



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Kiviluoma

CAD-FORMAATTIEN YHDISTÄMINEN TUOTEKEHITYKSESSÄ

Lämpöeristyspaneelit

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Marko Kiviluoma
Opinnäytetyön nimi	CAD-formaattien yhdistäminen tuotekehityksessä
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	61
Ohjaaja	Timo Karhunen

Tämän opinnäytetyön aiheena on eri CAD-formaattien yhdistäminen tuotekehityksessä ja tuotetiedon hallinta Promeco Group Oy:n PDM-järjestelmässä. Tarkoituksena oli kehittää toimintamalli 3D-mallien siirtämiseen ja hallintaan tulevaisuudessa. Työn lähtökohtana oli lämpöeristyspaneelien tuotekehitysprojekti.

Lämpöeristyspaneelien 3D-mallit oli tehty useilla eri CAD-ohjelmilla. Asiakkaan vaatimuksena oli, että varaosapiirustukset tehdään NX I-DEAS-ohjelmistolla. Tätä varten 3D-mallit oli muunnettava neutraaliin tiedostomuotoon, joka voitiin sitten avata NX I-DEAS-ohjelmistolla. Varaosapiirustukset tehtiin 3D-malleja hyödyntäen. Kun varaosapiirustukset olivat valmiita, ne siirrettiin Promeco Group Oy:n PDM-järjestelmään, Soveliaan.

Opinnäytetyössäni tutkittiin lämpöeristyspaneelien valmistusta tuotesuunnittelun näkökulmasta. Lisäksi tutkittiin tässä projektissa käytettyjen CAD-ohjelmien ohutlevymallinnusominaisuuksia ja perehdyttiin myös tiedonsiirrossa käytettäviin tiedostomuotoihin. Tarkoituksena oli löytää paras ratkaisu tiedonsiirtoon useita eri CAD-ohjelmia sisältävässä suunnitteluympäristössä.

Onnistuneen tiedonsiirron lähtökohtana on tiedonsiirrossa käytettävä tiedostomuoto ja se, minkä CAD-ohjelmien välillä tiedonsiirto tapahtuu. Vaikka tiedonsiirrossa käytettävä STEP-malli olisikin virheetön, siitä ei ole iloa, jos vastaanottava CAD-ohjelma ei osaa rakentaa 3D-mallia oikein. Kokoonpanoa tehtäessä tulee pitää mielessä, mikä on kokoonpanomallin alin taso. Jos kokoonpano tulee rajata paneelitasolle, tulee tästä huolehtia jo kokoonpanoa rakennettaessa. Virheellinen tiedonsiirto ja kokoonpanorakenteen muokkaaminen aiheuttavat valtavasti ylimääräisiä kustannuksia.

ABSTRACT

Author	Marko Kiviluoma
Title	Integration of Different CAD Formats in Product Development
Year	2013
Language	Finnish
Pages	61
Name of Supervisor	Timo Karhunen

The aim of this thesis was the integration of different CAD formats in product development and handling product data management in Promeco Group Oy's PDM system. The task was not to be limited to this case only, but to create a basis for transferring 3D models and data management in the future. The basis of this thesis was the product development project of the temperature insulation panels.

The CAD models of the temperature insulation panels were made with several different CAD programs. The Panel assembly drawings were required to be made by the NX I-DEAS software. The CAD files had to be converted into the neutral CAD format and then imported into the NX I-DEAS environment. The drafting was made by using imported 3D models. The final task was to import the spare part drawings into Promeco's PDM system, Sovelia.

The manufacturing process of sheet metal parts was studied from the designer's perspective. The sheet metal modeling properties of the CAD programs which were used in this project were studied as well. The data transfer formats were also studied to find out what is the best way to transfer 3D models in a multi CAD environment.

The cornerstone of successful data transferring process is using reliable file format for data transfer and data exchange capability between different CAD software. Even if the exported STEP model has no errors it will not help if the CAD program where the STEP model is imported is unable to build the 3D model correctly. It is also important to pay attention to the assembly structure. Usually panels are required to present the lowest level of the assembly structure. The repairing of the damaged 3D models and editing of assembly structure always create unnecessary expenses.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Promeco Group Oy	7
1.2	Työn taustat.....	8
1.3	Työn toteutus ja tavoitteet.....	8
1.4	Työn tulokset	9
2	LEVYTYÖMENETELMÄT JA NIIDEN HUOMIOIMINEN SUUNNITTELUSSA	10
2.1	Levyjen leikkaaminen	10
2.1.1	Levytyökeskukset.....	11
2.1.2	Laserleikkaus.....	12
2.2	Särmääminen.....	13
2.2.1	Ohutlevyjen taivuttaminen suunnittelijan näkökulmasta.....	15
3	CAD-OHJELMAT JA ERI TIEDOSTOMUODOT	22
3.1	CAD-ohjelmat.....	22
3.1.1	NX I-DEAS 6.1	22
3.1.2	SolidWorks 2011.....	28
3.1.3	Catia V5	30
3.2	Mitä 3D-malli pitää sisällään?	31
3.3	Tiedonsiirtostandardit ja neutraali tiedonsiirto	32
3.3.1	IGES	33
3.3.2	STEP	34
3.4	DWG tiedostot	35
4	LÄMPÖERISTYSPANEELEIDEN 3D-MALLIEN SIIRTÄMINEN NX I- DEAS-YMPÄRISTÖÖN	36
4.1	Neutraalin tiedostomuodon valitseminen tiedonsiirtoa varten	36
4.2	3D-mallien siirtäminen NX I-DEAS-ohjelmaan	36
4.3	Tiedonsiirron ongelmakohtia	40
4.4	Kokoonpanomallin siirtäminen.....	42

4.5	Muutoksia kokoonpanoon.....	46
4.6	Pintavirheet tiedonsiirrossa.....	47
5	VARAOSAPIIRUSTUKSET	49
6	TUOTETIEDONHALLINTA	51
6.1	Nimikkeiden hallinta PDM-järjestelmässä	51
6.2	Nimikkeiden revisiointi ja variantit	52
6.3	Sovelia.....	53
6.4	Varaosapiirustusten tallentaminen soveliaan	56
7	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	57
7.1	Ohutlevymallintaminen ja kokoonpanot.....	57
7.2	Vastaavien projektien toteuttaminen tulevaisuudessa	58
7.3	Loppukommentit.....	59
	LÄHTEET.....	60

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Promeco Group Oy	s. 7
Kuva 2.	Levykappaleiden nestäminen	s. 11
Kuva 3.	Levytyökeskuksella leikatut ohutlevyosat	s. 12
Kuva 4.	Finn Power särmäyskone	s. 14
Kuva 5.	Särmäyskoneen työkaluja	s. 14
Kuva 6.	Reikien ja aukkojen minimi etäisyydet taivutuksesta	s. 16
Kuva 7.	K-kertoimen määritelmä	s. 16
Kuva 8.	Oikaistun pituuden laskeminen	s. 17
Kuva 9.	Neutraaliakselin pituuden laskeminen	s. 18
Kuva 10.	Vaihe 1. Pituuden mittaaminen	s. 18
Kuva 11.	Vaihe 2. Korkeuden ja leveyden mittaaminen	s. 19
Kuva 12.	Bend deduction arvon laskeminen	s. 19
Kuva 13.	Outside setback	s. 21
Kuva 14.	NX I-DEAS master modeler käyttöliittymä	s. 23
Kuva 15.	NX I-DEAS tilavuusmalli	s. 24
Kuva 16.	Pintojen leikkaaminen	s. 25
Kuva 17.	NX I-DEAS-ohjelmalla tehty ohutlevymalli	s. 26
Kuva 18.	Ohutlevymallin levityskuvanto	s. 26
Kuva 19.	NX I-DEAS historiapuu	s. 27
Kuva 20.	Ohutlevymallinnus SolidWorks-ohjelmistolla	s. 28
Kuva 21.	Ohutlevytyökaluilla tehty laatikko	s. 29
Kuva 22.	Laatikon levityskuvanto	s. 29
Kuva 23.	Standardisoitu tiedonsiirto yhdistää eri CAD-ohjelmat	s. 32

Kuva 24.	Nimikkeiden etsiminen	s. 37
Kuva 25.	Paneelin tallentaminen STEP-tiedostoksi SolidWorks 2011 ohjelmassa	s. 38
Kuva 26.	Tiedonsiirtonäkymä NX I-DEAS-ohjelmassa	s. 39
Kuva 27.	STEP-mallin tarkastelu NX I-DEAS-ohjelmassa	s. 39
Kuva 28.	Display filter	s. 40
Kuva 29.	Paneelin eristeiden pintatekstuuri	s. 41
Kuva 30.	Pintavirhe paneelissa	s. 42
Kuva 31.	Kokoonpanomalli komponentteineen	s. 43
Kuva 32.	3D-mallin tallentaminen part-tiedostoksi	s. 44
Kuva 33.	Osamallilla ei ole kokoonpanorakennetta	s. 44
Kuva 34.	Paneelikokoonpanojen korvaaminen osamalleilla	s. 45
Kuva 35.	Kokoonpanon rakenne	s. 46
Kuva 36.	Paneelin korvaaminen NX I-DEAS-ohjelmassa	s. 47
Kuva 37.	Pintavirheiden korjaaminen	s. 47
Kuva 38.	Varjostuksen poistaminen käytöstä	s. 48
Kuva 39.	Kuvantojen luominen	s. 50
Kuva 40.	Varaosapiirustus	s. 50
Kuva 41.	Tuotenimike	s. 51
Kuva 42.	Nimikkeiden elinkaarivaiheita	s. 53
Kuva 43.	Sovelian käyttöliittymä	s. 54
Kuva 44.	Kokoonpanonimikkeiden rakenne Soveliassa	s. 56
Taulukko 1.	K-kertoimen selvittämiseen tarvittavat laskentakaavat	s. 20
Taulukko 2.	Tietojen säilyminen eri neutraaliformaateissa	s. 33

