoilla olevista 3D-mallinnusohjelmista. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sopivin 3D-mallinnus ohjelmisto toimeksiantajan käyttöön. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Salossa sijaitseva toimistokalusteiden valmistaja Adi Kalusteet Oy. Tavoitteena oli löytää 3D-mallinnus ohjelmisto, joka voisi tarjota tukea yrityksen myynti- ja suunnitteluosastolle ja nopeuttaa työprosessia suunnittelun ja lopullisen tuotannon välillä.

Tutkimus toteutettiin haastattelemalla Adi Kalusteet Oy:n työntekijöitä ja selvittämällä tarvittavat ominaisuudet joita 3D-mallinnusohjelman tulisi sisältää, jotta se sopisi yrityksen käyttöön.

Lopullinen tutkimus keskittyi kolmeen valittuun 3D-mallinnusohjelmaan joista oli tarkoitus esimerkki mallinnus testausten avulla löytää yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva mallinnusohjelma.

ASIASANAT:

3D-mallintaminen, mallintaminen, tietokonegrafiikka, tietokoneavusteinen suunnittelu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Industrial design

2016 | Total number of pages 55

Markku Seppälä

Matias Rahkola

SUITABLE 3D-MODELING SOFTWARE FOR ADI KALUSTEET OY

The theme of this Bachelor's thesis was 3D-modelling and the study of different 3D-modeling software currently on the market. The purpose of the research was to find the most suitable 3D-modeling software for the use of the employer. The work was commissioned by Salo based office furniture manufacturer Adi Kalusteet Oy. The aim of the research was to find a 3D-modeling software which could provide an aid for the sales and design department of the company, and to enhance the work process between design and final production.

The research was conducted out by interviewing the employees of Adi Kalusteet Oy and determining the features needed for the 3D-modeling to be found suitable for use. The 3D-modeling software were then observed based on the needs of the company.

The final study was focused on three chosen 3D-modeling software that were found the most suitable for the needs of the company. The study was conducted out by modelling a case example provided by Adi Kalusteet Oy on the chosen three software.

The end result of this research was a comprehensive list of the most used 3D-modeling software on the market. The research provided the employer a tried and tested recommendation of the most suitable 3D-modeling software for the needs of the company.

KEYWORDS:

3D-modeling, computer graphics, computer assisted design

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSPROSESSI	10
2.1 Toimeksianto	10
2.2 Tavoitteet	10
2.3 Tutkimuskysymykset	10
2.4 Viitekehys	11
2.5 Prosessikaavio	12
2.6 Tutkimus menetelmät ja – aineisto	13
2.6.1 Haastattelut	14
2.6.2 Havainnointi	14
2.6.3 Dokumenttiaineisto	14
3 ADI KALUSTEET OY	16
3.1 Yritys	16
3.2 Adi Kalusteet Oy:n asiakaskunta	17
3.3 Adi Kalusteet Oy:n nykytilanne	18
3.4 Myyntiprosessi	18
3.5 Tuotantoprosessi	19
3.6 Adi Kalusteet Oy:n mallinnus tarpeet	21
4 3D GRAFIIKKA, MALLINTAMINEN JA RENDEROINTI	22
4.1 3D-mallintamisen perusteet	22
4.2 Muodon tekeminen mallinnusohjelmassa	25
4.2.1 Extrude pursottaminen	26
4.2.2 Boolean-operaatio	26
4.2.3 Revolve pyöräyttäminen	27
4.2.4 Lofting	28
4.3 Renderointi	28
4.4 Mallinnusohjelmat	29
4.4.1 ArchiCad	29
4.4.2 AutoCad	29

4.4.3 Autodesk 3ds Max	29
4.4.4 Autodesk Inventor	30
4.4.5 Blender	30
4.4.6 Rhinoceros 3D	30
4.4.7 SketchUp	31
4.4.8 SolidWorks	31
4.4.9 Vertex 4GInD	31
4.5 3D-mallinnusohjelmien valintaperusteet	31

5 CASE-ESIMERKIT 33

5.1 Case-esimerkki	33
5.2 Rhinocerosin työkaluvalikot	34
5.3 Case-esimerkin mallintaminen Rhinoceros ohjelmalla	36
5.4 SolidWorksin työkaluvalikot	41
5.5 Case-esimerkin mallintaminen SolidWorks ohjelmalla	43
5.6 Autodesk Inventorin työkalut	47
5.7 Case-esimerkin mallintaminen Autodesk Inventor ohjelmalla	49
5.8 Johtopäätökset case-esimerkkien mallintamisesta	52

6 YHTEENVETO JA POHDINTA 54

LÄHTEET 55

KUVAT

Kuva 1 Viitekehys.	12
Kuva 2 Prosessikaavio.	13
Kuva 3 Adi Kalusteet Oy:n organisaatiokartta.	17
Kuva 4 Myyntiprosessi.	19
Kuva 5 Tuotantoprosessi.	20
Kuva 6 Koordinaattiakseli.	22
Kuva 7 Rautalankamalli.	23
Kuva 8 Pintamalli.	24
Kuva 9 3D-malli.	25
Kuva 10 Valmiita perusmuotoja.	25
Kuva 11 Pursotus eli extrude.	26
Kuva 12 Boolean-operaatio.	27
Kuva 13 Pyöräytys eli Revolve.	27
Kuva 14 Lofting.	28
Kuva 15 Vastaanottopöydän mittakuva.	33
Kuva 16 Rhinocerosin perusnäkyvä.	34

Kuva 17 Ylälaidan työkalurivi.	34
Kuva 18 Command komentopalkki.	35
Kuva 19 Työkalurivi.	35
Kuva 20 Layer työkalupalkki.	36
Kuva 21 Rectangle: Corner to corner työkalu.	37
Kuva 22 Extrude työkalu.	37
Kuva 23 Extrude työkalulla pursotetut levyt.	38
Kuva 24 Vastaanottopöydän runko.	38
Kuva 25 Vastaanottopöydän pöytätasot.	39
Kuva 26 Mirror työkalu.	40
Kuva 27 Valmis Rhinocerosilla mallinnettu vastaanottopöytä.	40
Kuva 28 SolidWorks alkuvalikko.	41
Kuva 29 SolidWorksin perusnäky.	42
Kuva 30 Sketch valikko.	42
Kuva 31 Features valikko.	43
Kuva 32 Front Plane, Right Plane ja Top Plane tasot.	43
Kuva 33 Suorakulmion sketch.	44
Kuva 34 Extrude työkalulla pursotettu levy.	44
Kuva 35 Valmis vastaanottopöydän runko.	45
Kuva 36 Valmiit pöytätasot.	46
Kuva 37 Valmis SolidWorksilla mallinnettu vastaanottopöytä.	47
Kuva 38 Autodesk Inventorin perusnäky.	47
Kuva 39 Sketch työkaluvalikko.	48
Kuva 40 3D Model työkaluvalikko.	48
Kuva 41 XY Plane, XZ Plane ja YZ Plane tasot.	48
Kuva 42 Extrude työkalulla pursotettava levy.	49
Kuva 43 Levyn peilaaminen Mirror työkalulla.	50
Kuva 44 Vastaanottopöydän runko.	51
Kuva 45 Valmiit pöytätasot.	51
Kuva 46 Valmis Autodesk Inventorilla mallinnettu vastaanottopöytä.	52

SANASTO

2D	(engl. Two dimensional), kaksiulotteinen.
3D	(engl. Three dimensional), kolmiulotteinen.
3D grafiikka	Tietokonegrafiikkaa, joka on mallinnettu kolmiulotteisesti.
3D-mallinnusohjelma	Tietokoneohjelmisto, jota käytetään kolmiulotteisen tietokonegrafiikan mallintamiseen.
BIM	(engl. Building information model), Rakennuksen tietomalli, joka sisältää rakennuksen tietoja digitaalisessa muodossa.
Boolean	Boolean-operaatio, kahden kappaleen tilavuuksia lisätään toisiinsa tai vähennetään toisistaan 3D-mallinnusohjelmassa.
CAD	(engl. Computer aided design), tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	(engl. Computer-aided manufacturing), tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	(engl. Computer numerical control), tietokoneavusteinen valmistus.
Case-esimerkki	Tapaustutkimus.
DWG	(engl. Drawing), CAD tiedostomuoto.
DXF	(engl. Drawing Exchange Format), CAD tiedostomuoto.
Lofting	Suljettu profiilikäyrä vedetään toista polkuna toimivaa käyrää myöten 3D-mallinnusohjelmassa.
NURBS	(engl. Non-uniform rational basis spline), matemaattinen malli, jota käytetään käyrien ja pintojen luomiseen ja esittämiseen tietokonegrafiikassa.
Open source	(engl. Open source), avoin lähdekoodi tietokoneohjelmien tuottamismenetelmä joka mahdollistaa lähdekoodin muokkaamisen. Open source ohjelmien periaatteisiin kuuluu, että muokkaus, käyttö ja levittäminen ovat vapaata.
PDF	(engl. Portable document format), ohjelmistoriippumaton, siirrettävä tiedostomuoto.
Polygonverkko	(engl. Polygon mesh), monikulmioverkko, tapa esittää mallinnettu pinta kolmiulotteisena.
Extrude	Profiilikäyrän pursottaminen kolmiulotteiseksi 3D-mallinnusohjelmassa.

Renderointi

(engl. Rendering) tarkoittaa kuvan luomista mallinnetusta kappaleesta. Renderoinnissa mallinnetusta kolmiulotteisesta kappaleesta tuotetaan kaksiulotteinen kuva.

Revolve

Profiilikäyrän pyöryttäminen valitun akselin ympäri 3D-mallinnusohjelmassa.

1 JOHDANTO

3D-mallintaminen on jo pitkään ollut käytössä eri teollisuuden aloilla suunnittelun ja tuotannon apuvälineenä. 3D-mallintamisen tarjoamat hyödyt ovat nopeuttaneet välivaiheita suunnittelun ja lopullisen tuotannon välillä. 3D-mallintaminen on ollut loistava apuväline, kun pyritään hahmottamaan asioita, tiloja ja tuotteita, joita ei ole vielä olemassa. 3D-mallinnetuilla ja renderoiduilla eli mallinnuksesta tehdyillä realistisilla kuvilla, joista ilmenee mallinnetun kohteen yleisilme ja materiaali, josta kohde koostuu, on helppo esittää asiakkaalle suunnitellun asian lopullinen ulkonäkö.

Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää sopiva 3D-mallinnusohjelma opinnäytetyön toimeksiantaja Adi Kalusteet Oy:lle. 3D-mallinnusohjelman käyttöönotto ja hyödyntäminen myynnissä, suunnittelussa ja tuotannossa on ollut pitkään vireillä Adi Kalusteet Oy:ssä, ja tämän opinnäytetyön tutkimuksen toivotaan tuovan apua sopivimman markkinoilla olevan 3D-mallinnusohjelman valinnassa.

Opinnäytetyössä käsitellään 3D-mallintamista, markkinoilla olevia mallinnusohjelmia ja niiden soveltumista toimeksiantajan tarpeisiin. Opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä työskentelyprosessi aina alustavasta toimeksiannosta, tutkimuksen ja henkilökohtaisten testausten kautta lopulliseen johtopäätökseen, ja sopivimman mallinnusohjelman löytymiseen. Käsittelen opinnäytetyössäni 3D-mallintamisen peruskäsitteistöä, perusteita ja esimerkin avulla mallintamisen työvaiheita.

Opinnäytetyöprosessi alkaa toimeksiantajan tapaamisella ja toimeksiannon tavoitteiden määrittelyllä. Tämän jälkeen siirrytään tutkimustyöhön ja taustoittamiseen, jota käytetään pohjana lopullisen mallinnusohjelman valinnassa.

2 OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSPROSESSI

2.1 Toimeksianto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Salolainen Adi Kalusteet Oy. Adi Kalusteet Oy etsii 3D-mallinnusohjelmaa yrityksen käyttöön. Yritys ei ole aiemmin käyttänyt 3D-mallinnusta hyödyksi myynnissään, ja yrityksessä uskotaan, että mallinnetut 3D kuvat lisäävät myyntiä.

Adi Kalusteet Oy etsii mallinnusohjelmaa, jonka käyttö olisi nopeaa ja helppoa. Mallinnusohjelman pääasiallisena tarkoituksena olisi olla apuvälineenä myyjille, jotta he pystyisivät nopeasti tuottamaan näyttäviä renderoituja eli realistisia mallinnuskuvia asiakkaalle.

2.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön päätavoitteena on löytää mallinnusohjelmaa, joka parhaiten soveltuu toimeksiantajan käyttöön. Opinnäytetyön tehtävänä on selvittää huonekaluteollisuuden, suunnittelun ja myynnin asettamat tarpeet 3D-mallinnusohjelmalle ja tavat joilla halutut tarpeet saataisiin täytettyä. Tehtävänä on myös selvittää millaisia rajoituksia tai esteitä tarpeet mahdollisesti asettavat sopivan mallinnusohjelman löytymiselle. Onko olemassa mallinnusohjelmaa, joka pystyisi täyttämään kaikki asetetut tarpeet ilman, että joistain halutuista ominaisuuksista olisi luovuttava?

2.3 Tutkimuskysymykset

- Mitä vaatimuksia suunnittelu ja huonekaluteollisuus asettavat 3D-mallinnusohjelmalle?
- Mitä osatekijöitä tulisi ottaa huomioon 3D-mallinnusohjelmaa valittaessa, jotta toimeksiantajan asettamat tarpeet tulisivat täytetyiksi?
- Onko olemassa 3D-mallinnusohjelmaa, joka täyttää kaikki toimeksiantajan sille asettamat tarpeet?

Toimeksiantajalla on kaksi pääasiallista tarvetta 3D-mallinnusohjelmalle. 3D-mallinnusohjelman tulisi toimia Adi Kalusteet Oy:n myynnin työkaluna tukemalla sekä suunnittelua, että myyntiä. 3D-mallinnusohjelman haluttaisiin myös karsivan välivaiheita myynnin, tuotannosuunnittelun ja varsinaisen valmistuksen väliltä.

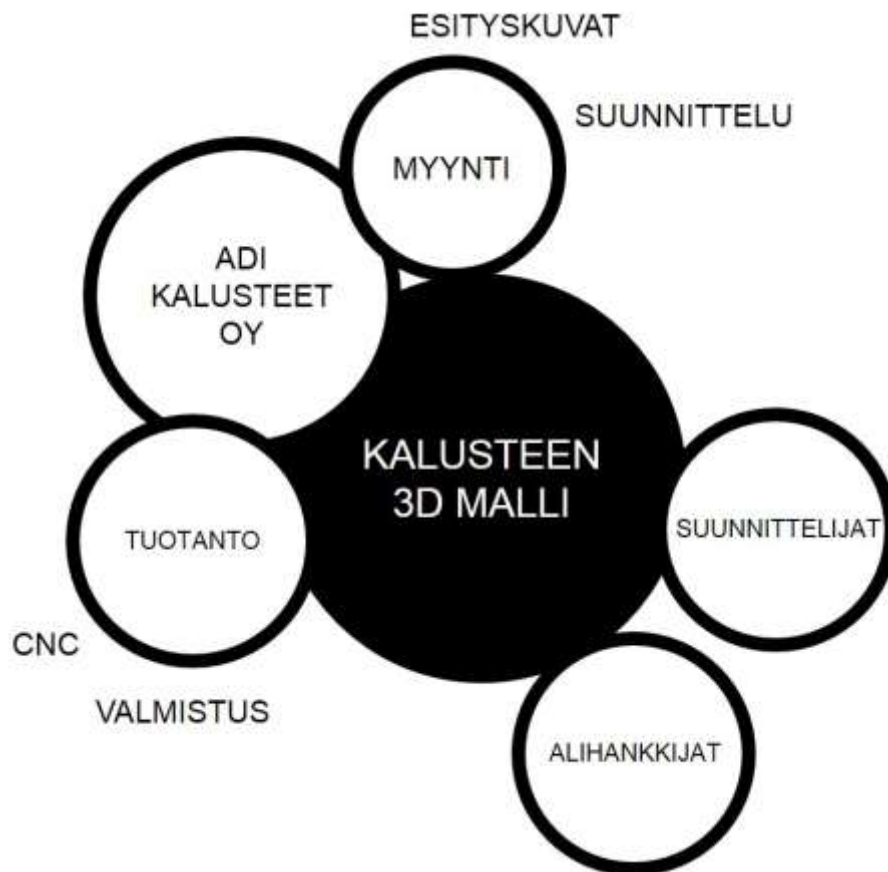
3D-mallinnusohjelmaa valittaessa tulee myös ottaa huomioon Adi Kalusteet Oy:n henkilökunnan toiveet mallinnusohjelmalle ja valittavaa mallinnusohjelmaa käyttävien lähtötaso mallintamisessa.

2.4 Viitekehys

Viitekehyksessä esitetään opinnäytetyön merkittävät osatekijät ja niiden suhteet toisiinsa (Kuva 1). Viitekehysten keskiössä on 3D grafiikka, jolla tarkoitetaan tässä tapauksessa sekä itse 3D-mallinnusohjelmaa että mallinnusohjelmalta toivottua lopputulosta. 3D-mallinnusohjelman tuotos riippuu siihen vaikuttavista osatekijöistä ja halutuista lopputuloksista.

Adi Kalusteet Oy:n myynti haluaa 3D-mallinnusohjelman tuottavan näyttävää ja realistista 3D-grafiikkaa renderoitujen kuvien muodossa. Vaatimuksena myynnillä on, että 3D-mallinnusohjelman käyttö olisi nopeaa, ja ohjelmiston opettelu olisi mahdollisimman helppoa käyttäjälle.