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CNC	Tietokoneistettu numeerinen ohjaus
PDM	Tuotetiedon hallinta
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta
Nimike	Tuotetiedonhallinnassa käytettävä nimitys tuotteesta
Attribuutti	Tuotetiedonhallinnassa käytettäviin nimikkeisiin liittyvää tietoa
Revisio	Tuotetiedonhallinnassa nimikkeestä tehty uusi versio
Variantti	Tuotetiedonhallinnassa nimikkeen rinnakkaisversio
K-factor	K-kerroin, jota käytetään ohutlevyosien CAD suunnittelussa
Neutraaliakseli	Ohutlevyosan taitoskohdassa kulkeva teoreettinen akseli
Bend allowance	Neutraaliakselin pituus särmätyssä ohutlevyosassa
Bend deduction	Pituus, jonka ohutlevykappale venyy särmättäessä
Outside setback	Särmätyssä ohutlevyosassa, etäisyys ulkokehän lakipisteestä kappaleen uloimman pyöristyssäteen tangenttipisteeseen
Paneeli	Levyosista koostuva kokoonpano
Särmääminen	Työvaihe, jossa metallilevyä taivutetaan särmäyskoneella
Levytyökeskus	CNC-ohjattu työkone, joka leikkaa metallilevyjä.

Pyörityssäde	Pyörityssäteellä tarkoitetaan ohutlevytöissä särmäyskoneen ylätyökalan pyörityssädettä, joka määrää levyn taivostakoaan syntyvän pyörityssäteen
Nestaaminen	Nestaaminen tarkoittaa leikattavien levyosien geometrioiden sijoittelua levyaihiolle
STEP	Kansainvälinen standardi tietokone-tulkittavalle esitykselle ja teolliseen tiedonsiirtoon neutraalissa tiedostomuodossa
IGES	Neutraali tiedostomuoto tiedonsiirtoon CAD-järjestelmien ja muiden graafisten vektori esitykseen perustuvien ohjelmien välillä
DWG	2D-tiedostomuoto piirustusten tallentamiseen ja jakamiseen
NRUBS	Matemaattinen malli, jota käytetään neutraalissa tiedonsiirrossa
3D	Kolmiulotteinen
2D	Kaksiulotteinen
Pintamalli	3D-malli, joka koostuu kappaleen pintageometriasta
Tilavuusmalli	3D-malli, joka sisältää kaiken kappaleeseen mallinnetun geometrian
Osamalli	Osamalli on yksittäisen komponentin 3D-malli
Kokoonpanomalli	Kokoonpanomalli pitää sisällään useita komponentteja, jotka on sidottu yhteen rajoitteiden avulla

1 JOHDANTO

1.1 Promeco Group Oy

Promeco Group Oy on suomalainen järjestelmätoimittaja, joka tarjoaa asiakkailleen mekaanisia ja sähköisiä järjestelmiä suunnittelusta valmistukseen ja asennukseen. Palveluihin kuuluu valmistettavuussuunnittelua, prototyypivalmistusta sekä hankinta-, asennus- ja jälkimarkkinointipalveluita. /11, 4/

Promeco Group Oy on perustettu syyskuussa 2009, kun viisi mekaniikka- ja sähköalan järjestelmätoimittajaa yhdistyivät. Yritys työllistää tänä päivänä reilut 400 työntekijää ja liikevaihto on 50 miljoonaa euroa. Yrityksen kotipaikka on Kankaanpää. Promeco Groupin operatiiviset yksiköt koostuvat järjestelmätoimittajista, jotka suunnittelevat ja valmistavat mekaanisia ja sähköteknisiä ratkaisuja eri puolilla Suomea sekä Puolassa. /11, 4/

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan toimipisteessä, joka on keskittynyt ohutlevyosien suunnitteluun ja valmistukseen. **(Kuva1.)**



Kuva 1. Promeco Group Oy Vaasan toimipiste

1.2 Työn taustat

Asiakas tilasi Promeco Group Oy:ltä lämpöeristyspaneelien suunnittelun. Lämpöeristyspaneelista haluttiin kokoonpanomallit, sekä varaosapiirustukset. Vaatimuksena oli, että suunnittelutyö toteutetaan varaosapiirustusten osalta käyttämällä NX I-DEAS-ohjelmistoa.

Aikataulu työlle oli tiukka, eikä NX I-DEAS-ohjelmistoa osaavia suunnittelijoita löytynyt tarpeeksi. Yrityksessä oli kuitenkin käytössä useita eri suunnitteluohjelmia. Eri suunnittelijat hallitsivat eri suunnitteluohjelmien käytön. Tiukan aikataulun vuoksi päätettiin työ jakaa siten, että jokainen suunnittelija suunnitteli yhden osakokoonpanon lämpöeristyspaneelista käyttäen sitä suunnitteluohjelmaa, jota parhaiten osasi. Lopuksi 3D-mallit oli tarkoitus tuoda NX I-DEAS-ohjelmistoon ja tehdä varaosapiirustukset käyttäen NX I-DEAS-ohjelmiston piirustustyökaluja sopimuksen mukaisesti. /7/

Suunnittelutiimi kuitenkin hajosi kesken projektin ja osa suunnittelijoista irtautui projektista muihin tehtäviin. Lopputuloksena oli se, että lämpöeristyspaneelien 3D-malleja oli nyt eri suunnittelijoiden tietokoneilla useissa eri tiedostomuodoissa. Myös varaosapiirustukset jäivät täysin tekemättä. /7/

1.3 Työn toteutus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella lämpöeristyspaneelien 3D-malleja ja päivittää niihin mahdolliset muutokset, sekä tehdä varaosapiirustukset lämpöeristyspaneelista. Lämpöeristyspaneelien 3D-mallit ja varaosapiirustukset tuli toimittaa asiakkaalle NX I-DEAS-tiedostoina ja paneelien varaosapiirustukset tuli tallentaa myös Promeco Group Oy:n PDM-järjestelmään. Opinnäytetyön ohjaajana Promeco Group:in puolesta toimi Maurice Gawarammana.

Työn alussa tutkittiin levytöiden tekemistä käytännössä, seuraamalla työntekijöiden työskentelyä, sekä haastatteleamalla heitä. Työssä tutustuttiin NX I-DEAS-ohjelmiston, sekä muiden paneelien suunnittelussa käytettyjen suunnitteluohjelmien, SolidWorks 2011 ja Catia V5 käyttöön ohutlevysuunnittelussa. Lisäksi tutkittiin Promeco Group Oy:llä käytössä olevaa PDM-järjestelmää, Soveliasia.

Opinnäytetyössä perehdyttiin myös ohutlevyosien suunnitteluun liittyviin teoria-asioihin. Suunnittelijan on mahdotonta suunnitella mittatarkkoja ohutlevyosia, ellei hän tunne ohutlevyosuunnitteluun liittyviä käsitteitä ja osaa soveltaa niitä suunnittelutyössä.

Tutkimalla CAD-ohjelmien välisiä tiedonsiirtomahdollisuuksia selvitettiin, mikä olisi paras tapa siirtää 3D-malleja eri CAD-ohjelmien välillä. Tutkimuksen perusteella valittiin tiedonsiirrossa käytettävä tiedostomuoto ja käännettiin lämpöeristyspaneelien 3D-mallit neutraaliin tiedostomuotoon tiedonsiirtoa varten. Kokoonpanomallin rakennetta jouduttiin muokkaamaan, koska kokoonpanorakenteen tuli rajoittua paneelitasolle. Aluksi rakenne kuitenkin ulottui aina komponenttitasolle asti. Kokoonpanorakenne muokattiin paneelitasolle korvaamalla paneelien kokoonpanomalleja paneelien osamalleilla. 3D-mallit siirrettiin NX I-DEAS-ohjelmaan ja tallennettiin NX I-DEAS-tiedostoiksi. 3D-mallien pohjalta tehtiin varaosapiirustukset lämpöeristyspaneeleista. 3D-mallit ja varaosapiirustukset toimitettiin asiakkaalle ja varaosapiirustukset tallennettiin vielä Promeco Group Oy:n PDM-järjestelmään.

1.4 Työn tulokset

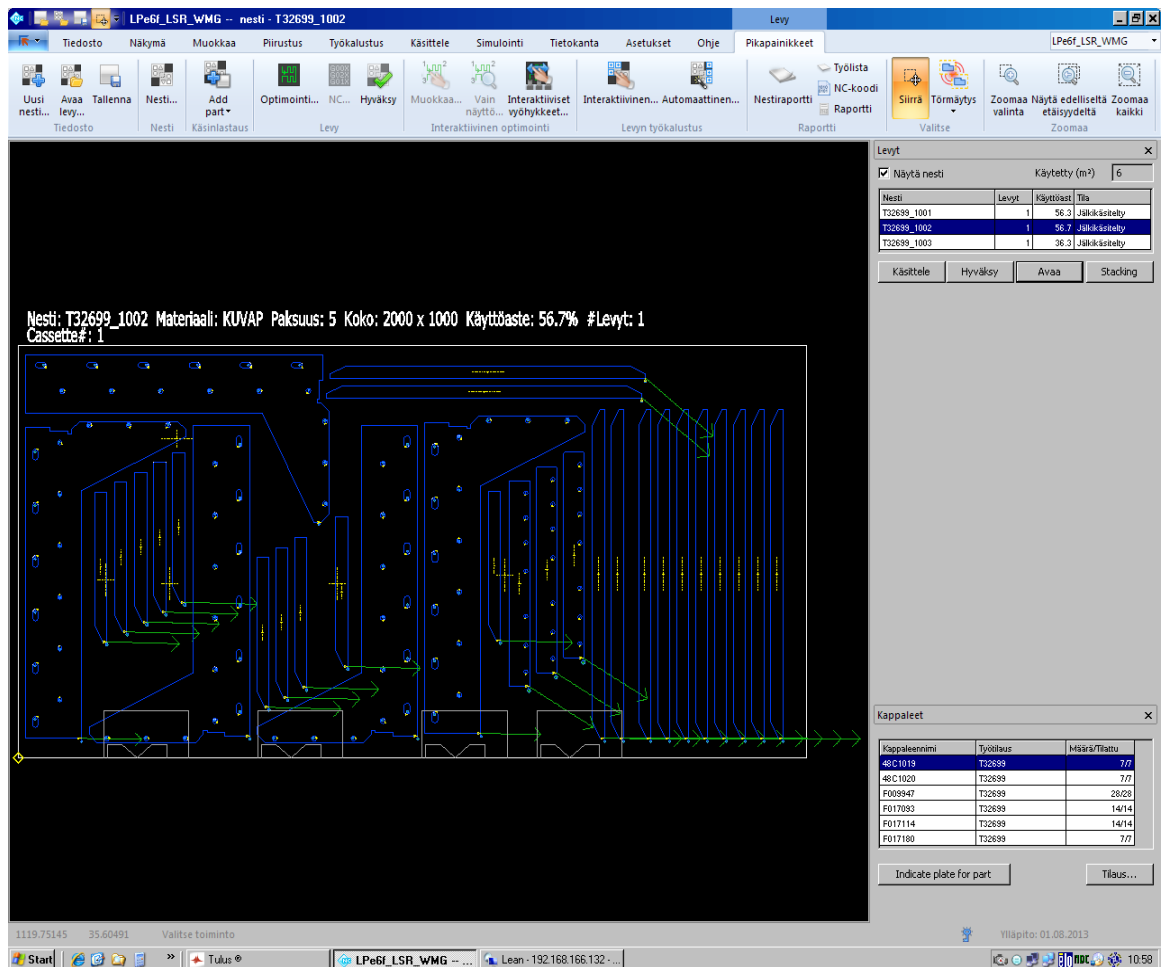
Tiedonsiirto eri CAD-ohjelmien välillä onnistui käyttämällä neutraalia tiedostomuotoa. Tiedonsiirrossa eri CAD-ohjelmien välillä saattoi 3D-malliin syntyä pintavirheitä. Pintavirheiden syntymiseen vaikutti oleellisesti tiedonsiirrossa käytetty tiedostomuoto ja se, minkä ohjelmien välillä tiedonsiirtoa tehtiin. Vaikka 3D-malli olisi tallennettu virheettömästi neutraaliin tiedostomuotoon, saattoi CAD-ohjelma, johon 3D-malli siirrettiin rakentaa 3D-mallin virheellisesti. Erityisesti NX I-DEAS-ohjelmalla oli vaikeuksia rakentaa ehjiä 3D-malleja tiedonsiirron yhteydessä. Virheet tiedonsiirrossa näkyivät rikkonaisina, tai puuttuvina pintoina 3D-mallissa. Pintavirheiden korjaaminen osoittautui mahdolliseksi, mutta se oli hidasta ja aikaa vievää työtä. Kokoonpanot tulisi rakentaa käyttäen paneelien osamalleja. Tällä tavalla saavutettaisiin heti paneelitason rakenne ja osaluettelo rakentuisi myös oikein.

2 LEVYTYÖMENETELMÄT JA NIIDEN HUOMIOIMINEN SUUNNITTELUSSA

2.1 Levyjen leikkaaminen

Metallilevyjä voidaan leikata useilla eri menetelmillä. Opinnäytetyössäni käsitte-
len metallilevyjen leikkaamista levytyökeskuksessa sekä laserleikkausta. Metalli-
levyn leikkaaminen alkaa teoriassa jo suunnittelijan työpöydältä. Metallilevystä
valmistettava tuote täytyy suunnitella valmiiksi asti, ennen kuin sen leikkaaminen
voidaan aloittaa. Suunnittelijan täytyy tietää, millainen työkappale vaaditaan seu-
raavaa työvaihetta varten. Leikatun metallilevyn tulee olla oikean kokoinen, ja
siinä tulee huomioida metallilevyn venyminen särmäys-vaiheessa. Lisäksi suun-
nittelijan tulee huomioida taitoskohtiin tehtävät kevennys leikkaukset, joilla este-
tään levyosan pintojen yhteen törmääminen taivutus-vaiheessa.

Suunnittelija piirtää levityspiirustuksen valmistettavasta levyosasta. Tätä piirus-
tusta käyttäen työntekijä tekee piirretylle geometrialle kappaleohjelman, joka si-
sältää työstöradat ja työkalutiedot. Seuraavaksi suoritetaan nestaus, jossa työkap-
paleiden geometriat sijoitellaan tietokoneella levyaihiolle. Tarkoituksena on saa-
vuttaa mahdollisimman hyvä käyttöaste, jolloin levystä jää jäljelle mahdollisim-
man vähän hukkaa. Levyosien geometriat tulee kuitenkin sijoittaa nestauksessa
sitien, että levyosien leikkaaminen onnistuu ongelmitta. Liian lähekkäin asetetut
kappaleet saattavat vahingoittaa leikkuuprosessissa, tai aiheuttaa koneelle toimin-
tahäiriöitä. Koska leikattavat levyosat ovat usein hyvin erimuotoisia, koko levyn
pinta-alaa on mahdotonta hyödyntää. Hyvä levyn käyttöaste on noin 70%. Hyvään
käyttöasteeseen pääseminen kuitenkin edellyttää sitä, että leikattavat geometriat
ovat sellaisia, että ne voidaan asetella tiiviisti levyaihiolle. /17/



Kuva 2. Levykappaleiden nestaaminen

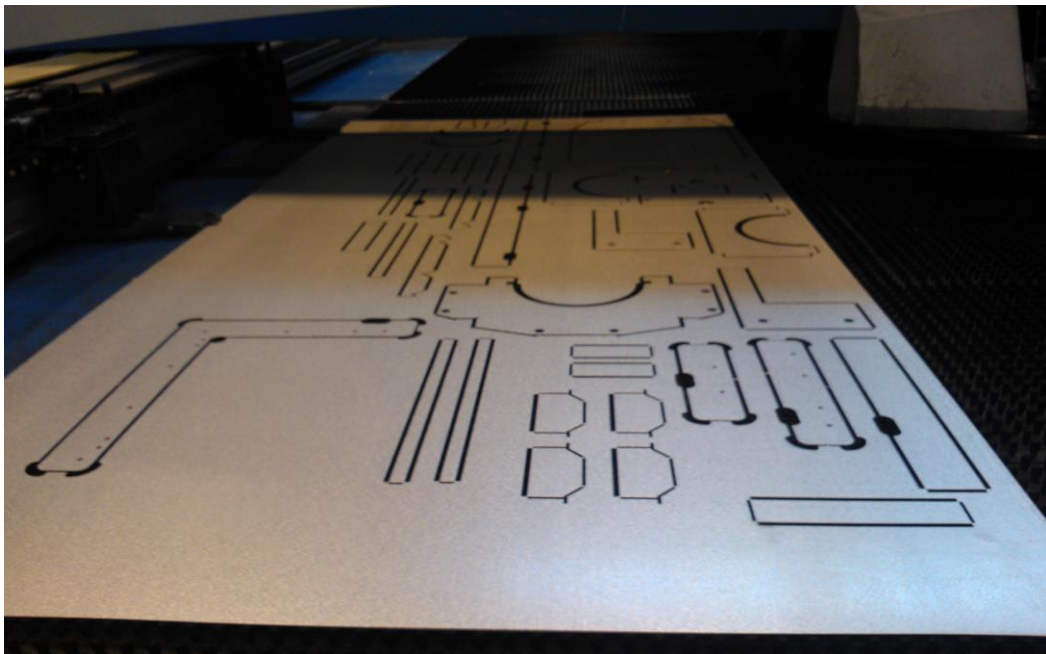
Nestauksessa ei ole aina mahdollista saavuttaa korkeaa levyn käyttöastetta, koska leikattavien osien geometriat voivat olla hyvin erilaisia. **(Kuva 2.)**

2.1.1 Levytyökeskukset

Levytyökeskuksen toimintaperiaate on, että metallilevy asetetaan koneen pöydälle stoppareita vasten. Kun kone käynnistetään lukitusmekanismi painaa levyn kiinni pöytään, estäen sitä liikkumasta työstön aikana. Pöytä liikkuu leikkausohjelman koordinaattien mukaisesti, ja levytyökeskus valitsee ohjelmassa kyseiselle leikkaukselle määritellyn leikkuutyökalun. Levytyökeskuksen työkalurevolverissa on

yhtäaikaaisesti useita työkaluja, joita levytyökeskus vaihtaa pyörittämällä työkalurevolveria. /16/

Levytyökeskuksen työkalurevolverin työkalut ovat toimintaperiaatteeltaan lävistäviä työkaluja. Leikkaaminen tapahtuu siten, että pistin lävistää metallilevyn iskemällä sen läpi tyynyä vasten. Seuraavaksi levytyökeskuksen pöytä siirtyy seuraavaan pisteeseen ja pistin antaa uuden iskun. Työstömenetelmä jättää karkean leikkuujäljen. Levytyökeskuksessa voidaan käyttää myös pitkää leikkuuterää, joka leikkaa metallilevyä pitkältä matkalta. Leikkuuterää käytetään pitkien suorien sivujen leikkaamiseen. /16/



Kuva 3. Levytyökeskuksella leikatut ohutlevyosat.