Adi Kalusteet Oy:n tehtaan valmistus haluaa, että 3D-mallinnusohjelmalla pystyttäisiin tuottamaan tiedostoja, joita voitaisiin suoraan hyödyntää CNC-työstössä ja työkorttien tekemisessä.



Kuva 1 Viitekehys.

2.5 Prosessikaavio

Prosessikaaviossa on esitetty graafisesti opinnäytetyön suunniteltu eteneminen ja eri työvaiheet (Kuva 2). Prosessikaavion tarkoituksena on esittää työskentelyn vaiheet ja toimia apuvälineenä opinnäytetyön aikatauluttamisessa ja johdonmukaisessa läpiviennessä.

Ylhäällä olevassa palkissa on esitetty työvaiheet aikajärjestyksessä. Alla olevat harmaat palkit kuvaavat mitä eri osa-alueita ja tavoitteita työvaiheisiin sisältyy.

Tavoitteiden määrittely vaiheessa selvitetään sekä omat, että opinnäytetyön toimeksiantajan asettamat tavoitteet. Tiedonhankinta vaiheessa selvitetään Adi Kalusteet Oy:n nykyiset käytännöt ja tulevaisuuden tarpeet. Tiedonhankinta vaiheeseen kuuluu myös 3D-mallinnusohjelmiin ja 3D-grafiikkaan liittyvien kirjallisten aineistojen tutkiminen.



Kuva 2 Prosessikaavio.

2.6 Tutkimus menetelmät ja – aineisto

Opinnäytetyön tutkimus on kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta. Laadullisessa tutkimuksessa pyritään ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä ja ottamaan huomioon tutkittavan asian konteksti eli sisältöyhteys. Tutkimuksen kautta pyritään ymmärtämään mitkä tekijät vaikuttavat sopivan mallinnusohjelman löytymiseen, mitkä tekijät vaikuttavat siihen, että jokin mallinnusohjelma on käyttäjälle ja toimeksiantajan kannalta paremmin soveltuva, kuin jokin toinen markkinoilla oleva 3D-mallinnusohjelma?

2.6.1 Haastattelut

Opinnäytetyötä varten haastateltiin Adi Kalusteet Oy:n myyntipuolella työskenteleviä myyjiä ja suunnittelijoita ja Salon tehtaalla työskenteleviä tuotannosuunnitteluun ja valmistukseen kuuluvia työntekijöitä.

Haastattelujen tarkoituksena oli kartoittaa yrityksen nykyinen tilanne, työskentelyprosessi, tarpeet ja toiveet, jotka 3D-mallinnusohjelman haluttaisiin täyttävän. Tärkeää tutkimuksen ja lopullisen 3D-mallinnusohjelman valinnan kannalta oli haastattelun avulla selvittää Adi Kalusteet Oy:n myynnissä työskentelevien aiempi ammatillinen tausta ja mallintamisen lähtötaso.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin myös muutamaa 3D-mallinnusta työssään käyttävää ammattilaista. Näiden haastattelujen tarkoituksena oli selvittää, mitä 3D-mallinnusohjelmia ammattilaiset käyttävät, ja mitä mallintamiseen liittyviä vaikeuksia ja haasteita aloittelevalla mallintajalla saattaa olla edessään.

2.6.2 Havainnointi

Havainnointi suoritettiin Salon tehtaalla tehtyjen haastattelujen yhteydessä. Havainnointi tapahtui pääsääntöisesti tehtaan tuotannon tiloissa tutustumalla yrityksen tuotantolinjaan ja käytössä oleviin CNC-työstö laitteisiin. Tämän lisäksi tutustuttiin yrityksen tuotannosuunnittelun työskentelyyn. Tämä tapahtui siten, että tuotannosuunnittelusta vastaava henkilö esitteli yrityksen aiempia projekteja, suunnittelijoilta saatuja tiedostoja ja prosessia, jolla valmistukseen meneviä työkortteja valmistetaan.

2.6.3 Dokumenttiaineisto

Opinnäytetyössä käytetty dokumenttiaineisto on enimmäkseen suomenkielistä julkaistua alan kirjallisuutta. Tämä sisältää 3D grafiikkaa ja 3D-mallintamista käsitteleviä yleisteoksia ja yleisluontoisia oppaita, sekä spesifimpiä 3D-mallinnusohjelmien käyttöoppaita.

Suomenkielisten julkaistujen teosten lisäksi tietoa kerättiin eri 3D-mallinnusohjelmien kehittäjien internet-sivustoilta. Suurin osa mallinnusohjelmien kehittäjien tarjoamasta materiaalista on englanninkielistä, mutta esimerkiksi Ohjelmistontarjoaja Autodesk tarjosi

sivuillaan tietoa tuotteistaan suomen kielellä. Englanninkielistä lähdemateriaalissa esitettyjä termejä on pyritty tätä opinnäytetyötä varten kääntämään suomen kielelle.

3 ADI KALUSTEET OY

3.1 Yritys

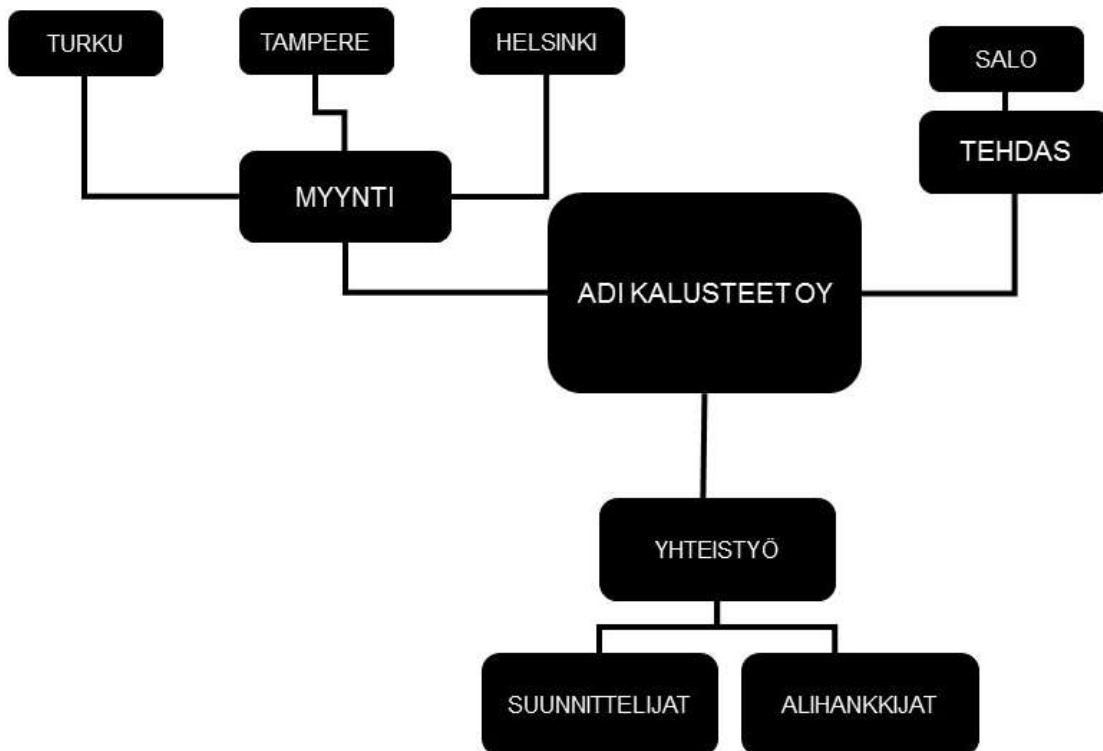
Adi Kalusteet Oy on suomalainen toimistokalusteita valmistava ja maahantuova yritys. Adi Kalusteet Oy:n organisaatioon kuuluu Salossa sijaitseva tehdas, kolmessa kaupungissa sijaitsevat myyntipisteet ja tämän lisäksi yrityksellä on yhteistyökumppani yrityksiä, jotka vastaavat suunnittelusta ja alihankinnasta (Kuva 3). Adi Kalusteet Oy:n myyntinäytelytilat Salon tehtaassa lisäksi sijaitsevat Turussa, Helsingissä ja Tampereella. Adin tehtaalla työskentelee tuotannossa noin 18 henkilöä ja myynnin ja hallinnon puolella noin 12 henkilöä. (Adi Kalusteet Oy 2016.)

Adi Kalusteet Oy tarjoaa huonekalujen valmistuksen ja myynnin lisäksi tila- ja sisustus-suunnittelua. Adin myyjät ja sisustussuunnittelijat vastaavat asiakkaan tarpeisiin auttamalla löytämään asiakkaan tiloihin parhaiten soveltuvat sisustusratkaisut ja kalusteet.

Adin myyjät ja tehtaassa tuotesuunnitteluyksikkö tarjoavat suunnittelun ja toteutuksen mittilaustyönä valmistettaviin kalusteisiin, kuten vastaanottopöytiin. Suunnittelussa ja toteutuksessa Adi ottaa huomioon asiakkaan tarpeet, ja tarjoaa laadukkaita kotimaisella työllä tuotettuja ratkaisuja asiakkaan itse valitsemilla materiaaleilla ja ominaisuuksilla. (Adi Kalusteet Oy 2016.)

Adi Kalusteet Oy:n tuotanto tapahtuu Salossa sijaitsevalla tehtaalla. Tuotteet ovat laadukasta kotimaista tuotantoa ja materiaalit ovat enimmäkseen kotimaisia.

Adi tarjoaa asiakkailleen tarvittaessa kokonaisvaltaisen tilojen kunnostuksen ja kalustamisen. Kalusteet toimitetaan aina valmiiksi kasattuina ja asennettuina. Adin ammattilaiset avustavat tarvittaessa myös oikeiden ergonomisten työasentojen löytämisessä (Adi Kalusteet Oy 2016.)



Kuva 3 Adi Kalusteet Oy:n organisaatiokartta.

3.2 Adi Kalusteet Oy:n asiakaskunta

Adi Kalusteet Oy:n asiakaskunta koostuu enimmäkseen eri alan yrityksistä. Adi Kalusteet Oy on tehnyt projekteja erikokoisille yrityksille, kuten kahviloille, myymälätiloihin ja toimistotiloihin.

Adi Kalusteet Oy:n tärkeimpiin tuotteisiin kuuluu mittatilaustyönä suunnitellut ja valmistetut vastaanottopöydät. Yritys on suunnitellut ja valmistanut vastaanottopöytiä muun muassa kirjastoille, myymälätiloihin ja sairaalan aulatilaan. Näiden lisäksi yritys on kalustanut sairaaloita, pankkeja, toimistotiloja ja julkisia tiloja, kuten kirjastoja, kaupungintaloja ja museoita. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2015.)

3.3 Adi Kalusteet Oy:n nykytilanne

Adi Kalusteet Oy ei ole nykyisessä myyntityössään käyttänyt hyödyksi 3D-mallinnuksen tarjoamia hyötyjä. Yrityksellä ei myöskään ole yhtenäistä mallia tai käytäntöä siinä, kuinka konseptit esitellään asiakkaalle. Asiakas caset ja projektit ovat monesti toisistaan eroavia ja eri toimipisteillä on omat käytännöt ja toimintamallit. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2015.)

Aiemmin myyntityössä on käytetty apuna asiakkaan tarjoamaa pohjapiirrosta tilasta. Pohjapiirroksen pohjalta myynnin sisustussuunnittelijat ovat tuottaneet ArchiCad tai AutoCad-ohjelmalla 2D-kuvat joissa näkyy suunnitellut kalusteet ja niiden mitat pohjapiirroksen sijoitettuna. Suunnitelluista kalusteista on myös esitetty asiakkaalle tuotekortit joissa näkyy kuvat tuotteista ja niiden mitoista. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2015.)

Käytännöt ja tilanteet ovat olleet asiakkaasta, toimipisteestä ja suunnittelijasta riippuvaisia. 3D-mallinnusohjelman käyttöönoton toivotaan yhtenäistävän ja virtaviivaistavan toimintatapaa. 3D-mallinnusohjelman toivotaan myös tekevän myynnistä helpompaa ja kilpailukykyisempää, kun suunnitelmat pystytään esittämään asiakkaalle entistä konkreettisemmin.

Adi Kalusteet Oy:n tehtaalla on oma tuotannosuunnittelu, joka suunnittelee tuotannon ja CNC työstön sisustussuunnittelijoiden toimittamien 2D kuvien perusteella. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2015.)

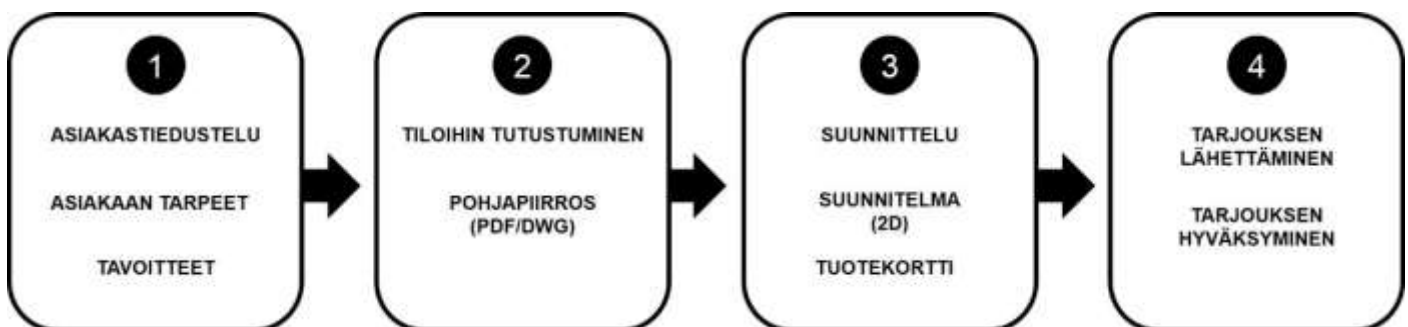
3.4 Myyntiprosessi

Tässä kappaleessa käsitellään Adi Kalusteet Oy:n myyntipuolen nykyistä prosessia ja työskentelytapoja (Kuva 4). Näitä työskentelyprosesseja ymmärtämällä on tarkoitus saada kuva siitä miten asiat nykyään hoituvat ensimmäisestä asiakastapaamisesta, lopulliseen asiakkaalle lähetettävään sisustusratkaisut sisältävään tarjoukseen. Tarkoituksena on myös saada kuva siitä millaiseen tarpeeseen Adi Kalusteet Oy:n myyntipuoli tarvitsee 3D-mallinnusta.

Adin Kalusteet Oy:n myyntiprosessi alkaa yleensä aina asiakastiedustelulla. Alussa myynti yhdessä asiakkaan kanssa selvittää projektin tarpeet ja tavoitteet, joihin tähdätään.

Tarpeiden ja tavoitteiden määrittelyn jälkeen suunnittelijat tutustuvat asiakasyrityksen tiloihin, joihin suunnitelmaa toteutetaan. Tämän jälkeen suunnittelija aloittaa varsinaisen suunnittelutyön asiakkaan tarjoaman pohjapiirroksen pohjalta. Asiakkaan tarjoamat pohjapiirrokset ovat yleensä PDF- tai DWG-tiedostomuodoissa. Pohjapiirroksia apunaan käyttäen suunnittelija valitsee asiakkaan tilaan ja tarpeisiin soveltuvat sisustusratkaisut ja kalusteet. AutoCad-tai ArchiCad-ohjelmien 2D ominaisuuksia hyödyntäen suunnittelija sijoittaa valitut huonekalut ja muut sisustusratkaisut asiakkaan tarjoamaan pohjapiirroksen. Kuvat ovat kaksiulotteisia ja niiden tarkoituksena on esittää huonekalujen mitat sekä niille tarkoitettut paikat tilassa. Myös erikoishuonekalut suunnitellaan yleensä AutoCad:in tai ArchiCadin 2D ominaisuuksia hyödyntäen. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2015.)

Suunnitelman ja tuotekortin ollessa valmis myynti lähettää tarjouksen asiakkaalle hyväksyttäväksi. Asiakkaan hyväksytyä tarjouksen tilaus etenee Adi Kalusteet Oy:n Salon tehtaalle tuotannosuunnitteluun ja valmistukseen.



Kuva 4 Myyntiprosessi.