2.1.2 Laserleikkaus

Laserleikkuussa leikkaamiseen käytetään lasersädettä. Lasereita on olemassa toimintaperiaatteeltaan erilaisia, tässä opinnäytetyössä käsitellään kuitulaseria.

Kuitulaser toimii siten, että laser säde muodostetaan sähköllä ja johdetaan leikkuupäähän valokuitukaapelia pitkin. Lasersäde sulattaa metallin ja suuttimesta puhalletaan suurella paineella happea tai typpeä sulaan aineeseen. Tätä kutsutaan

läpipuhallukseksi. Läpipuhalluksen tarkoituksena on poistaa sulanut materiaali leikkauskohdasta. Laserleikkauksessa voidaan hyödyntää levytyökeskuksen lävistäviä työkaluja. Lävistävällä työkalulla lyödään levyyn reikiä, joita varten työkalurevolverista löytyy oikean kokoinen työkalu. Näin säästetään aikaa, koska laserin ei tarvitse leikata reiän profiilia, vaan reikä voidaan tehdä yhdellä työkalun iskulla. Lävistystyökaluja voidaan käyttää myös alkureiän tekoon paksuissa levyissä. Näin laserin ei tarvitse lävistää metallilevyä, ja leikkaaminen voidaan aloittaa suoraan alkureiän reunalta. Laserilla saadaan aikaa todella tarkka ja siisti leikkujälki. Leikkujälkeen vaikuttaa se, mitä kaasua käytetään läpipuhalluksessa. /18/

Läpipuhalluksessa käytetään tyypeä leikattaessa ruostumatonta terästä, jousiterästä tai alumiinia. Typeä käyttämällä saadaan aikaan parempi leikkujälki, kuin hapella. Leikattava levymateriaali ei kuitenkaan saa olla tyypellä leikattaessa liian paksua, sillä typen lämpötila on -196°C . Typen kylmyys jäädyttää laserin sulattamaa metallia ja siten hidastaa leikkua. Läpipuhalluksessa käytetään happea leikattaessa mustia, valssattuja teräksiä. Happea käyttämällä pystytään leikkaamaan paksuja levymateriaaleja. /18/

2.2 Särmääminen

Särmääminen tarkoittaa työvaihetta, jossa metallilevyä taivutetaan särmäyskoneella haluttuihin kulmiin. Särmättävä levy asetetaan särmäyskoneen takavastetta vasten ja ylätyökalu painaa levyä alatyökäluä vasten. Ylätyökalu on profiililtaan V:n muotoinen ja alatyökäluä on vastaavasti V:n muotoinen ura. Ylätyökäluä oleva terän pyöristyssäde määrää levyn särmäyskohtaan jäävän pyöristyssäteen. Alatyökäluä olevan uran kulma taas määrittää sen, monellako asteella suorakulma voidaan ylittää. Jos alatyökäluä uran kulma on esimerkiksi 30° , niin levy voidaan särmätä 60° kulmaan. Esimerkissä tarkastellaan taitoksen sisäpuolelle jäävää kulmaa. /13/



Kuva 4. Finn Power särmäyskone



Kuva 5. Särmäyskoneen työkaluja

Särmäyksessä työntekoa rajoittaa taitoskohdan etäisyys levyn reunasta. Mikäli sivut on tätä ennen särmätty pystyyn, sivut voivat osua särmäyskoneen runkoon ennen kuin haluttu tavutuskulma saavutetaan. Rajoitus on konekohtainen ja siihen

vaikuttaa oleellisesti koneen rakenne ja yläterän korkeus. Taivutuskohta ei myöskään saa olla liian lähellä levyn reunaa. Tämä aiheuttaa ongelmia paksuissa levyissä, koska kone ei jaksaa taivuttaa levyä. Levy voi myös jäädä tyhjänpäälle, koska levyn reuna ei ylitä alatyökalun uraa. /13/

Särmäysohjelmaan määritellään taivutusten leveydet, taivutuskulmat ja taivutusten paikat. Särmäyskone säätää takavasteen oikealle etäisyydelle ohjelmoitujen taivutuspaikkojen mukaisesti. Levyjä särmättäessä taivutuskulma asetetaan muutamana asteen suuremmaksi, kuin tavoitteena oleva kulma. Tämä tehdään, koska levy pyrkii aina vastustamaan muodonmuutosta. Kun levy särmätään muutamana asteen verran yli tavoitekulmasta, materiaalin myötöraja ylittyy tämän kulman kohdalta ja levyn taitoskulma ei jää liian pieneksi. Metallilevyn käyttäytymiseen särmäyksessä vaikuttavat myös levyn materiaali ja valssaussuunta. Jotta särmättävä materiaali säilyisi mahdollisimman tasalaatuisena, tulisi ohutlevyosat leikata aina samoin päin. /13/

2.2.1 Ohutlevyjen taivuttaminen suunnittelijan näkökulmasta

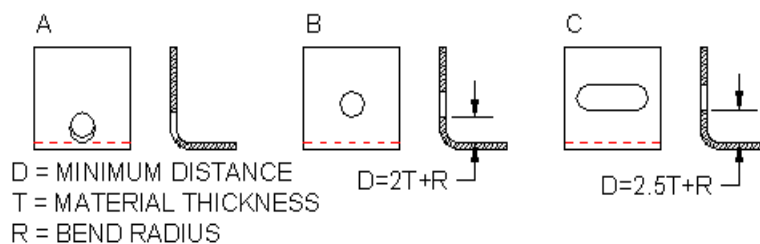
Taivutusten pyöristyssäde R:

Pyöristyssäteellä tarkoitetaan taivutuksen sisäpuolista pyöristyssädettä, joka määrittyy käytettävän ylätyökalun mukaan. On tärkeää käyttää oikeankokoista pyöristyssädettä särmättäessä ohutlevyosia.

Sääntönä on, että pyöristyssäteen tulee olla yhtä suuri, kuin särmättävän materiaalin vahvuus. Jos käytetään pienempää pyöristyssädettä, pehmeissä materiaaleissa voi tulla taitto ongelmia ja kovissa materiaaleissa saattaa tapahtua pinnan murtumista. /12, 3/

Reikien ja aukkojen sijoittaminen suunnittelussa:

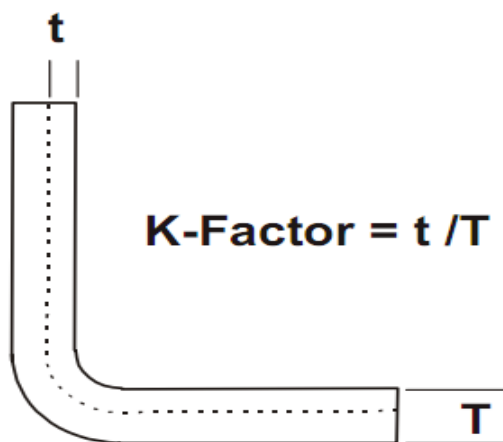
Suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että reikiä ja aukkoja ei saa sijoittaa liian lähelle levyn taivutuskohtaa. Levy venyy taivutettaessa ja liian lähelle taivutuskohdasta tehty reikä voi jäädä taitoskohdan pyöristyksen kohdalle. Alla olevassa kuvassa näkyy hyvä ohjesääntö reikien ja aukkojen paikoitukseen. **(Kuva 6.)**



Kuva 6. Reikien ja aukkojen minimi etäisyydet taivutuksesta /12, 4/

K-kerroin:

K-kerroin ilmaisee neutraaliakselin etäisyyden taivutuksen sisäpinnasta suhteessa materiaalivahvuuteen. **(Kuva 7.)** K-kertoimeen vaikuttaa lämpötila, aineenvahvuus, materiaali, valssaussuunta, särmäysmenetelmä, särmäyksen pyörityssäde, yms. K-kerrointa käytetään CAD-ohjelmissa neutraaliakselin pituuden laskemiseen. /9/



Kuva 7. K-kertoimen määrittely /9/

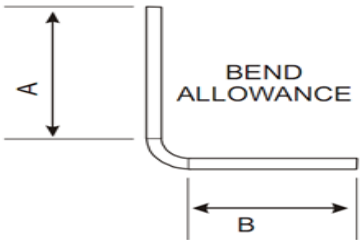
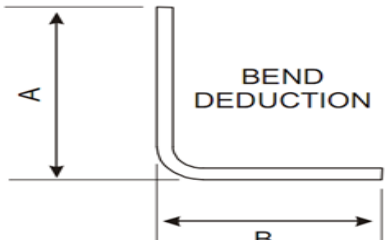
K-kerroin saadaan standardin DIN 6935 mukaan seuraavasti:

Kun $r/s > 5$, $k = 1$. Kun $r/s \leq 5$: $k = 0,65 + 0,5 \cdot \log_{10}(r/s)$. /6, 33/

K-kertoimen arvoille on olemassa myös ohjearvo-taulukoita. Koska K-kertoimen arvoon vaikuttavat monet käytännön tekijät, on laadullisesti järkevää, että K-kerroin selvitetään käytännössä tarkalla mittaamisella, ja laskemalla arvo tarkasti mittaustuloksia hyödyntäen. Tämä tulee tehdä jokaiselle käytettävälle levy materiaalille.