3.5 Tuotantoprosessi

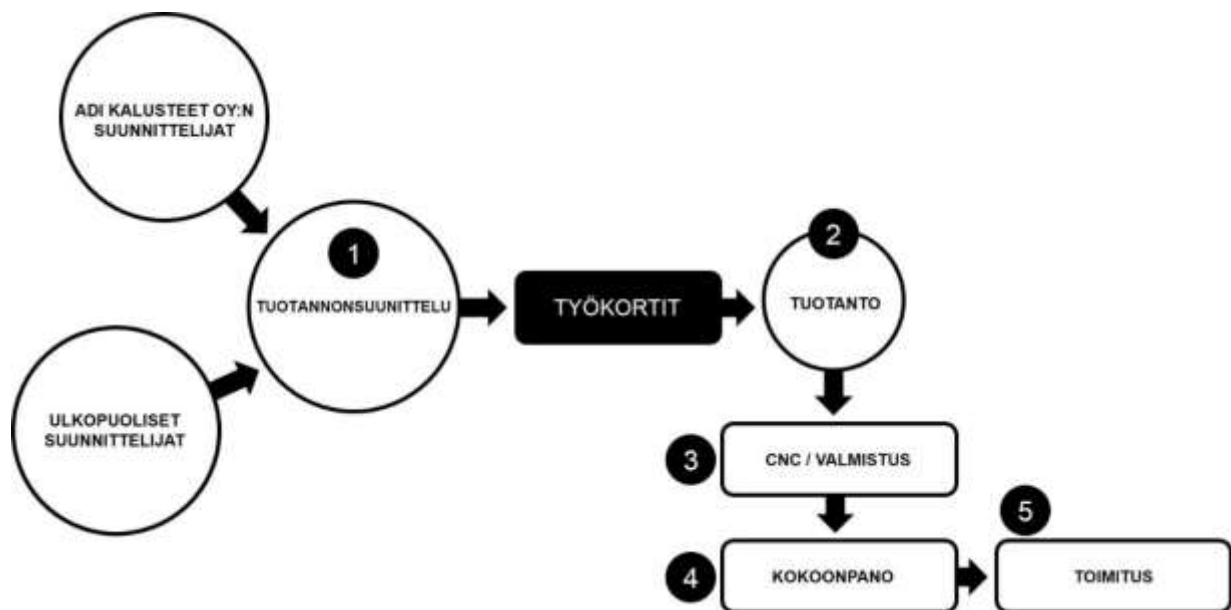
Adi Kalusteet Oy:n tuotantoprosessi tapahtuu yrityksen Salossa sijaitsevalla tehtaalla (Kuva 5). Tuotanto saa Adi Kalusteet Oy:n myyntipuolelta tilauksen joka sisältää 2D-kuvan suunnitelmasta ja tuotekortin. Tuotekortti sisältää tilatut tuotteet, tuotteiden mää-

rän, tuotteiden värit ja niiden mitat. Tuotannosuunnittelu työstää myyjän tekemän suunnitelman ja tuotekorttien pohjalta työkortit AutoCad:illä. Yleensä tuotannosuunnittelulla on käytössään aiempia projekteja joita muokkaamalla pystytään monesti tuottamaan uusia työkortteja. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

Tuotannosuunnittelu työstää CNC-jyrsintään ja valmistukseen menevät työkortit yleensä tulostetuiksi A4 lomakkeiksi, jotka sisältävät tiedot valmistettavien tuotteiden mitoista, määrästä, väreistä ja muusta tarvittavasta tiedosta. CNC-jyrsintään menevät työt siirretään joskus DXF tiedostoina suoraan CNC-koneelle, mutta monesti tuotanto piirtää jyrsittävän muodon työstöradat alusta alkaen uudelleen tulostettujen työkorttien kuvien perusteella. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

Tuotannon loppupäässä tapahtuu kalusteiden kokoonpano, pakkaus ja tilaajalle toimitaminen.

Tuotannosuunnittelulle tulee suunnitelmia myös Adi Kalusteet Oy:n yhteistyökumppaneina toimivilta suunnittelutoimistoilta. Ulkopuolisilta suunnittelijoilta tulevat suunnitelmat ovat yleensä kaksiulotteisia mittakuvia ja renderoituja mallinnuskuvia suunnitelluista tuotteista PDF tiedostoina tai AutoCad tiedostoina. Adi Kalusteet Oy:n käyttämät suunnittelutoimistot käyttävät mallinnusohjelminaan monesti SolidWorksia tai Rhinocerosia mutta joskus myös muita ohjelmia, jotka eivät ole yrityksen tiedossa. (Adi Kalusteet Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)



Kuva 5 Tuotantoprosessi.

3.6 Adi Kalusteet Oy:n mallinnus tarpeet

Adi Kalusteet Oy:n myynnissä työskentelevää henkilökuntaa, ja Salon tehtaalla tuotannon suunnittelussa ja valmistuksessa työskenteleviä henkilöitä haastatteleamalla saatiin kuva siitä millaisia tarpeita yrityksellä on 3D-mallinnuksen suhteen. Tärkeimpiä tarpeita Adi Kalusteet Oy:llä oli kaksi. Ensimmäisen oli yrityksen tarve saada myynnin käyttöön 3D-mallinnusohjelma, joka auttaisi myyntiä suunnittelussa, ja tämän lisäksi mahdollistaisi mallinnusten ja renderointien tuottamisen. 3D-mallintamisen ja renderoitujen kuvien tarkoituksena oli tuoda myynnille lisäarvoa, ja auttaa yritystä myymään suunnitelmat asiakkaille. Toisena tärkeänä tekijänä oli nopeuttaa myyjien tuottamien suunnitelmien siirtymistä tuotantoon. Adi Kalusteet Oy haluaa, että mallinnusohjelmalla olisi mahdollista siirtää tiedostoja suoraan valmistukseen ja tämän avulla saada tuotantolinjaa sujuvammaksi.

Haastattelut antoivat myös paljon vastauksia kysymyksiin siitä mitä vaikuttavia tekijöitä 3D-mallinnuksen suhteen tulisi ottaa huomioon. Yhtenä tärkeänä vaikuttavana tekijänä selvisi, että yrityksen yhteistyökumppaneilla on käytössä omia mallinnusohjelmiaan. Esimerkiksi Adi Kalusteet Oy:n käyttämä työpöytien sähköjalkoja valmistava yritys tarjoaa tuotteistaan mallinnustiedostoja. Tämän lisäksi Adi Kalusteet Oy tekee yhteistyötä ulkopuolisten suunnittelutoimistojen kanssa joilla on omat mallinnusohjelmat käytössään. Adi Kalusteet Oy voisi sopivalla 3D-mallinnusohjelmalla hyödyntää alihankkija yritysten tarjoamia mallinnustiedostoja.

Haastattelujen avulla kerättiin myös tietoa Adi Kalusteet Oy:n myynnin henkilöstön taustasta ja lähtötasosta mallintamiseen. Haastatteluissa kävi ilmi, että suurella osalla henkilöstöstä ei ole aiempaa taustaa 3D-mallintamisen suhteen, tai aiemmat kokeilut ovat olleet suppeita ja tapahtuneet vuosia sitten.

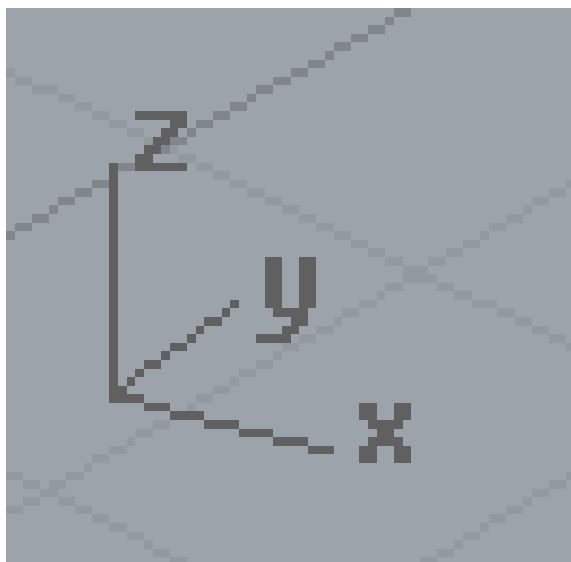
4 3D GRAFIikka, MALLINTAMINEN JA RENDEROINTI

4.1 3D-mallintamisen perusteet

3D-mallintaminen on hyvä apuväline, kun halutaan esittää esimerkiksi tilaa tai esinettä mahdollisimman realistisesti ennen kuin varsinaista tutkailtavaa kohdetta on olemassa. 3D-mallintaminen onkin kustannustehokas ja nopea tapa tarkastella tuotteen ominaisuuksia ja yleisilmettä ennen varsinaista tuotantoon siirtymistä.

3D-mallinnusohjelmalla suunniteltua mallinnuskuvaa pystytään hyödyntämään esimerkiksi asiakastilauksissa, joissa pyritään myymään asiakkaalle idea tuotteesta. 3D-mallinnuksesta pystytään siirtymään myös suoraan tuotantoon.

3D-mallilla tarkoitetaan 3D-mallinnusohjelmalla mallinnettua kappaletta jota voidaan tarkastella kolmiulotteisesti. Mallinnettava kappale suunnitellaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu näytöllä näkyvistä x-, y- ja z-koordinaattiakseleista (Kuva 6) (Tuhola, Viitanen 2008, 17).



Kuva 6 Koordinaattiakseli.

3D-malli koostuu useimmiten mesh-verkosta, joka koostuu virtuaalisista pinnoista (face), sen kärkipisteistä (vertex) ja sivuista (edge). Vertex-pinnat jotka jakavat naapuri-

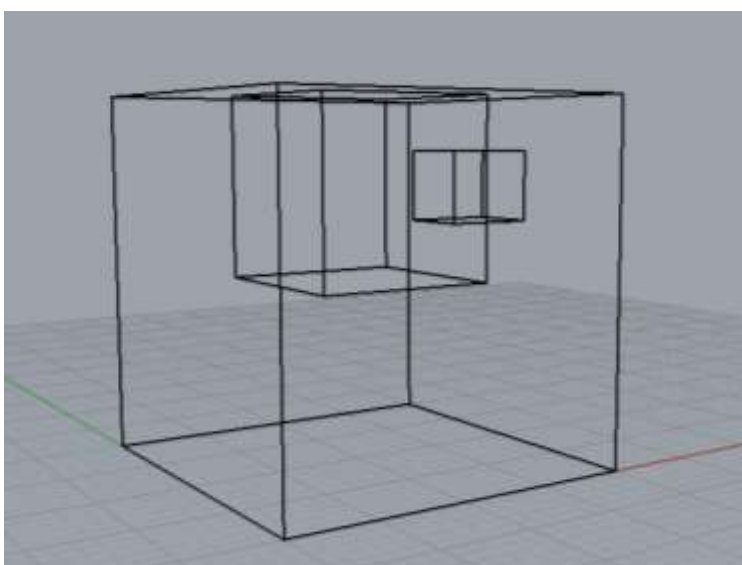
pintojensa kanssa yhden tai useamman kärkipisteen muodostavat yhdessä mesh-verkon. Mesh-verkkoa pystytään muokkaamaan kärkipisteitä liikuttelemalla. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21.)

Mesh-verkon tiheys vaikuttaa siihen kuinka yksityiskohtainen 3D-mallinnus on. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21.)

Toinen tapa tuottaa 3D-mallinnuksia on niin sanottuja NURBS-käyriä tekemällä. NURBS eli Non-Uniform Rational B-Splines mallintamisella muodostetaan kolmiulotteisia pintoja luomalla spline-käyrien muodostamia muotoja kärkipisteiden avulla. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 21.)

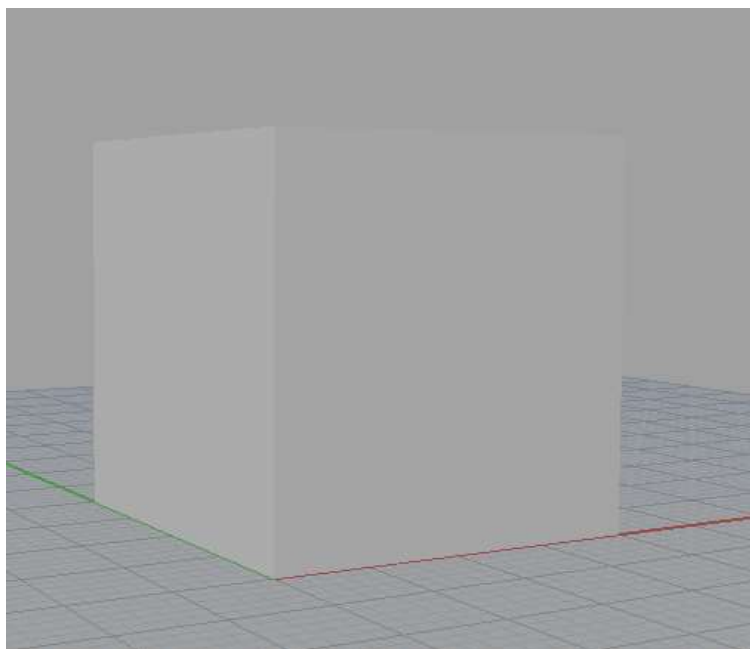
3D-mallia pystytään tarkastelemaan mallinnusohjelmissa eri tavoilla. Suurimmassa osassa 3D-mallinnusohjelmia tarkastelutavat samoja, mutta niiden käyttötavat saattavat vaihdella. Eri tarkastelutapoja on 3D-rautalankamalli, 3D-pintamalli ja 3D-malli. (Tuhola, Viitanen 2008, 20)

3D-rautalankamallilla tarkoitetaan näkymää, jossa mallista näkyy vain kappaleen ääri-
viivat (Kuva 7). Rautalankamallin vahvuutena on se, että mallinnusta muokatessa voidaan helposti tarttua rautalankamallin eri pisteisiin. Rautalankamallin heikkoutena on kuitenkin se, että mallinnetusta kappaleesta on vaikea hahmottaa, mitkä pinnat ovat edessä ja mitkä takana. (Tuhola, Viitanen 2008, 20–21.)



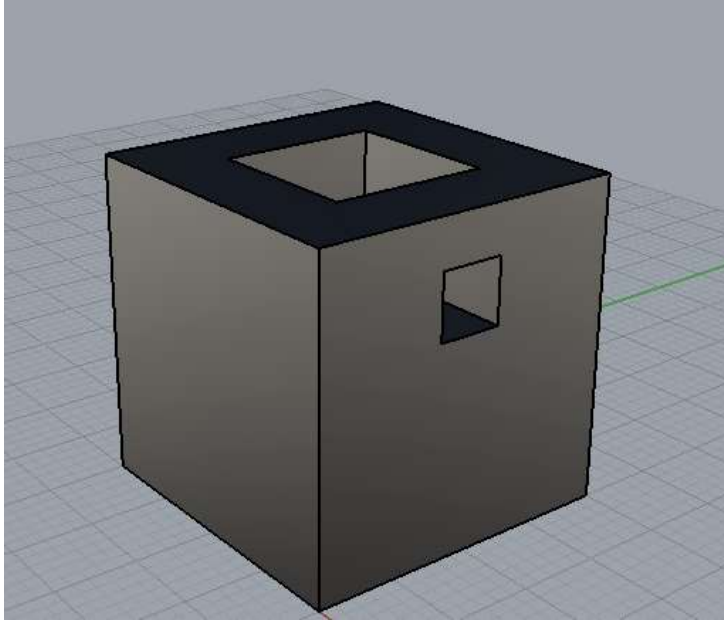
Kuva 7 Rautalankamalli.

3D-pintamallilla tarkoitetaan näkymää, jossa on näkyvissä vain pinnat joista mallinnettu kappale koostuu (Kuva 8). Pintamallista pystytään muokkaamaan vain sen näkyvissä olevia pintoja. Pintamallin avulla pystytään kuitenkin hahmottamaan mallinnetun kappaleen yleisilme. (Tuhola, Viitanen 2008, 21.)



Kuva 8 Pintamalli.

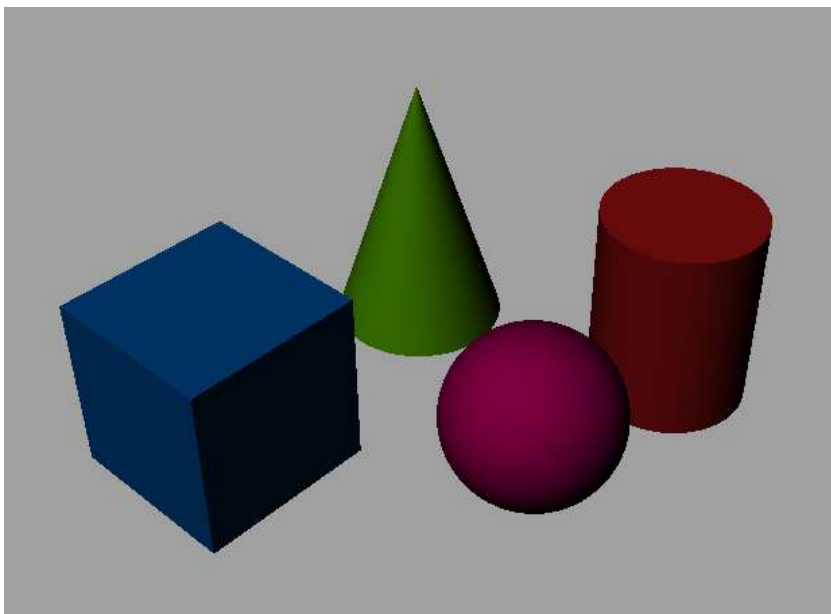
3D-mallilla tarkoitetaan mallia jossa on näkyvissä kaikki se tieto, josta malli koostuu (Kuva 9). 3D-malli on havainnollinen esitystapana, sillä sen avulla mallinnettua kappaletta voidaan tarkkailla sellaisena, kuin se todellisuudessa olisi. 3D-malli sisältää tiedon siitä missä kohdissa kappaletta on materiaalia ja missä kohdissa taas ei. 3D-mallissa kappaletta joudutaan kuitenkin pyöryttämään sellaiseen asentoon, jotta haluttuun pintaan pystyttäisiin tarttumaan. (Tuhola, Viitanen 2008, 22.)



Kuva 9 3D-malli.

4.2 Muodon tekeminen mallinnusohjelmassa

Kaikissa 3D-mallinnusohjelmissa on valmiina perusmuotoja, joita pystytään käyttämään hyödyksi uutta mallia mallintaessa sellaisenaan tai apumuotona uuden muodon luomisessa. Valmiita muotoja ovat yleensä pallo, kartio, kuutio, sylinteri ja pyramidi (Kuva 10). (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 24.)



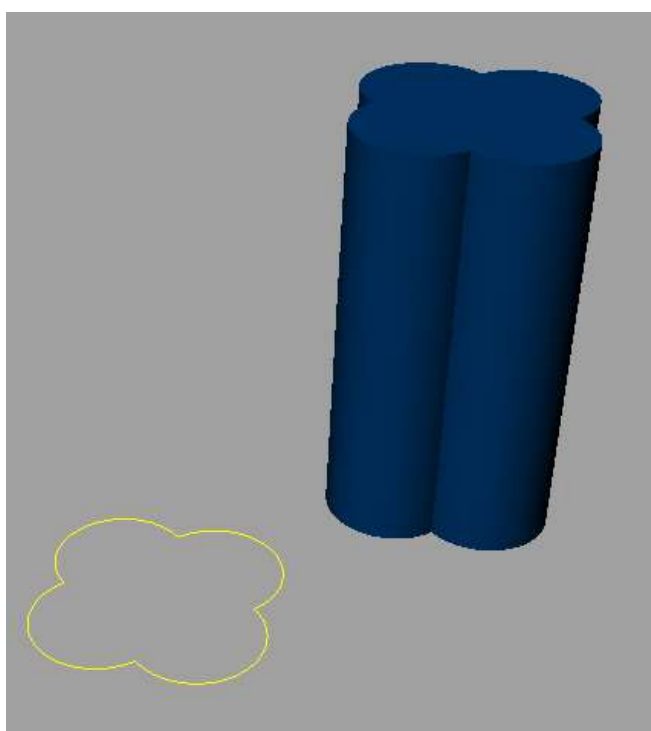
Kuva 10 Valmiita perusmuotoja.

Perusmuodot riittävät vain harvoin ja yleensä niitä joudutaan muokkaamaan. Useimmiten perusmuodot eivät edes riitä vaan muotoja joudutaan tuottamaan tyhjästä mallinnusohjelman siihen antamalla mahdollisuuksilla. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 24.)

3D-mallinnusohjelmissa on yleensä erilaisia tapoja aloittaa uuden muodon tekeminen ja seuraavat esimerkit ovat vain muutamia niistä.

4.2.1 Extrude pursottaminen

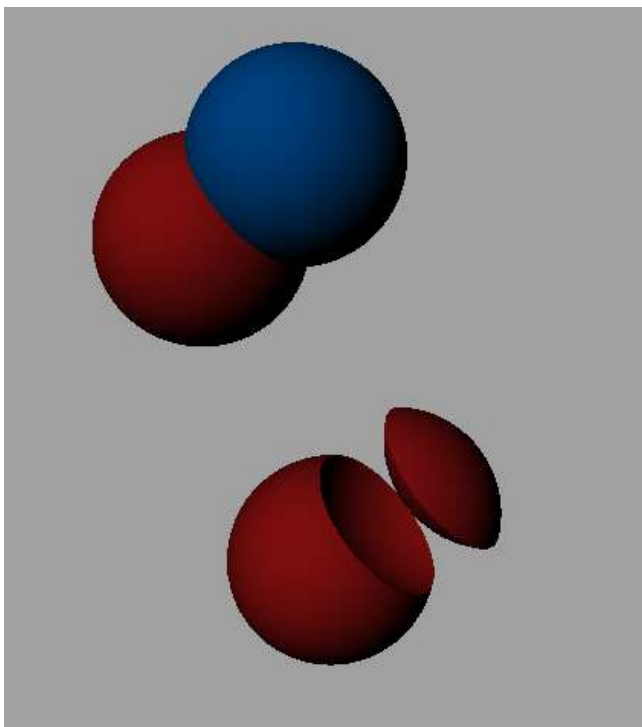
Extrude pursottamisella tarkoitetaan toimenpidettä jolla valitulle käyrälle saadaan kolmiulotteinen syvyys (Kuva 11). (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 27.)



Kuva 11 Pursotus eli extrude.

4.2.2 Boolean-operaatio

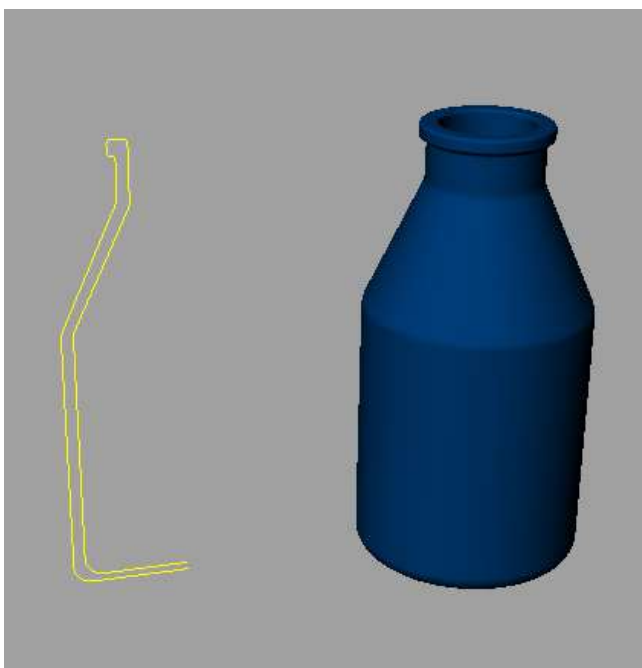
Boolean-operaatiossa kahden kappaleen tilavuuksia lisätään toisiinsa tai vähennetään toisistaan. Kappaleista voidaan Boolean työkalulla myös poistaa muut osat paitsi niiden yhdessä jakama tila (Kuva 12). (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 25.)



Kuva 12 Boolean-operaatio.

4.2.3 Revolve pyöräyttäminen

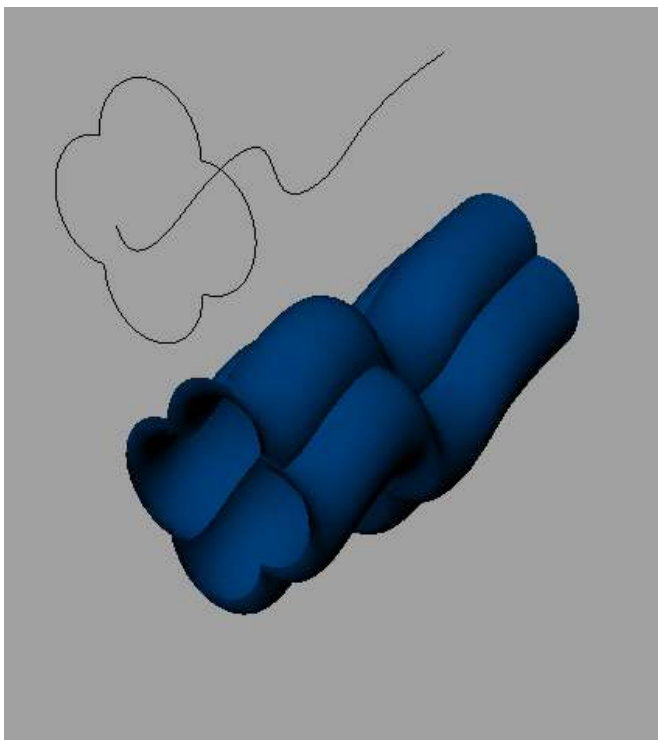
Revolve työkalulla piirretty profiilikäyrä pyöräytetään valitun akselin ympäri (Kuva 13).



Kuva 13 Pyöräytys eli Revolve.

4.2.4 Lofting

Loftauksessa suljettu profiilikäyrä vedetään toista polkuna toimivaa käyrää myöten (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 25). Loftaus on käytännössä pursottamista joka tapahtuu polkuna toimivaa käyrää apuna käyttäen (Kuva 14).



Kuva 14 Lofting.

4.3 Renderointi

Renderoinnilla tarkoitetaan 3D-mallinnusohjelmalla mallinnetun kolmiulotteisen kappaleen muuntamista kaksiulotteiseksi fotorealistiseksi kuvaksi. Renderoidun kuvan tulisi olla mahdollisimman yksityiskohtainen, ja sisältää tietoa mallinnetun kappaleen materiaaleista, yleisilmeestä ja ympäristöstä. Renderoinnissa tärkeää on mallinnetun kappaleen tekstuurit eli materiaalit ja valaistus sillä yhdessä nämä tekevät lopullisesta renderoinnista todentuntuisen, ja antavat samalla tietoa kohteen muodosta.

4.4 Mallinnusohjelmat

Markkinoilla on useita eri 3D-mallinnusohjelmia ja ohjelmistokehittäjiä. Tässä opinnäytetyössä esitellyt 3D-mallinnusohjelmat ovat valikoituneet listaan sillä ne ovat 3D-mallintamisen kentällä yleisesti käytettyjä ja niiden ominaisuudet sekä maine ovat todettu hyväksi. Vaikka osalla ohjelmistokehittäjistä, kuten Autodeskillä on useita 3D-mallintamiseen liittyviä tuotteita, on tässä listassa esitelty niistä vain osa. Parhaimmillaankin tämä lista on lähinnä pintaraapaisu markkinoilla oleviin 3D-mallinnusohjelmiin.

4.4.1 ArchiCad

ArchiCad on Graphisoftin kehitelemä BIM-pohjainen (Building information modeling) 3D-mallinnusohjelma. ArchiCad on pääsääntöisesti suunnattu arkkitehtien käyttöön ja tarjoaa työkalut rakennuksen, sisustuksen ja ympäristön mallintamiseen. (ArchiCad 2016.)

4.4.2 AutoCad

AutoCad on autodeskin vuonna 1982 ilmestynyt CAD-pohjainen (Computer Aided Design) 2D ja 3D-suunnitteluohjelma. AutoCad on varsinkin sen 2D ominaisuuksien puolesta suosittu ja erittäin yleisesti eri aloilla käytetty ohjelmisto. AutoCad:in DWG tiedostoformaattista on tullut monella alalla yleisesti käytössä oleva ja suositeltu tiedostomuoto.

4.4.3 Autodesk 3ds Max

3ds Max on Autodeskin kehittämä 3D-mallinnusohjelma. 3ds Max -ohjelmiston ominaisuuksilla voi luoda ammattilaislaatuisia 3D-animaatioita, renderointeja ja malleja. Tehokkaalla luovalla työkalustolla varustettu 3ds Max auttaa luomaan parempaa 3D-sisältöä lyhemmässä ajassa. (Autodesk 2016.)

3ds Max on yksi maailman käytetyimmistä 3D-mallinnusohjelmista. 3ds Maxin vahvuutena ovat sen sisältämät työkalut mallintamiseen, animointiin ja renderointiin. 3ds Maxiin voi myös lisätä kolmannen tahon Plug-in ohjelmia. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 87.)

4.4.4 Autodesk Inventor

Autodeskin kehittämä 3D CAD mallinnusohjelma. Autodesk Inventor sisältää mallinnusvaihtoehtoja vapaata, parametristä ja suoraa mallintamista varten. Tämän lisäksi Autodesk Inventor sisältää työkaluja visualisointiin, automaatioiden suunnitteluun ja simulointiin. (Autodesk 2016)

4.4.5 Blender

Blender on ilmainen Open source 3D-mallinnusohjelma jota ylläpitää Tanskalainen Blender Foundation. Blender -ohjelmiston käyttäjät koostuvat 3D-mallinnuksen ammattilaisista sekä harrastajista. Käyttäjät voivat vapaasti osallistua Blenderin kehittämiseen, Blender Foundationin ylläpitäessä toimintaa. Blender -ohjelmiston käyttö on täysin ilmaista ja ohjelmaa voi käyttää sekä kaupalliseen tarkoitukseen, että omaan käyttöön. (Blender 2016.)

Blender on monipuolinen mallinnusohjelma jolla käyttäjä pystyy tekemään mallinnusta, renderointia, animaatioita ja jopa pelisuunnittelua. (Blender 2016.)

Blenderin vahvuutena on se, että mallinnusohjelman käyttö kaupallisessakin tarkoituksessa on ilmaista.

4.4.6 Rhinoceros 3D

Rhinoceros 3D-mallinnusohjelman avulla voi luoda, analysoida, renderoida, animoida ja muokata NURBS käyriä, pintoja, ja polygoniverkkoja. Rhinoceros 3D on monipuolinen 3D-mallinnusohjelma, jonka avulla on mahdollista suunnitella ja mallintaa sekä isoja yksityiskohtaisia projekteja, ja pieniä yksinkertaisia kohteita. (Rhinoceros 3D 2016.)

Rhinoceros -ohjelmiston vahvuuksina on tarkkuus, nopeus, suhteellisen lyhyt oppimiskäyrä sekä yhteensopivuus useimpien 3D-mallinnusohjelmien, renderointi ohjelmien ja CAM-ohjelmien kanssa. (Rhinoceros 3D 2016.)

4.4.7 SketchUp

Sketchup on Googlen omistama 3D-mallinnusohjelma suunnittelua, arkkitehtuuria, peli suunnittelua ja sisustussuunnittelua varten. Sketchupilla on mahdollista tuottaa 3D-mallinnuksia ja kaksiulotteisia kuvia. Mallinnus työkalujen lisäksi Sketchup tarjoaa valmiita ja ilmaisia vapaasti käytettäviä 3D malleja. (Sketchup 2016)

4.4.8 SolidWorks

SolidWorks on Dassault Systemesin kehittämä 3D-mallinnusohjelma. SolidWorksin avulla pystytään nopeassa ajassa mallintamaan realistisia mallinnuksia. SolidWorksin työkaluilla pystytään tekemään mallinnuksia osissa ja assembly toiminnolla rakentamaan kokoonpanoja mallinnetuista osista. Mallinnusohjelman työkaluihin kuuluu myös nopea kaksiulotteisten piirustusten tekeminen ja analysointi työkalut joilla voidaan realistisesti testata mallinnetun kappaleen rakenteiden kestävyksiä. (SolidWorks 2016.)

4.4.9 Vertex 4GInD

Vertex 4GInD on suomalainen 3D-mallinnusohjelma keittiöiden ja kalusteiden valmistajille joka on mahdollistaa erikoiskalusteiden ja keittiökokonaisuuksien suunnittelemisen. (Vertex 2016.)

Vertex pystyy hyödyntämään muilla 3D-mallinnusohjelmilla mallinnettuja CAD tiedostoja kääntäjiä hyväksi käyttämällä. Vertexissä on vakion DWG ja DXF tiedostomuotojen tuonti (import) ja PDF tiedostomuotojen vienti (export). (Vertex 2016.)

4.5 3D-mallinnusohjelmien valintaperusteet

Eri 3D-mallinnusohjelmia ja niiden tarjoamia ominaisuuksia tutkittaessa tärkeiksi valinta perusteiksi nousi toimeksiantajan alussa asettamat tarpeet, ja tutkimuksen kautta löytyneet erikoistarpeet. 3D-mallinnusohjelman tulisi tukea mahdollisimman monia erilaisia tiedostomuotoja. Mallinnusohjelman tulisi pystyä sekä avaamaan (import) ja tallentamaan (export) eri tiedostomuodoissa. Tiedostomuodot ovat tärkeä osa sillä Adi Kalusteet Oy:n käyttämät alihankkijayritykset ja suunnittelutoimistot tarjoavat omia mallinnuksiaan,

ja Adi Kalusteet Oy:n käytössä olevan 3D-mallinnusohjelman tulisi pystyä avaamaan nämä mallinnustiedostot, jotta niitä pystyttäisiin hyödyntämään. Tiedostomuodot ovat myös tuotannolle tärkeitä sillä yrityksen CNC-työstökoneen käytön kannalta olisi tärkeää, että 3D-mallinnusohjelma DXF tiedostoja, jotta niitä voitaisiin siirtää suoraan tuotannon CNC koneelle jyrshintää varten.

Valitun 3D-mallinnusohjelman tulisi mahdollistaa Plug-in-ohjelmien, kuten renderointi ohjelmien ja CAM-ohjelmistojen käytön.

Osa listassa esitellyistä 3D-mallinnusohjelmista karsiutui pois sillä ne eivät täysin pystyneet tarjoamaan vaadittuja ominaisuuksia. Osa mallinnusohjelmista karsiutui pois alustava testauksen seurauksena. Esimerkiksi SketchUp mallinnusohjelmaa markkinoidaan nopeana ja yksinkertaisena mallinnusohjelmiana, mutta testauksessa kyseisellä ohjelmalla mallintaminen tuntui hitaalta ja vaikealta.

Case-esimerkin mallintamista varten valittiin ominaisuuksiltaan parhaat mallinnusohjelmat. Osaltaan valintaan vaikutti myös mallinnusohjelmien saatavuus.

Rhinoceros 3D mallinnusohjelma valikoitui testattavaksi sillä ohjelma tukee suurinta osaa muiden mallinnusohjelmien tiedostomuodoista (Rhinoceros 3D 2016). Rhinoceros 3D:n avulla Adi Kalusteet Oy pystyisi hyödyntämään alihankkijoiden tarjoamia mallinnuksia, ja hyödyntämään ulkopuolisten suunnittelijoiden lähettämiä mallinnustiedostoja. Rhinoceros tukee myös useita kolmannen tahon Plug-in-ohjelmia joiden avulla rhinocerosella tehtyjä 3D-mallinnuksia pystytään hyödyntämään esimerkiksi renderointi Plug-in-ohjelmaa tai CAM-ohjelmaa käyttämällä.