Kokeellisen menetelmää suositellaan, koska eri materiaalit käyttäytyvät erilailla vaikka levynpaksuus olisikin sama. Lisäksi särmäyskoneissa on eroja jotka vaikuttavat lopputulokseen. Yhdessä yrityksessä saadut arvot voivat poiketa toisen yrityksen koneille sopivista arvoista, johtuen koneiden mahdollisista välyksistä ja kalibroinnista. /5/

Ohutlevykappaleen oikaistu pituus voidaan laskea kahdella tavalla. Laskennassa voidaan hyödyntää joko bend deduction arvoa, tai bend allowance arvoa. **(Kuva 8.)**

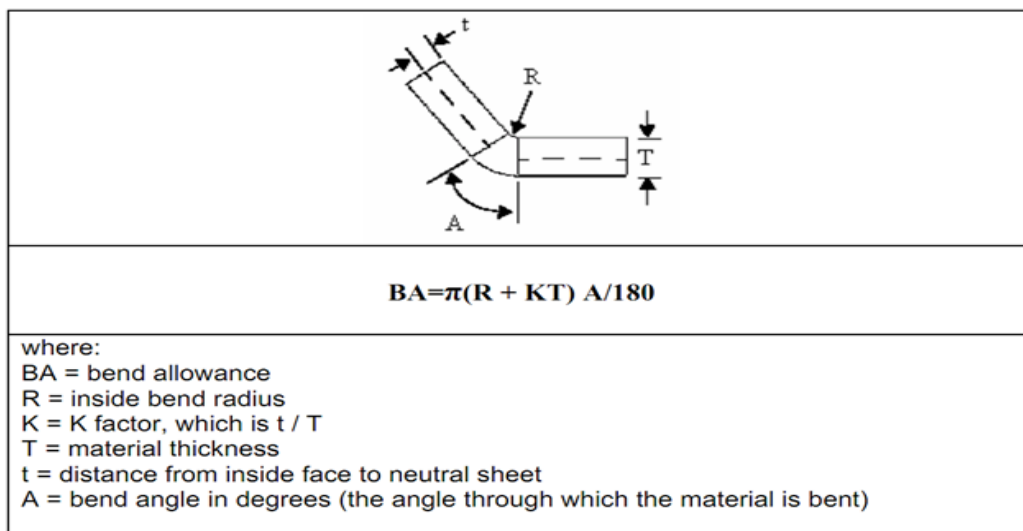
 <p style="text-align: center;">BEND ALLOWANCE</p>	 <p style="text-align: center;">BEND DEDUCTION</p>
$L_t = A + B + BA$	$L_t = A + B - BD$
<p>where: L_t is the total flat length A and B are shown in the illustration BA is the bend allowance value</p>	<p>where: L_t is the total flat length A and B are shown in the illustration BD is the bend deduction value</p>

Kuva 8. Oikaistun pituuden laskeminen /9/

Neutraaliakseli on teoreettinen akseli, joka kulkee levyn sisällä. Neutraaliakselin kohdalla metalli ei ole venynyt, eikä tyssäntynyt. Neutraaliakselin pituus taivutuskohdassa tulee siitä, että kun levyä särmätään, sisäpinta tyssäntyy ja ulkopinta venyy. /9/

Neutraaliakselin pituus vaikuttaa siihen, paljonko levy venyy taivutuksen aikana. Tämä tieto on välttämätön, kun halutaan valmistaa mittatarkkoja ohutlevyosia.

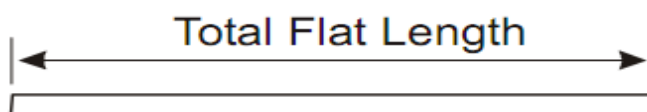
Englanninkielisessä aineistossa neutraaliakselin pituudesta käytetään nimitystä BA= Bend allowance.



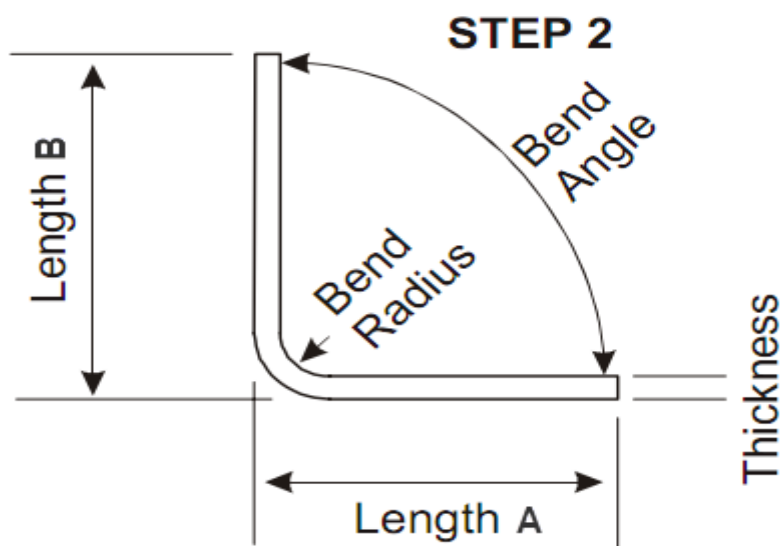
Kuva 9. Neutraaliakselin pituuden laskeminen /9/

Neutraaliakselin pituuden laskeminen ei ole kovin vaikeaa. (**Kuva 9.**) Jotta laskeminen olisi mahdollista, täytyy ensin kuitenkin selvittää K-kertoimen arvo. Tätä varten suoritetaan käytännössä seuraavat vaiheet:

STEP 1



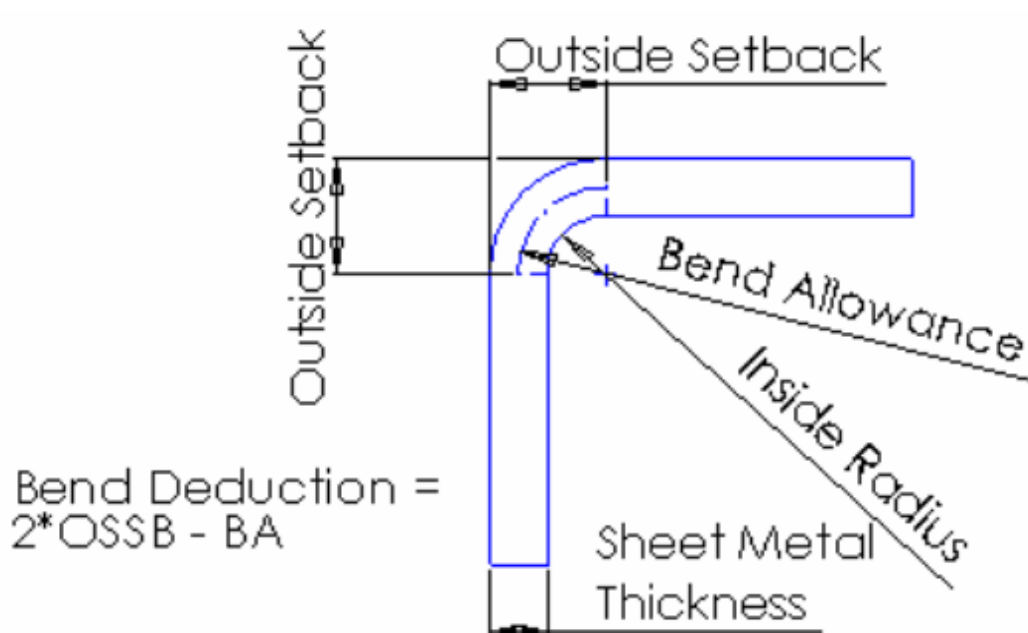
Kuva 10. Vaihe 1. Pituuden mittaaminen. Tässä vaiheessa mitataan myös levyn paksuus /9/



Kuva 11. Vaihe 2. ohutlevyosa särmätään 90° kulmaan. Korkeus ja leveys mitataan.

/9/

Kun tarvittavat mitat on saatu mittaamalla, voidaan loput tarvittavista arvoista selvittää laskemalla.



Kuva 12. Bend Deduction arvon laskeminen /9/

Taulukko 1. K-kertoimen selvittämiseen tarvittavat laskentakaavat: /9/

Bend Deduction = A +B – Total Flat Length
Outside Setback = (Tan(Bend Angle/2)) * (Thickness + Bend Radius)
Bend Allowance = (2 * Outside Setback) – Bend Deduction
K-factor = (-Bend Radius + (Bend Allowance / (π * Bend Angle / 180))) / Thickness

Käytännössä K-kertoimen arvo lasketaan yllä olevia kaavoja (**Taulukko 1.**) ja mittauksesta saatuja tuloksia soveltaen seuraavasti:

1. Suoritetaan käytännön vaiheet 1. ja 2. Näistä otetaan kaikki tarvittavat mitat ylös.

2. Lasketaan Bend Deduction käyttäen kaavaa: **A +B – Total Flat Length** (1)

3. Laketaan outside setback kaavalla:

$$\mathbf{(\tan(\text{Bend Angle}/2)) * (\text{Thickness} + \text{Bend Radius})} \quad (2)$$

4. Lasketaan Bend allowance kaavalla:

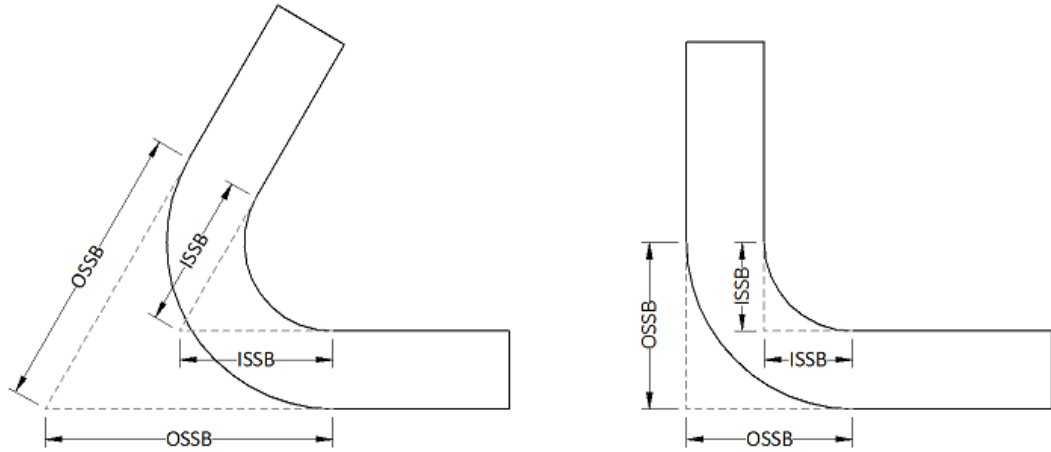
$$\mathbf{(2 * \text{Outside Setback}) – \text{Bend Deduction}} \quad (3)$$

5. Nyt voidaan laskea K-kerroin kaavalla:

$$\mathbf{(-\text{Bend Radius} + (\text{Bend Allowance} / (\pi * \text{Bend Angle} / 180))) / \text{Thickness}} \quad (4)$$

Tällä menetelmällä saadaan tarkkoja tuloksia, joka johtaa valmistettavien osien laadukkuuden paranemiseen. Osista tulee todella mittatarkkoja ja työntekijät voivat luottaa laadukkaaseen suunnitteluun.

Kaavassa (3) esiintyvä muuttuja OSSB, eli Outside setback tarkoittaa käsitteenä seuraavaa:



Kuva 13. Outside setback /15/

Outside setback = Etäisyys ulkokehän lakipisteestä kappaleen uloimman pyörityssäteen tangenttipisteeseen. /15/

3 CAD-OHJELMAT JA ERI TIEDOSTOMUODOT

Lämpöeristyspaneelien suunnittelussa käytettiin useita eri CAD-ohjelmia. Oli oleellista selvittää, miten ohutlevymallinnus onnistuu eri CAD-ohjelmilla ja mitä mahdollisuuksia CAD-ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon löytyy. Tarkoituksena oli löytää paras mahdollinen tiedostomuoto 3D-mallien siirtämiseen.

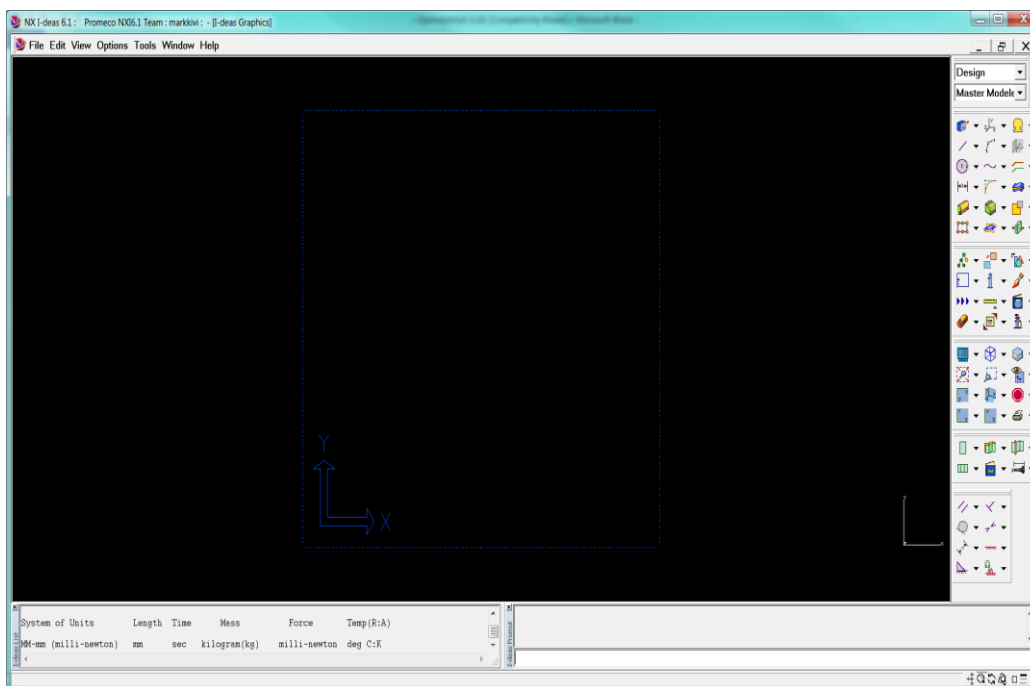
3.1 CAD-ohjelmat

CAD-ohjelmia käytetään tuotesuunnittelussa lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Nykyään CAD-ohjelmat sisältävät valtavan määrän eri sovelluksia ja ominaisuuksia. Yleisimmät käyttökohteet ovat 3D-mallintaminen ja 2D-piirustusten tekeminen. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin lämpöeristyspaneelien suunnittelussa käytettyjä CAD-ohjelmia. Koska NX I-DEAS-ohjelmisto oli keskeisessä roolissa tässä opinnäytetyössä, käsitellään sitä tarkemmin.

3.1.1 NX I-DEAS 6.1

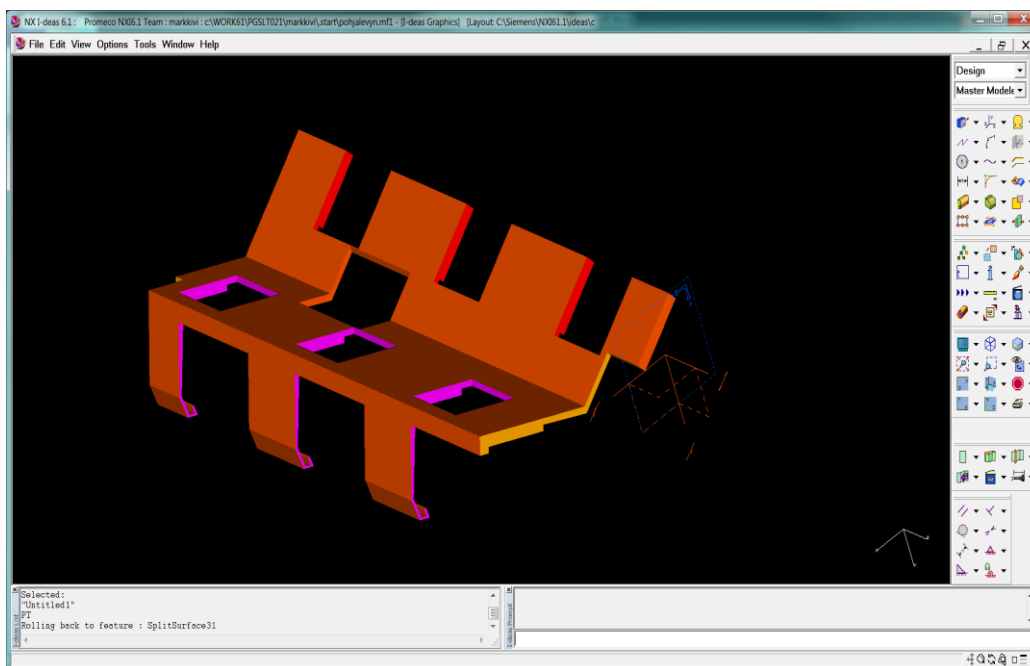
NX I-DEAS on alun perin vuonna 1993 julkaistu mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Ohjelmisto koostuu useista eri moduuleista, joita ovat esim. Master modeler, master assembly ja master drafting. Kullakin moduulilla on oma käyttötarkoituksensa ja omat työkalunsa.