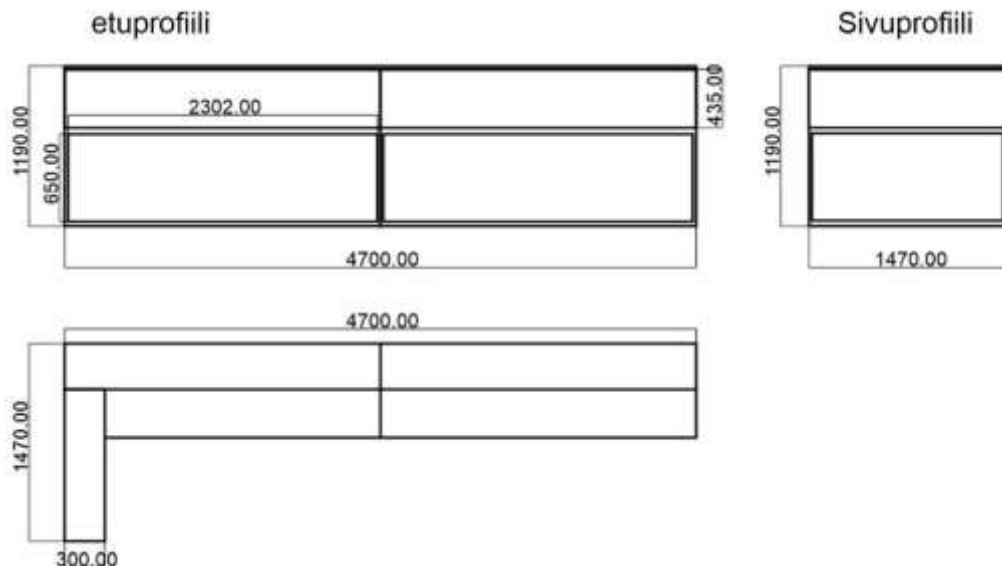
Autodesk Inventor valikoitui testattavaksi myös sen tarjoamien ominaisuuksien seurauksena. Autodesk Inventor mallinnusohjelma tukee useita tiedostomuotoja ja Plug-in-ohjelmistoja. Näiden lisäksi Autodesk Inventorissa on hyvät ominaisuudet kappaleiden mittojen muunneltavuuteen, assembly kokoonpanojen ja mallinnetun kappaleen kokoonpano kuvien hyödyntämiseen.

SolidWorks mallinnusohjelman tarjoamat ominaisuudet, kuten mallinnettujen kappaleiden mittojen helppo muunneltavuus, assembly kokoonpanojen ja kaksiulotteisten kokoonpano kuvien tekeminen johtivat SolidWorks ohjelman jatko tarkasteluun.

5 CASE-ESIMERKIT

5.1 Case-esimerkki

Tässä luvussa esitellyn case-esimerkin mallintamisen tarkoituksena on olla apuna valittujen 3D-mallinnusohjelmien toimintojen ja työskentelyprosessin testaamisessa, ja esittää minkä tasoista mallinnusta kyseisillä ohjelmilla saadaan aikaiseksi. Case-esimerkki on toimeksiantajan Adi-Kalusteet Oy:n tarjoama vastaanottopöytä projekti johon on tehty joitakin muutoksia (Kuva15). Vastaanottopöytään tehtyjen muutosten tarkoituksena on tehdä mallinnusprojektista selkeämpi, ja muokata vastaanottopöydästä sellainen, että sitä ei pystyttäisi suoraan tunnistamaan Adi Kalusteet Oy:n asiakkaalle tekemäksi projektiksi.



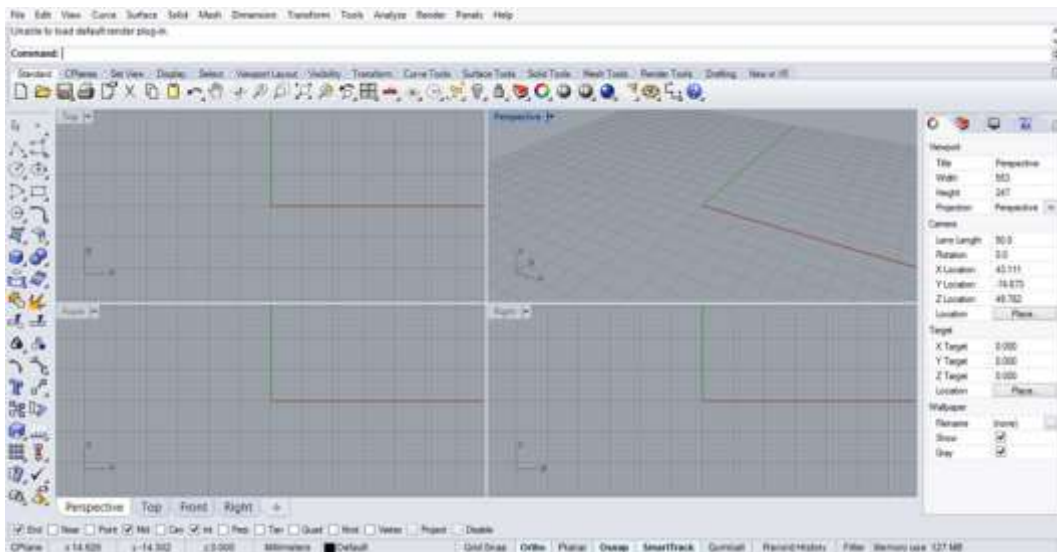
Kuva 15 Vastaanottopöydän mittakuva.

Case-esimerkit ovat mallinnettu alusta alkaen uudestaan jokaisella ohjelmalla, jotta pystyttäisiin havainnollistamaan jokaisen ohjelman omat erityiset mallintamisen työvaiheet. Jokaisesta kolmesta ohjelmasta on esitetty niiden perustyökalut, jonka jälkeen käydään läpi vastaanottopöydän mallintamisen eri työskentelyvaiheet.

Case-esimerkkien mallintamisen tarkoitus ei ole olla kattava opas mallintamiseen kyseisillä 3D-mallinnusohjelmilla, vaan pelkästään kuvata case-esimerkin mallinnuksessa tarvittavia työkaluja.

5.2 Rhinocerosin työkaluvalikot

Rhinoceros 3D ohjelman käyttöliittymän perusnäkö koostuu piirtotasosta top, front, right ja perspective (Kuva 16). Piirtotasojen käyttö riippuu siitä mitä osaa mallinnettavasta kappaleesta ollaan mallintamassa tai tarkastelemassa.



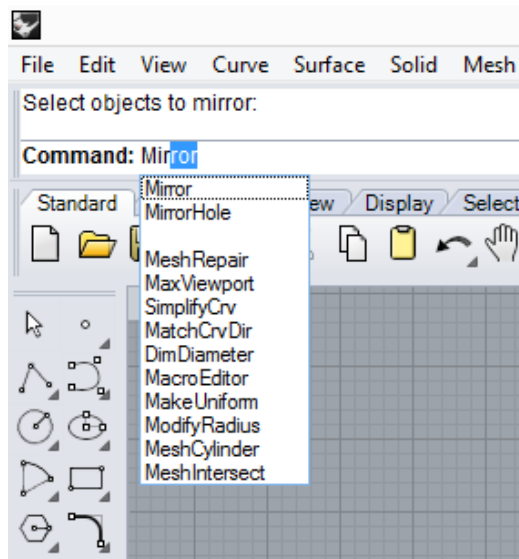
Kuva 16 Rhinocerosin perusnäkö.

Käyttöliittymän ylälaudasta löytyy työkalurivi josta löytyy työkaluja mallinnusta, kappaleen pintojen muokkaamista, näkömuokkauksesta, renderointia ja tallentamista varten (Kuva 17).



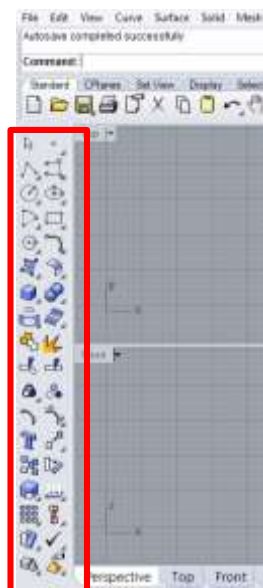
Kuva 17 Ylälaudan työkalurivi.

Rhinoceros 3D käyttöliittymän ylälaudasta löytyy myös (command) komentopalkki (Kuva 18). Command komentopalkkiin pystyy kirjoittamaan halutun komennon. Tämä nopeuttaa mallintamista, sillä haluttua komentoa ei tarvitse etsiä työkaluriviltä. (Command) komentopalkin käyttäminen on varsinkin aloittelevalla Rhinocerosin käyttäjällä hyvä apuväline, jos käyttäjä ei muista missä jotkin komennot sijaitsevat työkalurivillä.



Kuva 18 Command komentopalkki.

Rhinoceros käyttöliittymän oikeassa kulmassa näkyy työkalurivi josta löytyy kaikki työkalut mallintamista varten (Kuva 19). Työkalurivistä löytyy muun muassa työkaluja viivan piirtoa varten kuten esimerkiksi (polyline) viivanpiirto työkalu, (control point) kurvien piirtämiseen tarkoitettu viivanpiirto työkalu ja työkaluja ympyröiden ja ellipsien piirtämistä varten. Työkalurivistä löytyy myös useita eri työkaluja kappaleen pintojen muokkaamista, viivojen pursotusta, pintojen peilaamista ja kappaleiden pintojen yhdistämistä varten.



Kuva 19 Työkalurivi.

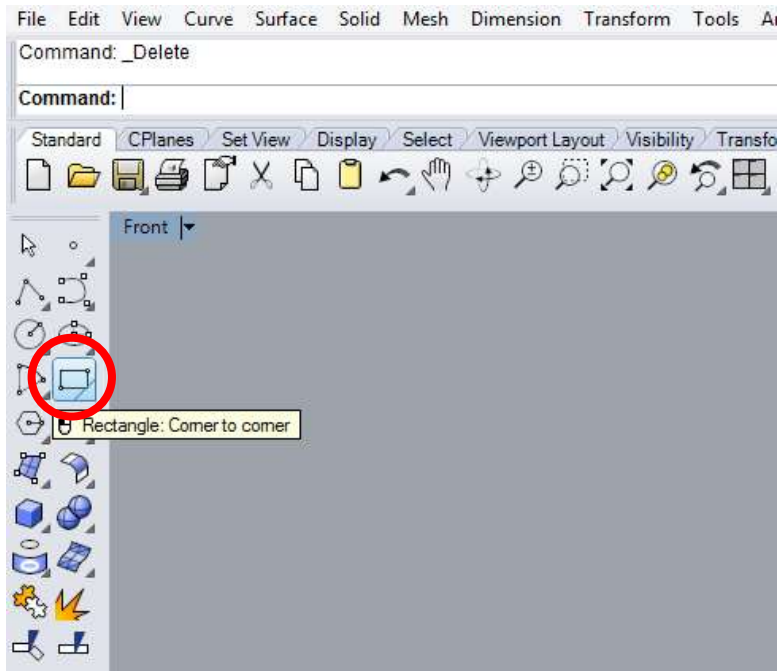
Käyttöliittymän oikeasta reunasta löytyvät työkalupalkki (layereita) varten (Kuva 20). Varsinkin moniosaisia ja monimutkaisia mallinnuksia tehdessä on hyvä tallentaa mallinnuksen eri osat omille layereilleen. Tämä auttaa pitämään projektin selkeänä sillä osan mallinnuksesta voi laittaa hetkellisesti pois näkyvistä mikä auttaa mallintamaan, tarkastelemaan tai muokkaamaan pelkästään haluamiaan osia mallinnuksesta.



Kuva 20 Layer työkalupalkki.

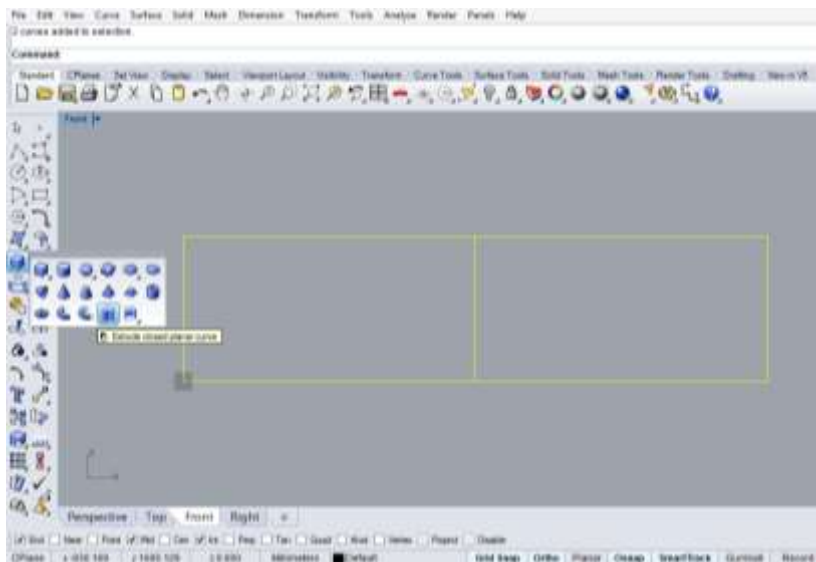
5.3 Case-esimerkin mallintaminen Rhinoceros ohjelmalla

Vastaanottopöydän mallintaminen Rhinoceros mallinnusohjelmalla aloitettiin front ikkunanäkymässä, sillä vastaanottopöydästä haluttiin mallintaa aluksi sen rungon etuosan levyt. Käyttöliittymän oikeassa reunassa löytyvistä työkaluvalikon työkaluista valittiin (Rectangle: Corner to corner) työkalu (Kuva 21).

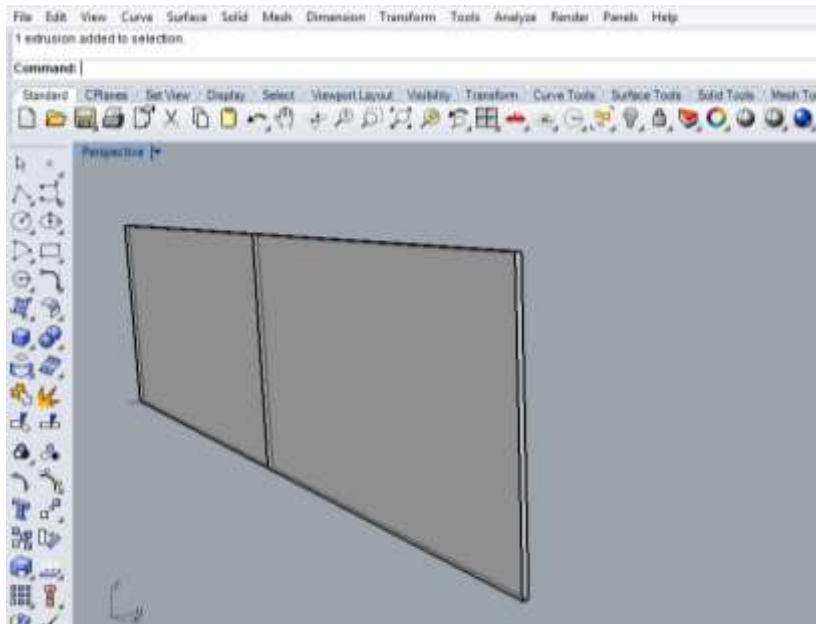


Kuva 21 Rectangle: Corner to corner työkalu.

(Rectangle: Corner to corner) työkalun avulla piirrettiin vastaanottopöydän rungon etulevyt. Piirrettyjen etulevyjen ääriiviat puresotettiin käyttöliittymän oikean reunan työkaluluikasta löytyvää (Extrude) (Kuva 22) työkalua käyttäen 24 millimetrin paksuisiksi levyiksi (Kuva 23).

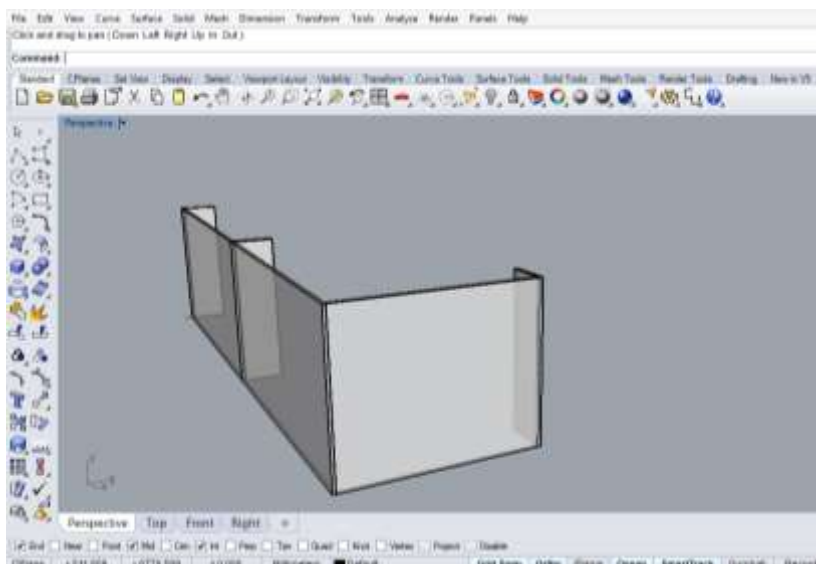


Kuva 22 Extrude työkalu.