Master modeler soveltaa mittaohjautuvaa piirrepohjaista 3D-tilavuusmallinnusta. Mallinnus aloitetaan luonnostelemalla sketsi työtasolle. Luonnoksesta tehdään sitten tilavuusmalli käytössä olevien työkalujen avulla. Luonnosta voidaan joko pursottaa, tai tilavuusmalli voidaan luoda pyöräyttämällä luonnosta jonkin koordinaatiston akselin ympäri. Luonnostelua voidaan jatkaa mille tahansa kappaleen pinnalle tai työtasolle. Työkalujen avulla voidaan myös poistaa ainetta tilavuusmallista, tai lisätä sitä.



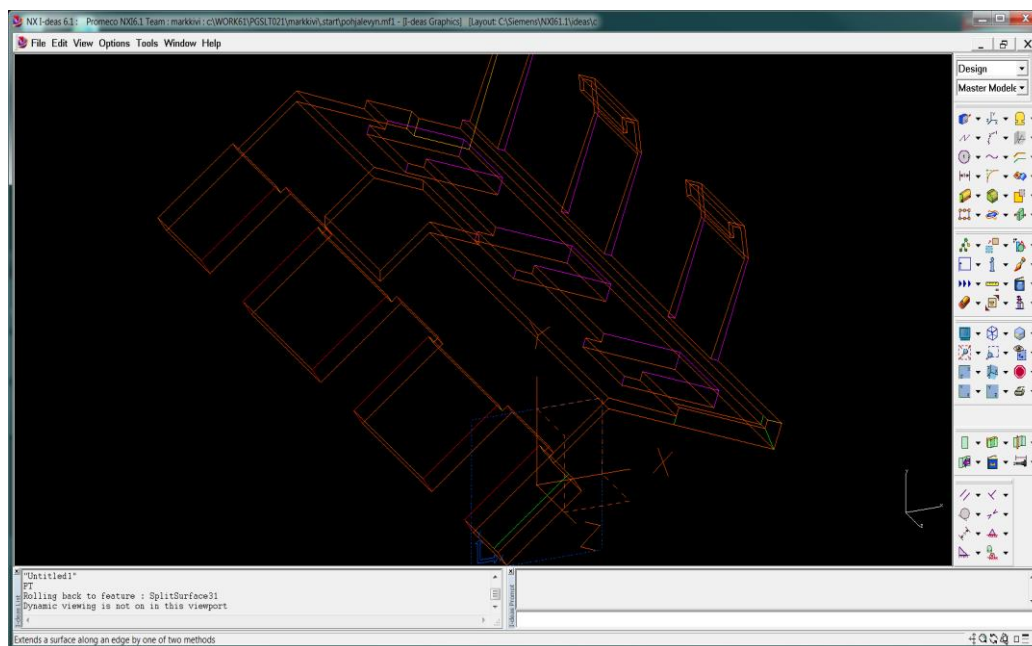
Kuva 14. NX I-DEAS master modeler käyttöliittymä

Ohutlevymallien tekeminen NX I-DEAS-ohjelmistolla on oma maailmansa ja vaatii suunnittelijalta ammattitaitoa. Ajatusmaailma ohutlevymallia suunniteltaessa on, että suunnittelija miettii levyosan ulkopinnat yhtenäisenä tilavuusmallina. **(Kuva 15.)** Jo mallin luonnosta mitoitettaessa on otettava huomioon levyjen veynämä särmäyksessä, sillä ohjelma ei tätä huomioi. Myös kaikki ohutlevymalliin tulevat reiät ja aukot on syytä mallintaa jo tässä vaiheessa, sillä kun malli on muutettu ohutlevymalliksi, se ei enää onnistu ongelmitta.



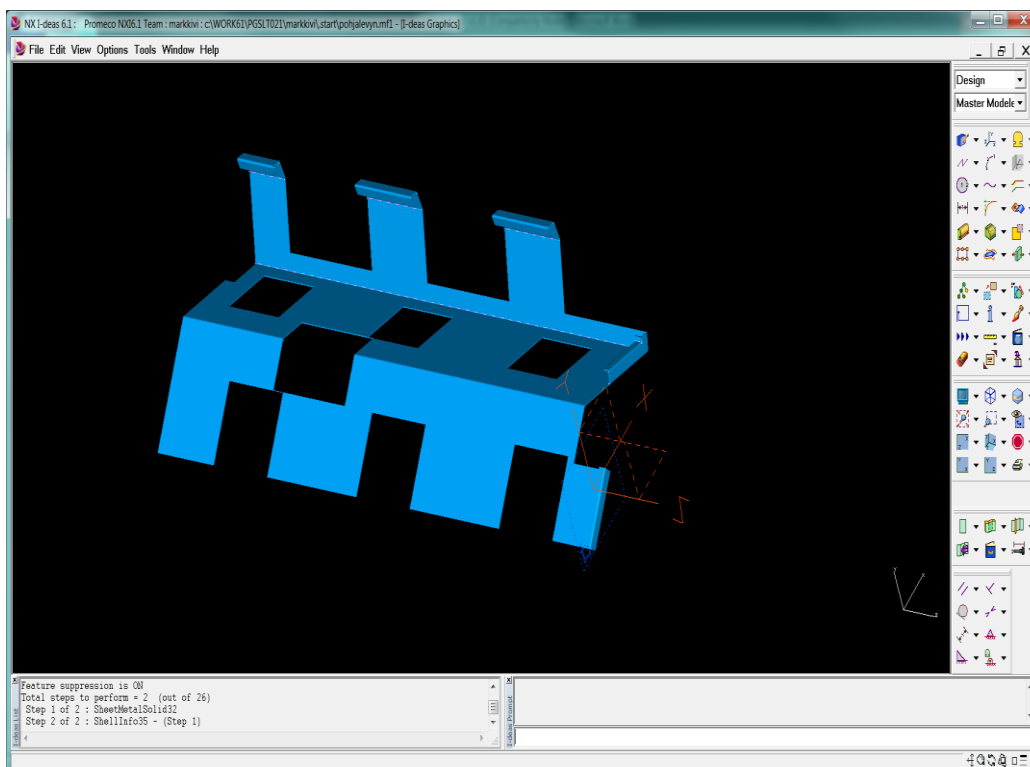
Kuva 15. NX I-DEAS tilavuusmalli

Kun tilavuusmalli on valmis, täytyy suunnittelijan vielä luonnostella pintojen leikkaukset ohutlevylevymallin määritystä varten, mikäli leikkauksia tarvitaan mallin särmäämisen onnistumisen kannalta. Leikkaukset luonnostellaan viivoilla tarvittaviin kohtiin ja pintojen leikkaus toteutetaan pursotustyökalun split surface -ominaisuudella. Pintojen leikkaamisella on tarkoitus yksinkertaisesti rajata ja erottaa taivutettavat pinnat niistä pinnoista, joita ei taivuteta. Leikkausviivoja on vaikea erottaa rautalankamallista, koska viivoja on paljon ja ne ovat usein samanvärisiä. Jotta kuvasta saatiin selkeämpi, muokattiin leikkausviivojen väri vihreäksi. **(Kuva 16.)**

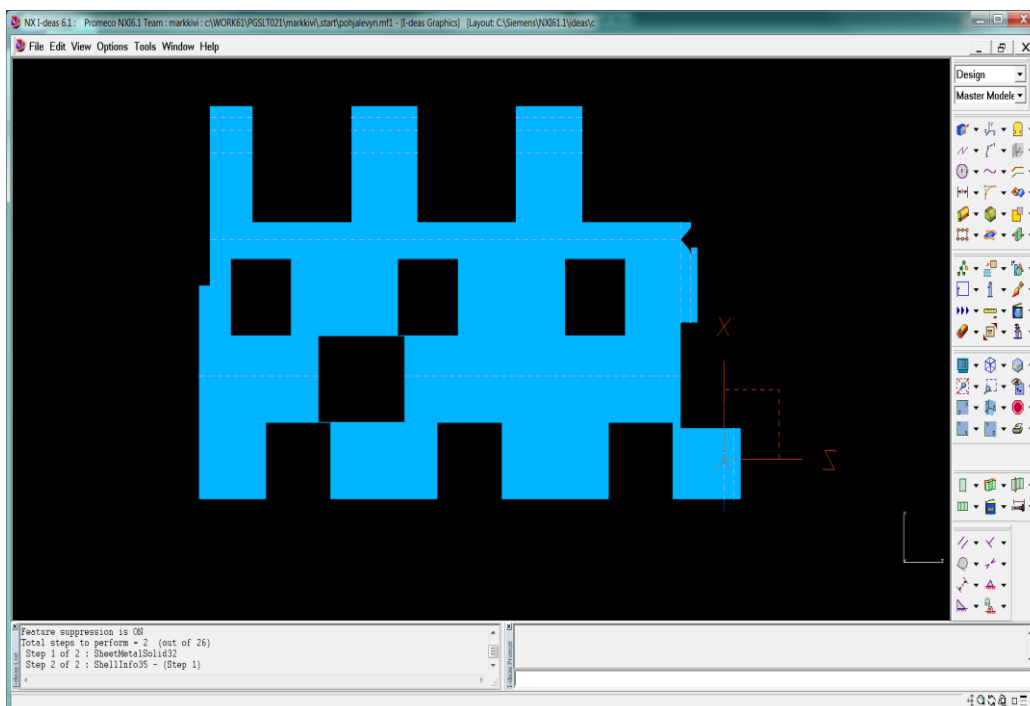


Kuva 16. pintojen leikkaaminen

Sheet metal -työkalulla tilavuusmalli muutetaan ohutlevymalliksi. Ohjelmalle kerrotaan mitä materiaalia ollaan taivuttamassa, mikä on levyn paksuus, K-kerroin ja pyöristyssäde. Seuraavaksi valitaan mallin pohjataso ja kerrotaan mistä suunnasta taivutukset tehdään. Sitten poimitaan kaikki pinnat, jotka halutaan muuttaa ohutlevyksi. Ohjelma poistaa kaikki muut pinnat mallista. Lopuksi kerrotaan vielä taivutus särmät. Tämä on pintojen valitsemisen lisäksi toinen tarkkuutta vaativa vaihe, sillä jo yksi väärä valinta johtaa epäonnistuneeseen ohutlevymalliin. Kun kaikki särmät on taivutettu, näkyy 3D-malli pintamallina. Mallin muuttaminen takaisin tilavuusmalliksi tapahtuu shell-toiminnolla. Ainevahvuudeksi tulee aikaisemmin määritelty levyn paksuus. Nyt voidaan käyttää unfold-työkalua, jolla saadaan levitettyä ohutlevymalli. Levitetty ohutlevymalli on ohutlevymalli, johon ei ole vielä tehty taivutuksia, mutta kaikki tarvittavat leikkaukset on tehty. **(Kuva 18.)**