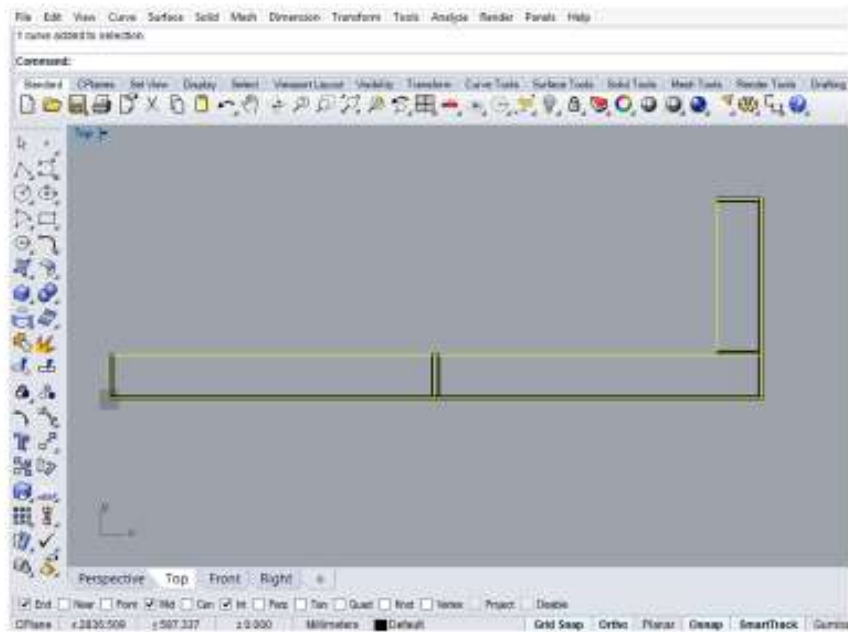
Kuva 23 Extrude työkalulla pursotetut levyt.

Samoja työkaluja hyödyntäen piirrettiin myös vastaanottopöydän rungon sivuprofiilin levyt sekä rungon lyhemmät päätylevyt ja pursotettiin ne (Extrude) pursotus työkalulla 24 millimetrin paksuisiksi levyiksi. Muutamaa perus työkalua hyödyntäen pystyttiin mallintamaan hyvin nopeassa ajassa vastaanottopöydän runko kuvassa näkyväksi malliksi (Kuva 24).



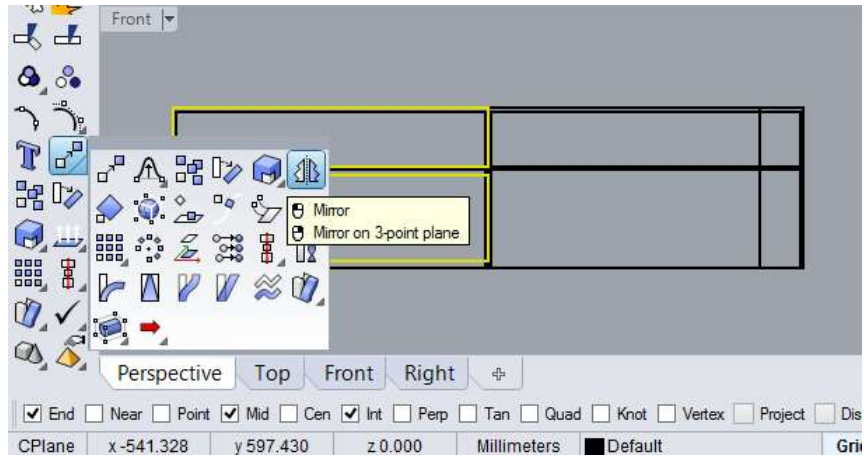
Kuva 24 Vastaanottopöydän runko.

Seuraavana työvaiheena mallinnettiin vastaanottopöydän pöytätasot. Pöytätasot piirrettiin (Rectangle: Corner to corner) piirtotyökalulla jo mallinnettujen osien kulmia ja mittoja apuna käyttäen (Kuva 25).



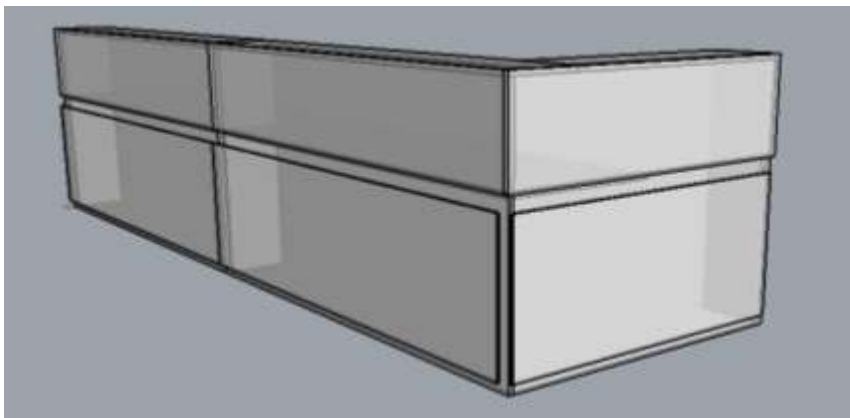
Kuva 25 Vastaanottopöydän pöytätasot.

Viimeisenä työvaiheena vastaanottopöydästä mallinnettiin pöydän etu- ja sivuprofiilin paneelit. Etuprofiilin paneelit piirrettiin (Front) ikkunassa (Rectangle: Corner to corner) työkalulla vastaanottopöydän vasemmalle puolelle. Piirretyt viivat pursotettiin 24 millimetrin paksuisiksi levyiksi jonka jälkeen pursotetut levyt kopioitiin peilaamalla ne (mirror) työkalulla alkuperäisten pursotettujen levyjen viereen (Kuva 26). (Mirror) työkalua hyödyntäen vastaanottopöydän etuprofiilin paneelit pystyttiin mallintamaan ilman, että jokainen osa olisi jouduttu mallintamaan erikseen.



Kuva 26 Mirror työkalu.

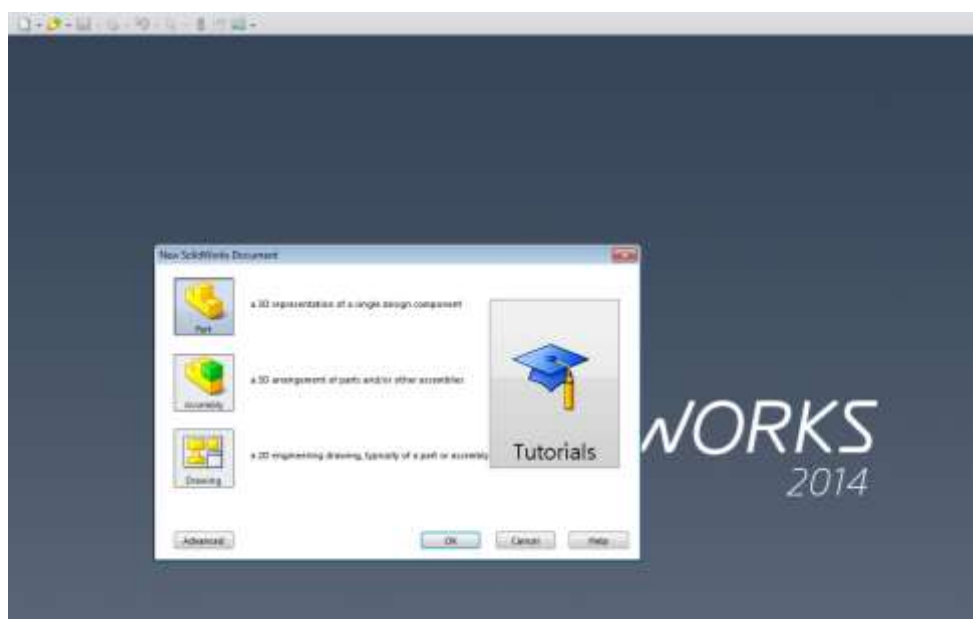
Etuprofiilin paneelien tapaan myös sivuprofiilin paneelit piirrettiin (Rectangle: Corner to corner) työkalulla ja pursotettiin (Extrude) työkalulla 24 millimetrin paksuisiksi levyiksi. Näin saatiin mallinnettua nopeasti ja pelkästään muutamaa työkalua käyttäen vastaanottopöydän runko, pöytätasot ja etu- ja sivuprofiilin paneelit valmiiksi vastaanottopöydän malliksi (Kuva 27).



Kuva 27 Valmis Rhinocerosilla mallinnettu vastaanottopöytä.

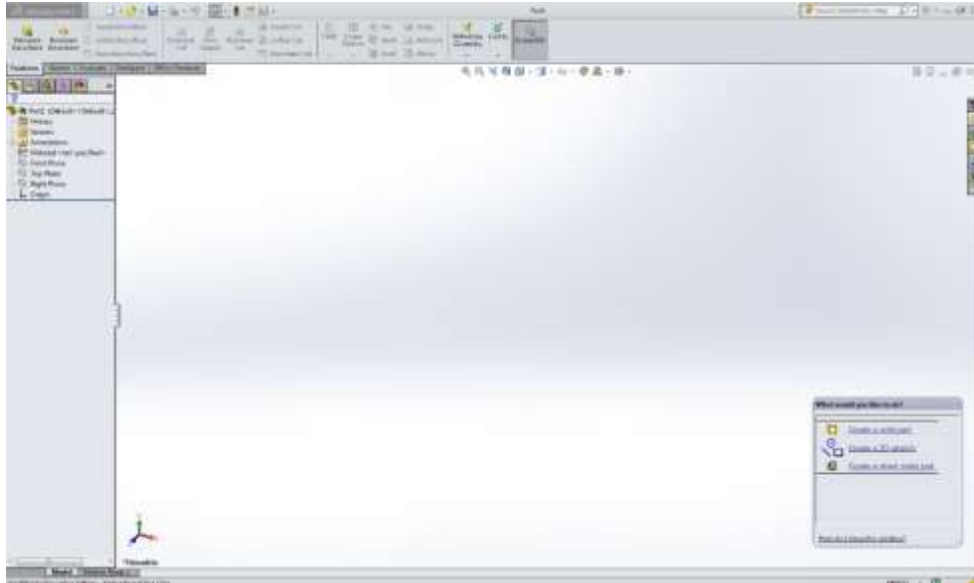
5.4 SolidWorksin työkaluvalikot

SolidWorks mallinnusohjelman avaamisen jälkeen ruutuun ilmestyy valikko josta pystytään valitsemaan halutaanko ohjelmalla mallintaa uusi kappale (Part), tehdä uusi kokoonpano mallinnetuista kappaleista (Assembly), vai halutaanko mallinnetusta kappaleesta tehdä kaksiulotteinen kokoonpano piirustus (Drawing) (Kuva 28).



Kuva 28 SolidWorks alkuvalikko.

Uutta mallinnusta aloitettaessa valitaan valikosta (Part) vaihtoehto, jonka jälkeen näytölle avautuu SolidWorksin käyttöliittymän perusnäky (Kuva 29).



Kuva 29 SolidWorksin perusnäkyä.

SolidWorks mallinnusohjelman yläreunasta löytyy työkalupalkki, joka sisältää (Sketch) valikon viivojen piirtämistä varten, ja (Features) valikon, joka tarjoaa useita eri työkaluja mallin ominaisuuksien luomista varten.

(Sketch) valikosta löytyvät kaikki tarvittavat työkalut mallinnettavan kappaleen eri muotojen piirtämistä varten (Kuva 30).



Kuva 30 Sketch valikko.

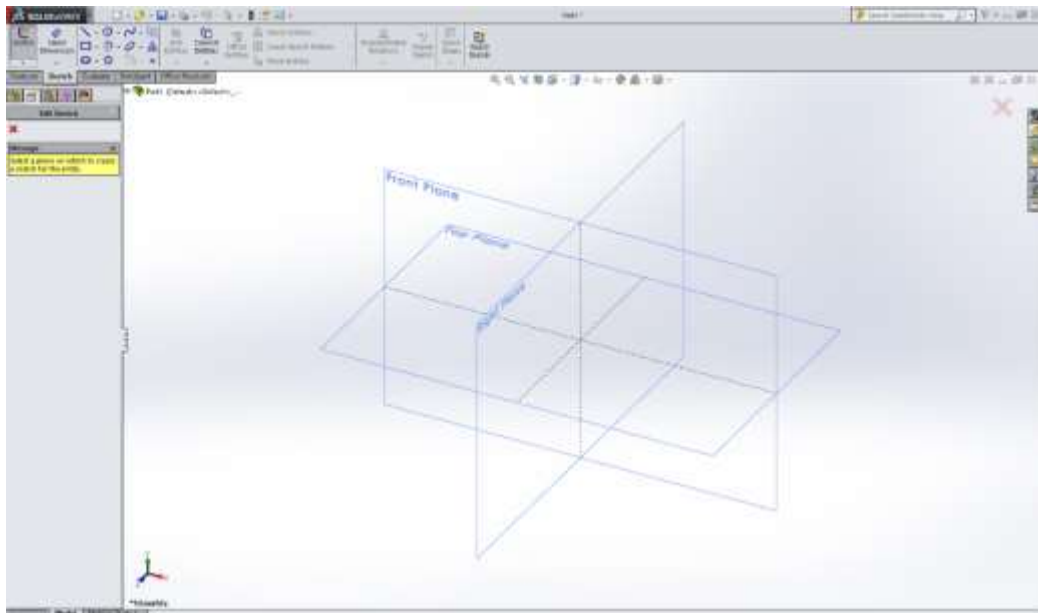
(Sketch) valikosta löytyy myös (Smart Dimension) työkalu jolla pystytään tarkkaan mittaamaan piirrettyjen kappaleiden mittoja.

(Features) valikosta löytyvät työkalut mallin ominaisuuksien luomista varten. Työkaluvalikosta löytyvät työkalut esimerkiksi pursottamista (Extrude), muodon loftaamista ja muodon pelaamista varten (Kuva 31).



Kuva 31 Features valikko.

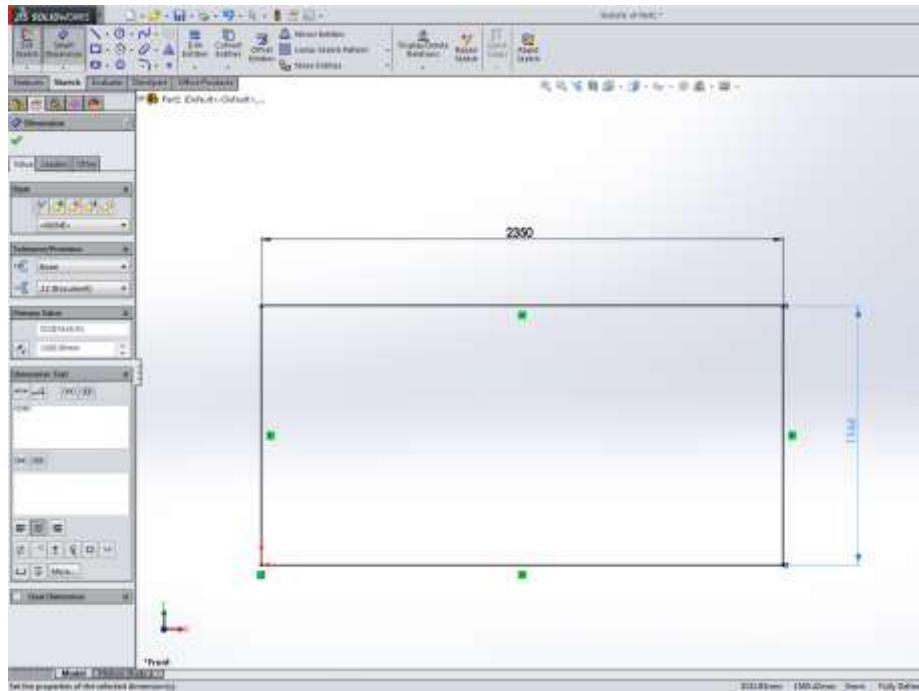
Mallintaminen SolidWorks mallinnusohjelmassa tapahtuu (Sketch) piirtotyökaluja käyttämällä piirtäen eri (Plane) tasolle. SolidWorksissa on valmiina eri (Plane) tasoja mutta niitä pystyy tekemään myös itse lisää. Valmiita (Plane)tasoja SolidWorksissa ovat: (Front Plane), (Right Plane) ja (Top Plane) (Kuva 32).



Kuva 32 Front Plane, Right Plane ja Top Plane tasot.

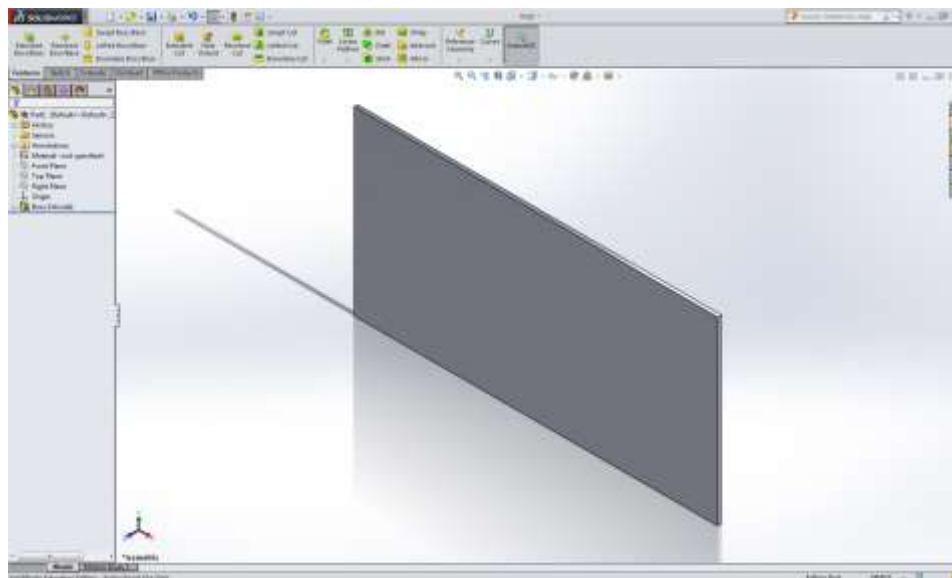
5.5 Case-esimerkin mallintaminen SolidWorks ohjelmalla

Vastaanottopöydän mallintaminen SolidWorks 3D-mallinnusohjelmalla aloitettiin mallintamalla pöydän rungon etu- ja sivuprofiilit. Rungon etuprofiilin mallintaminen aloitettiin tekemällä uusi (Sketch) piirros (Front Plane) tasolle. (Front Plane) tasolle piirrettiin suorakulmio (Sketch) valikon työkaluista löytyvällä (Corner Rectangle) työkalulla ja mitoitettiin (Smart Dimension) työkalulla oikeisiin mittoihin (Kuva 33).



Kuva 33 Suorakulmion sketch.

Suorakulmio pursotettiin (Features) valikosta löytyvällä (Extrude) työkalulla 24 millimetrin paksuiseksi levyksi (Kuva 34).

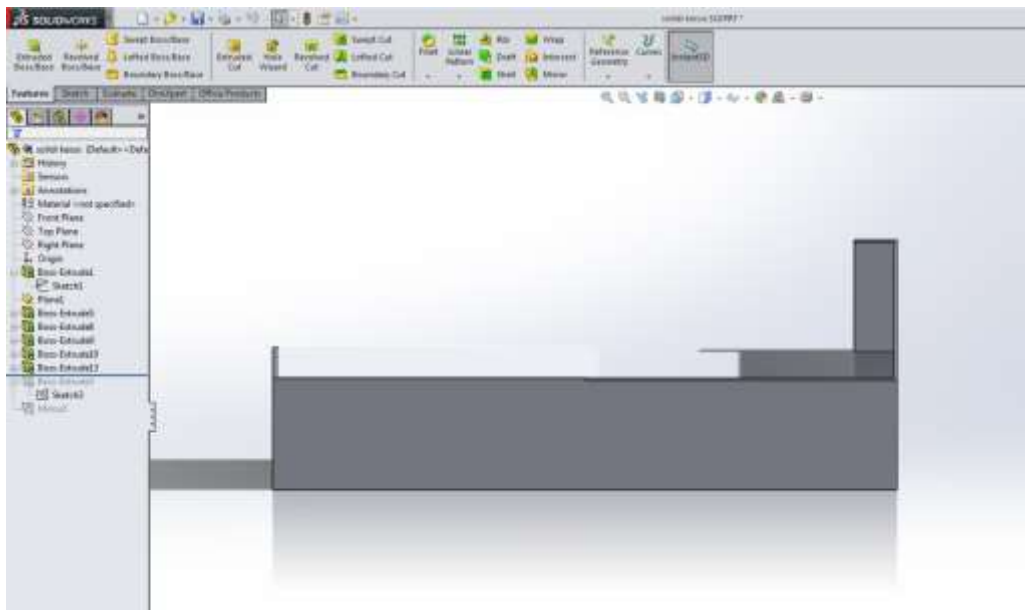


Kuva 34 Extrude työkalulla pursotettu levy.

Valmis vastaanottopöydän rungon etuprofiilin levy kopioitiin (Mirror) peilaus työkalulla alkuperäisen levyn viereen, jolloin saatiin muodostettua kokonainen rungon etuprofiili.

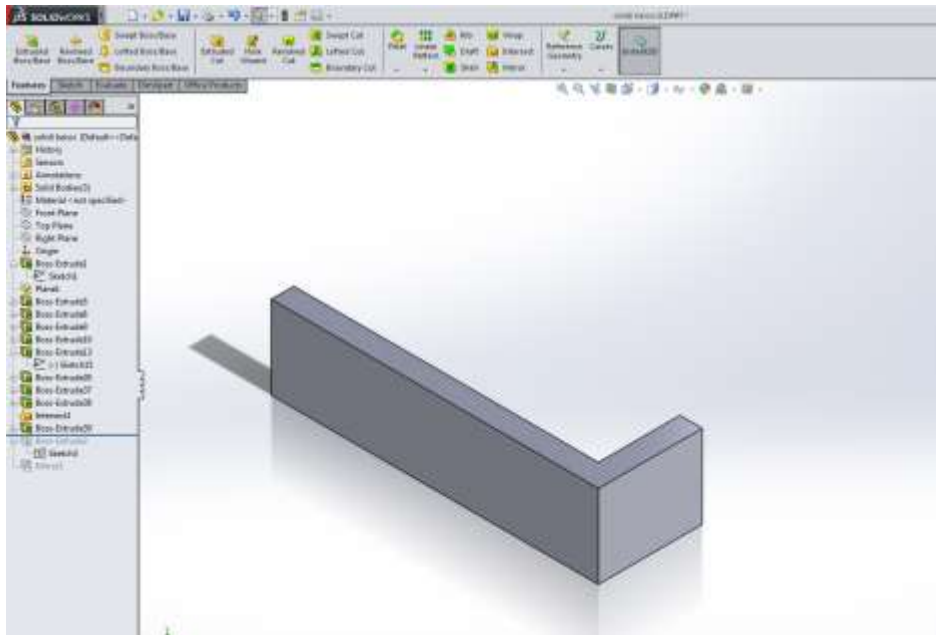
Rungon etuprofiilin ollessa valmis mallinnettiin seuraavana vastaanottopöydän rungon sivuprofiilin levy piirtämällä uusi (Sketch) (Right Plane) tasolle. Levy mallinnettiin samaan tapaan, kuin rungon etuprofiilin levy. Levyn ääriviivat piirrettiin (Sketch) valikon (Corner Rectangle) työkalulla, mitoitettiin oikeisiin mittoihin (Smart Dimension) työkalulla ja Pursoitettiin (Features) valikosta löytyvällä (Extrude) työkalulla 24 millimetrin paksuiseksi levyksi.

Viimeisenä rungosta mallinnettiin lyhemmät päätylevyt jo aiemmin tehtyjen työvaiheiden mukaisesti, jolloin saatiin aikaiseksi valmis vastaanottopöydän runko (Kuva 35).



Kuva 35 Valmis vastaanottopöydän runko.

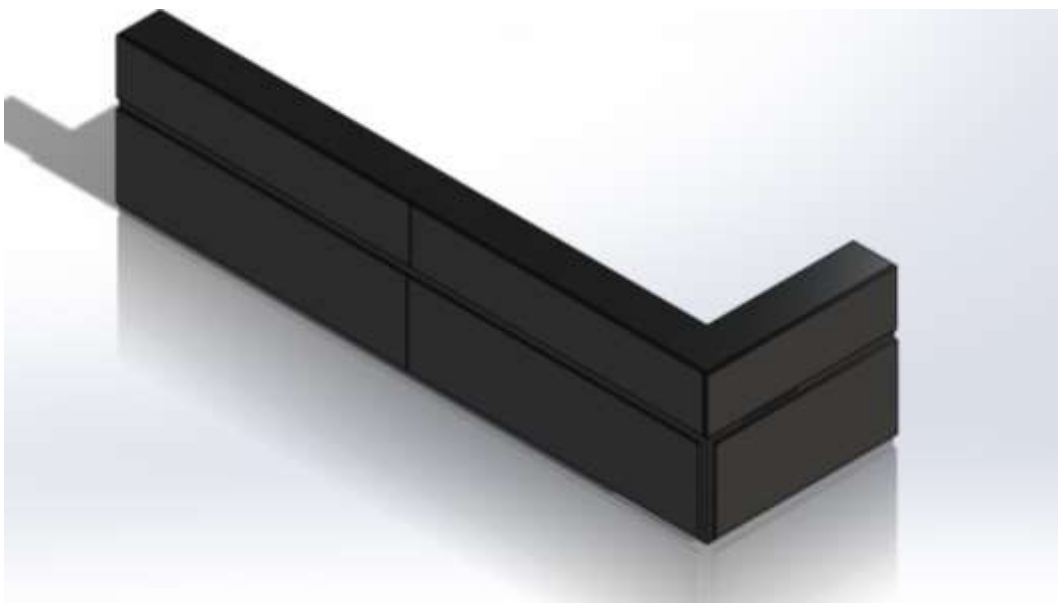
Seuraavana työvaiheena mallinnettiin vastaanottopöydän pöytätasot (Top Plane) tasolle. Pöytätasot mallinnettiin jo aiemmissä työvaiheissa tutuiksi tulleilla (Corner Rectangle), (Smart Dimension) ja (Extrude) työkaluilla (Kuva 30).



Kuva 36 Valmiit pöytätasot.

Viimeisenä työvaiheena mallinnettiin vastaanottopöydän etu- ja sivuprofiilin paneelit. Etuprofiilin paneelit mallinnettiin (Front Plane) tasolle ja sivuprofiilin paneelit taas (Right Plane) tasolle. Mallintamiseen käytettiin tälläkin kertaa samoja työkaluja, kuin aiemmissa työvaiheissa. Paneelien ääriiviä piirrettiin (Corner Rectangle) työkalulla, mitoitettiin oikeisiin mittoihin (Smart Dimension) työkalulla ja pursotettiin 24 millimetrin paksuisiksi levyiksi (Extrude) työkalulla.

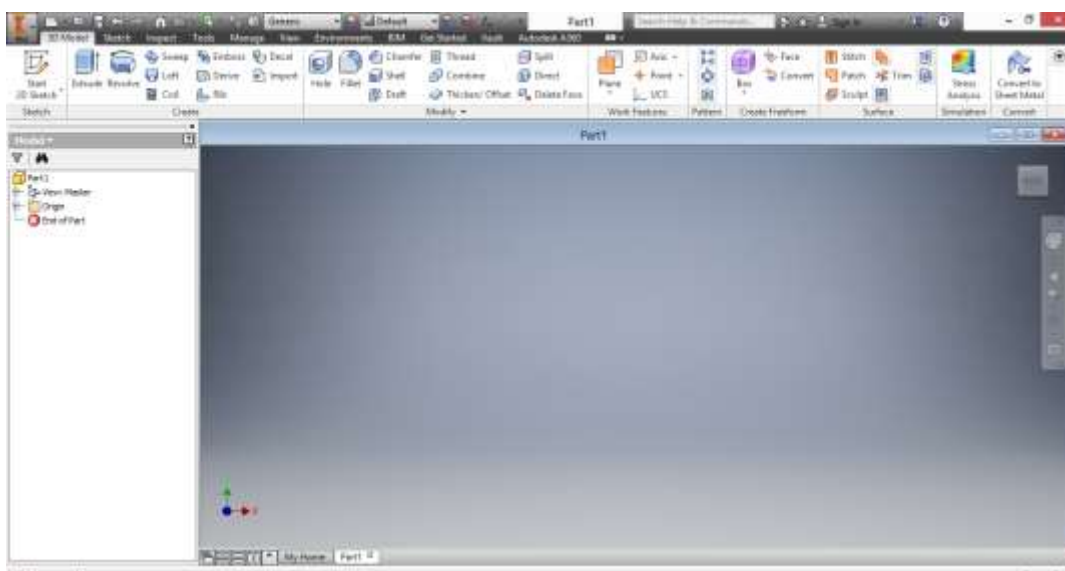
Lyhyessä ajassa ja vain muutamaa työkalua hyödyntämällä saatiin mallinnettua valmis kuvassa näkyvä vastaanottopöytä (Kuva 37).



Kuva 37 Valmis SolidWorksilla mallinnettu vastaanottopöytä.

5.6 Autodesk Inventorin työkalut

Autodesk Inventor mallinnusohjelman käyttöliittymän perusnäkyvän yläreunasta löytyvät työkaluvalikot muun muassa piirtämistä, mallintamista ja kappaleen ominaisuuksien muokkaamista varten (Kuva 38).



Kuva 38 Autodesk Inventorin perusnäkyvä.

Työkaluvalikon (Sketch) valikosta löytyvät tarvittavat työkalut viivan, ympyrän, kaaren ja suorakulmion piirtämistä varten. (Sketch) valikosta löytyvät työkalut myös viivan kopioimista, peilaamista ja mitoittamista varten (Kuva 39).



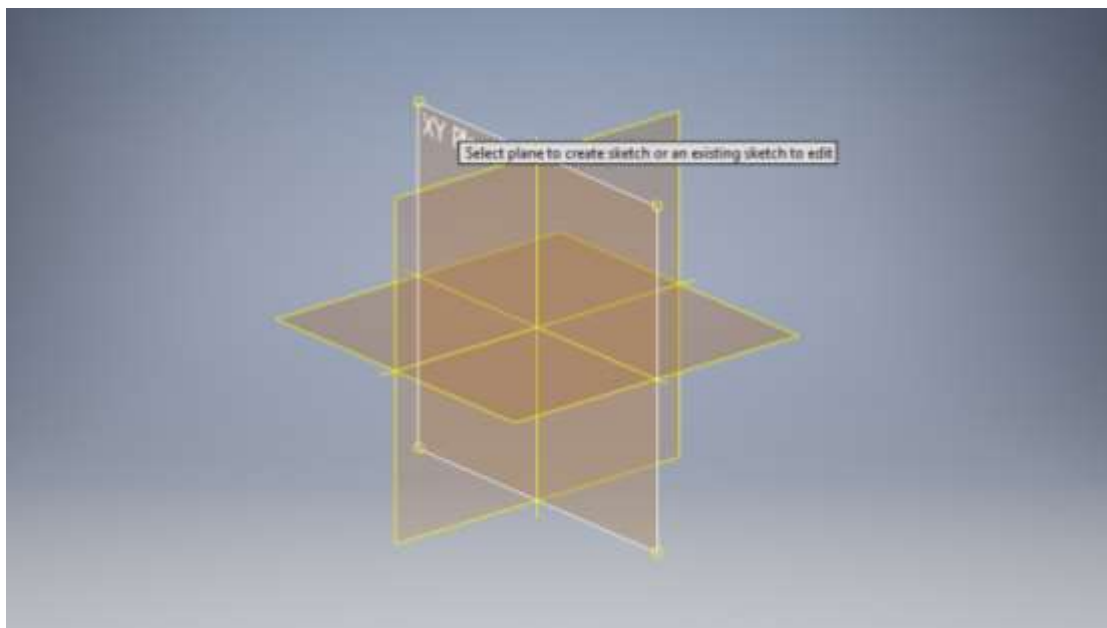
Kuva 39 Sketch työkaluvalikko.

(3D Model) työkaluvalikosta löytyvät työkalut mallin ominaisuuksien luomista ja muokkaamista varten. Työkaluvalikosta löytyvät työkalut esimerkiksi muodon pursottamista, loftaamista ja peilaamista varten (Kuva 40).



Kuva 40 3D Model työkaluvalikko.

Mallintaminen Autodesk Inventor ohjelmalla tapahtuu SolidWorksin tapaan (Plane) tasolle. Autodesk Inventorissa valmiita (Plane) tasoja ovat: (XY Plane), (XZ Plane) ja (YZ Plane) (Kuva 41).

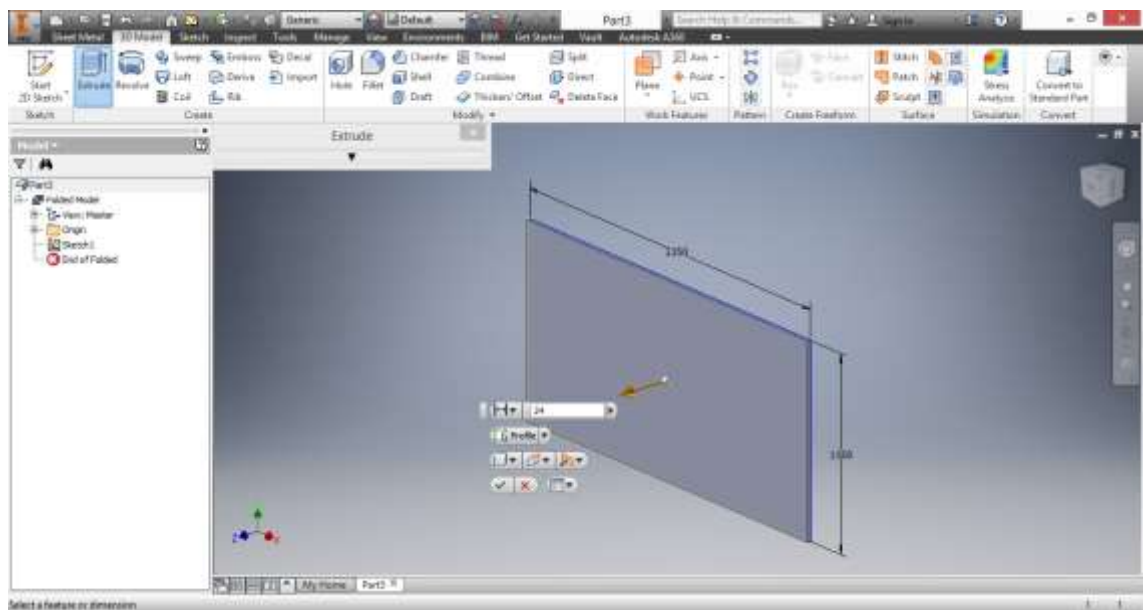


Kuva 41 XY Plane, XZ Plane ja YZ Plane tasot.

5.7 Case-esimerkin mallintaminen Autodesk Inventor ohjelmalla

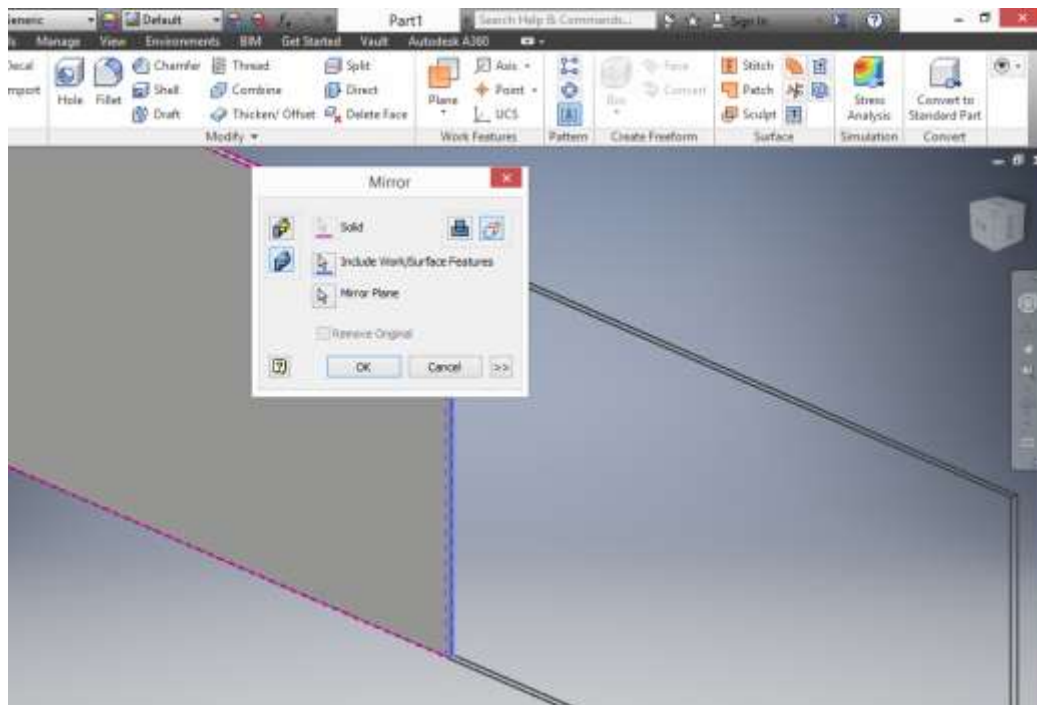
Vastaanottopöydän mallintaminen Autodesk Inventorilla aloitettiin mallintamalla rungon etuprofiilin levyt. Levyt mallinnettiin aloittamalla uusi (Sketch) piirustus klikkaamalla työkaluvalikon vasemmasta reunasta löytyvää (Start 2D Sketch) kuvaketta. Uuden (Sketch) piirustuksen piirtotasoksi valittiin (XY Plane).

Ensimmäinen levy mallinnettiin piirtämällä (Rectangle) suorakulmio piirtotyökalulla levyn ääriiviivat ja mitoittamalla suorakulmio (Dimension) työkalulla oikeisiin mittoihin. Tämän jälkeen piirretty suorakulmio pursotettiin (3D Model) työkaluvalikosta löytyvällä (Extrude) työkalulla 24 millimetrin paksuiseksi levyksi (Kuva 42).



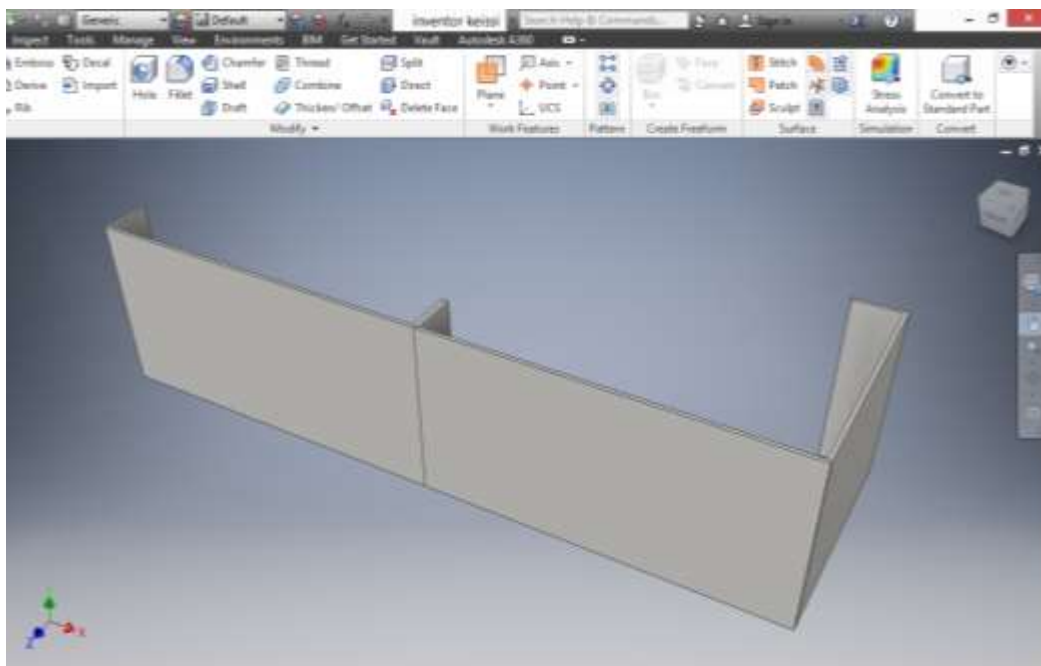
Kuva 42 Extrude työkalulla pursotettava levy.

Mallinnettu levy kopioitiin (Mirror) työkalulla valitsemalla valikosta peilauksen (Plane) tasoksi alkuperäisen levyn oikeanpuoleinen pääty ja valitsemalla valikosta (New Solid), jolloin saatiin aikaiseksi kaksi samanlaista vierekkäistä levyä (Kuva 43).



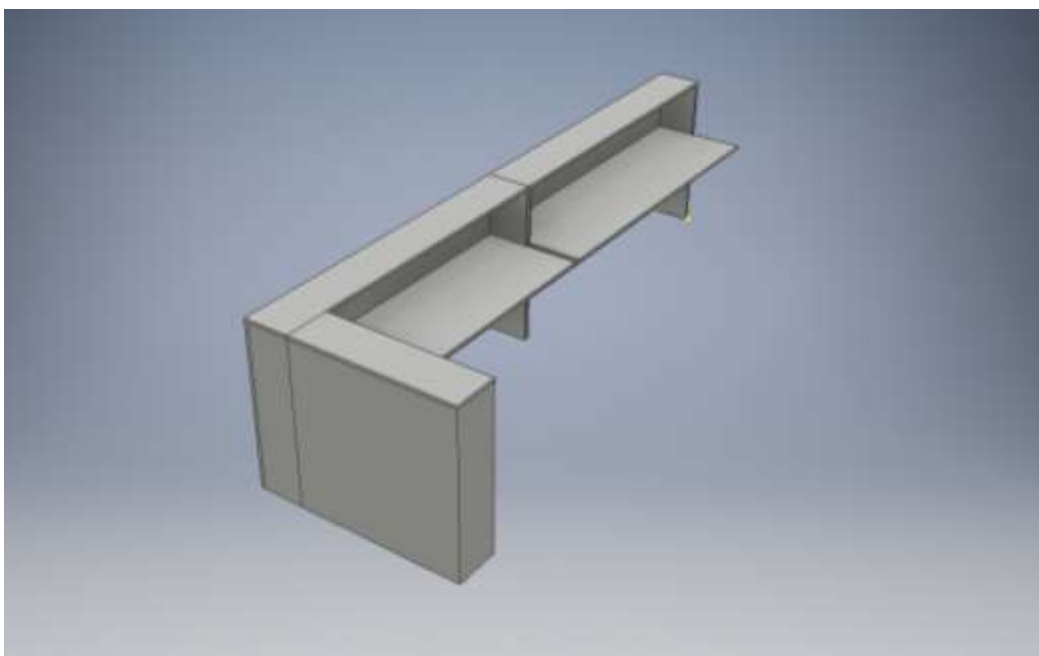
Kuva 43 Levyn peilaaminen Mirror työkalulla.

Seuraavaksi vastaanottopöydästä mallinnettiin rungon sivuprofiilin levy ja lyhemmät päätylevyt jo aiemmista työvaiheista tutuksi tulleilla työkaluilla. Lopputulokseksi saatiin valmis vastaanottopöydän runko (Kuva 44).



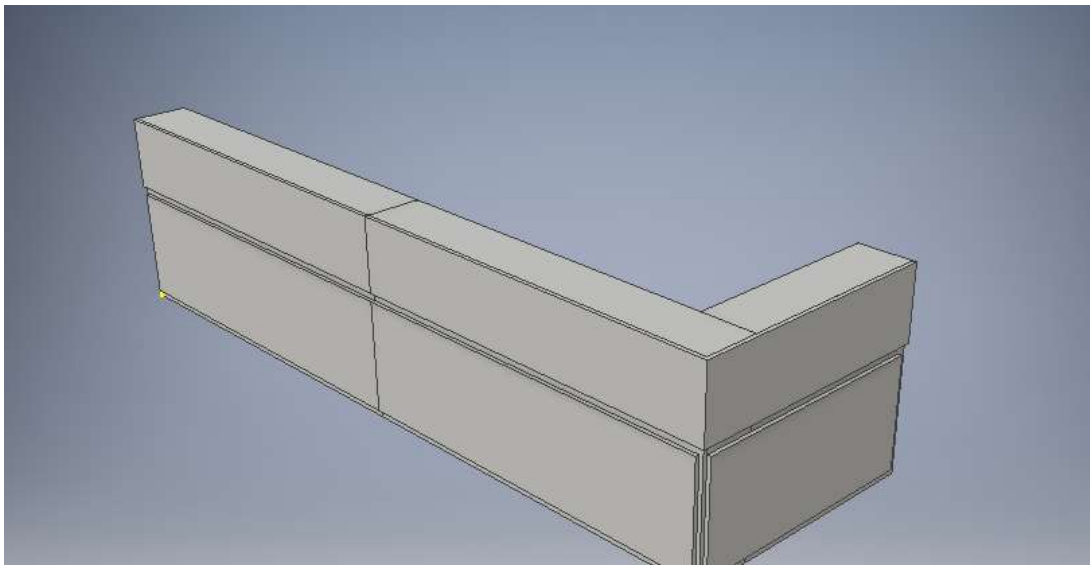
Kuva 44 Vastaanottopöydän runko.

Vastaanottopöydän rungon ollessa valmis oli seuraavana työvaiheena mallintaa pöydän pöytätasot (Kuva 45). Pöytätasot mallinnettiin käyttämällä apuna jo valmiiksi mallinnetun rungon mittoja ja kappaleiden kulmia. Valmiit pöytätasot.



Kuva 45 Valmiit pöytätasot.

Viimeisenä työvaiheena vastaanottopöydästä mallinnettiin etu- ja sivuprofiilin paneelit käyttämällä aiemmista työvaiheista tutuiksi tulleita työkaluja ja työvaiheita (Kuva 46).



Kuva 46 Valmis Autodesk Inventorilla mallinnettu vastaanottopöytä.

5.8 Johtopäätökset case-esimerkkien mallintamisesta

Case-esimerkin mallintaminen oli kaikilla kolmella 3D-mallinnusohjelmalla suhteellisen nopeaa ja vaivatonta. Osaltaan tähän vaikutti case-esimerkin muotojen ja pintojen yksinkertaisuus ja osaltaan taas mallintajan aiempi kokemus mallinnusohjelmien käytössä.

Case-esimerkkien mallintamiseen käytettiin mahdollisimman yksinkertaisia työvaiheita ja työkaluja, jotka ovat myös aloittelevan mallintajan helppo oppia ja omaksua. Monet työvaiheista ja mallintamiseen käytetyistä työkaluista olivat mallinnusohjelmasta riippumatta hyvin samanlaisia. Uuden 3D-mallinnusohjelman oppimisessa on aina omat haasteensa mallintajalle, mutta case-esimerkeissä käytetyistä 3D-mallinnusohjelmista löytyy paljon samankaltaisuuksia logiikan ja työkalujen suhteen.

Adi Kalusteet Oy:n toiveena oli, että valittu mallinnusohjelma olisi mahdollisimman nopea käyttöinen ja helppo aloittelevalle mallintajalle. Helppokäyttöisyys ja nopeus ovat kuitenkin subjektiivisia ja niihin vaikuttavat mallintajan aiempi kokemus sekä kyky omaksua uusia asioita. Kaikki case-esimerkeissä esitellyistä mallinnusohjelmista ovat kuitenkin

opeteltavissa. Adi Kalusteet Oy:n huonekalut ovat isossa määrin säilytystiloja ja pöytiä, jotka perustuvat erikokoisiin levyateriaaleihin. Näiden mallintamisen oppiminen kaikilla esitellyistä mallinnusohjelmista tulisi olla helposti opittavissa jopa täysin aloittelevalla mallintajalle.

Adi Kalusteet Oy:n tarpeisiin edellä esitellyistä 3D-mallinnusohjelmista soveltuisi parhaiten SolidWorks tai Autodesk Inventor sillä niiden (Assembly) kokoonpano ja (Drawing) piirustus toiminnot nopeuttaisivat sekä mallintamista, että tuotantoon siirtymistä. Kyseiset ohjelmat ovat sopivia myös sen takia, että ne antavat hyvät työkalut mallinnetun kappaleen mittojen muokkaamista varten. Tämä nopeuttaisi yrityksen toimintaa sillä kaikkea ei tarvitsisi aina aloittaa mallintamaan alusta, vaan jo valmiiksi mallinnettujen kappaleiden kokoja pystyttäisiin muuttamaan tarpeen mukaan ja kokoamaan uusia kokoonpanoja (Assembly) toiminnolla. Molemmat mallinnusohjelmat myös tukevat riittävästi eri tallennusmuotoja, jotta yrityksen ulkopuolelta tulevia mallinnustiedostoja pystyttäisiin hyödyntämään tavalla tai toisella.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön toimeksiantona oli löytää Adi Kalusteet Oy:n myynnillisiin ja tuotannollisiin tarpeisiin parhaiten soveltuva 3D-mallinnusohjelma. 3D-mallinnusohjelmaa valittaessa tuli ottaa huomioon Adi Kalusteet Oy:n myynnissä työskentelevien suunnittelijoiden tarpeet ja lähtötaso mallintamiseen. Tämän lisäksi tuli ottaa huomioon yrityksen Salon tehtaan tuotannon asettamat tarpeet 3D-mallinnusohjelmalle.

Opinnäytetyön toimeksianto oli haastava, sillä toimeksiantajan tarpeet, ja 3D-mallinnusohjelmaa kohtaan asetetut vaatimukset olivat haasteellisia. Sellaisen 3D-mallinnusohjelman löytäminen, joka pystyisi tekemään kaikkea sitä, mitä toimeksiantaja sen halusi tekevän, oli vaikeaa. Mallinnusohjelmalta haluttiin helppoutta ja matalaa oppimiskynnystä. Vaikka suuri osa mallinnusohjelmista toimiikin samoilla peruseriaatteilla, on 3D-mallinnusohjelman oppimisessa aina omat haasteensa. Opinnäytetyön tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin ottamaan huomioon tulevien käyttäjien tarpeet ja lähtötaso 3D-mallintamisessa.

Ratkaisevaksi tekijäksi opinnäytetyössä tuli myös se mitä tiedostomuotoja kyseinen mallinnusohjelma kykenee lukemaan ja tallentamaan. Tämä helpottaa työvaiheita sekä myynnin ja suunnittelun puolella sekä tehtaan tuotannossa.

Opinnäytetyön tutkimuksella ja mallinnusohjelmien testaamisella saatiin vastauksia opinnäytetyön alussa asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Opinnäytetyön rajauksen seurauksena renderoiminen ja siihen liittyvät ohjelmat sekä menetelmät jäivät opinnäytetyössä käsittelemättä. Jatkoa ajatellen olisi hyödyllistä tutkia mikä renderointi-ohjelma on valitulle 3D-mallinnusohjelmalle ja toimeksiantajan tarpeille hyödyllisin.

LÄHTEET

Adi Kalusteet Oy 2016. Palvelut. Viitattu 29.3.2016 <http://www.adi.fi/fi/palvelut>

Adi Kalusteet Oy 2016. Yritys. Viitattu 29.3.2016 <http://www.adi.fi/fi/yritys>

Graphisoft 2016. ArchiCad Viitattu 29.3.2016 <http://www.graphisoft.com/archicad/>

Autodesk 2016. 3ds Max. Viitattu 29.3.2016 <http://www.autodesk.fi/products/3ds-max/overview>

Autodesk 2016. 3ds Max. Viitattu 29.3.2016 <http://www.autodesk.fi/products/3ds-max/features/all/gallery-view>

Autodesk 2016. Inventor. Viitattu 29.3.2016 <http://www.autodesk.fi/products/inventor/features/all>

Blender 2016. About. Viitattu 29.3.2016 <https://www.blender.org/about/>

Lehtovirta, P. Nuutinen, K. 2000. 3D-sisältötuotannon peruskirja. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy

Tuhola, V. Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy

SketchUp 2016. SketchUp. Viitattu 29.3.2016 <http://www.sketchup.com/>

SolidWorks 2016.3D CAD capabilities. Viitattu 29.3.2016 <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/capabilities.htm>

Rhinoceros 2016. Features. Viitattu 29.3.2016 <https://www.rhino3d.com/features>

Vertex 2016. Vertex4GinD. Viitattu 29.3.2016 <http://www.vertex.fi/web/fi/kalustesuunnittelu>