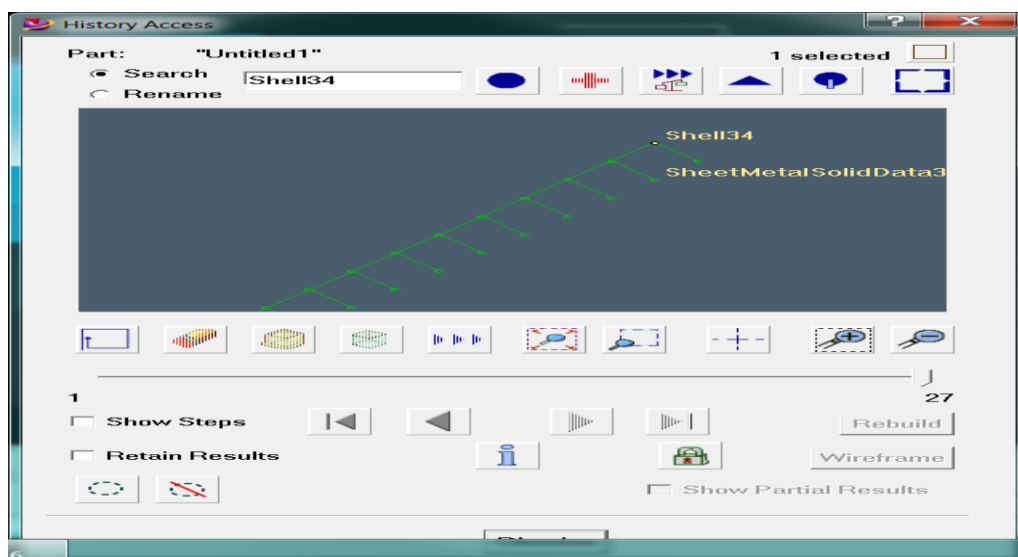


Kuva 17. NX I-DEAS-ohjelmalla tehty ohutlevymalli



Kuva 18. Ohutlevymallin levityskuvanto

NX I-DEAS luo mallista historiapuun, josta voi nähdä kaikki mallin piirteet. Jokainen 3D-malliin tehty toiminto näkyy historiapuussa omana piirteenään. Piirteitä voidaan muokata ja mittoja voidaan muuttaa valitsemalla haluttu piirre historiapuusta ja muokkaamalla sitä. **(Kuva 19.)** Onnistuneen ohutlevymallin historian tulee loppua aina sheet metal- ja shell-piirteisiin.



Kuva 19. NX I-DEAS historiapuu

Neutraalin tiedostomuodon tuominen onnistui NX I-DEAS-ympäristöön hyvin, mutta joitakin asioita oli hyvä ottaa huomioon. STEP-tiedostojen tiedostopäätte voi olla joko .STEP tai .STP. Kyse on samasta tiedostomuodosta ja tiedostopäätte riippuu ohjelmasta, jolla tiedosto on luotu. NX I-DEAS ymmärtää STEP-tiedostoissa ainoastaan tiedostopäätteen .STP. Yksinkertainen ratkaisu tähän ongelmaan oli kirjoittaa tiedostopäätte tiedostonimen perään tallennusvaiheessa, ellei valittavana ollut suoraan .STP tallennusmuotoa. Huomioitavaa oli myös, että tiedostonimessä tai tiedoston polussa ei saa olla ääkkösiä, eikä välilyöntejä. Esimerkki tiedostonimen korjaamisesta: C://mallit/jääkaira.STEP--> C://mallit/jaakaira.STP

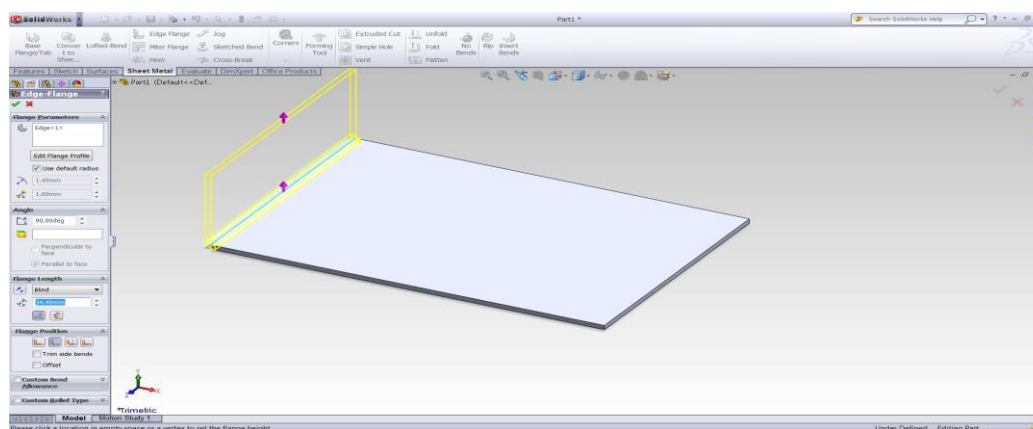
3.1.2 SolidWorks 2011

Vuonna 1993 Jon Hirschtick kokosi joukon insinöörejä kehittämään uutta helposti lähestyttävää CAD-ohjelmistoa. Vuonna 1995 julkaistiin ensimmäinen versio SolidWorks-ohjelmistosta. Nykyisin ohjelmiston omistaa Dassault Systemèmes SolidWorks Corp. Yrityksen päätoimipaikka sijaitsee Walthamissa, Massachusetts'in osavaltiossa, USA:ssa. /17/

SolidWorks-ohjelmisto tarjoaa 3D-työkalut CAD-tiedostojen luomiseen, simulointiin, jakamiseen ja tiedon hallintaan. Ohjelmiston periaate on alusta lähtien ollut helppokäyttöisyys. /17/

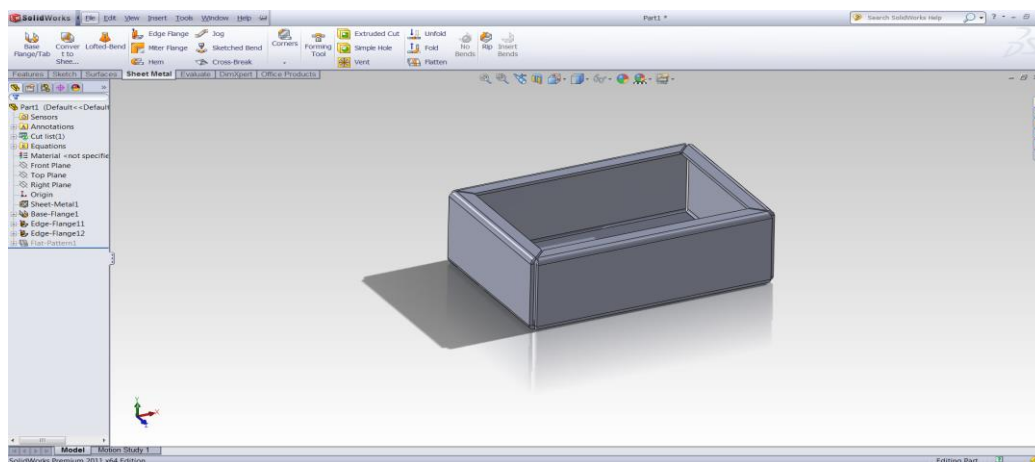
SolidWorks 2011 CAD-ohjelman käyttö perustuu piirrepohjaiseen, mittaohjautuvaan tilavuusmallinnukseen. Mallinnus aloitetaan luonnostelemalla haluttu geometria työtasolle. Sen jälkeen voidaan hyödyntää lukuisia työkaluja jotka löytyvät ohjelman yläpalkissa olevien valikoiden alta.

SolidWorks 2011 CAD-ohjelmalla suoritettiin testi, jossa mallinnettiin yksinkertainen ohutlevymalli. Pohjalevyn profiili luonnosteltiin ja ilmoitettiin ohjelmalle levyn vahvuus. Tässä esimerkissä käytettiin 2mm vahvuista levyä. Taivutustyökalulla voitiin sitten valita taivutettavat reunasärmät ja antaa niille haluttu pituus ja kulma. **(Kuva 20.)**



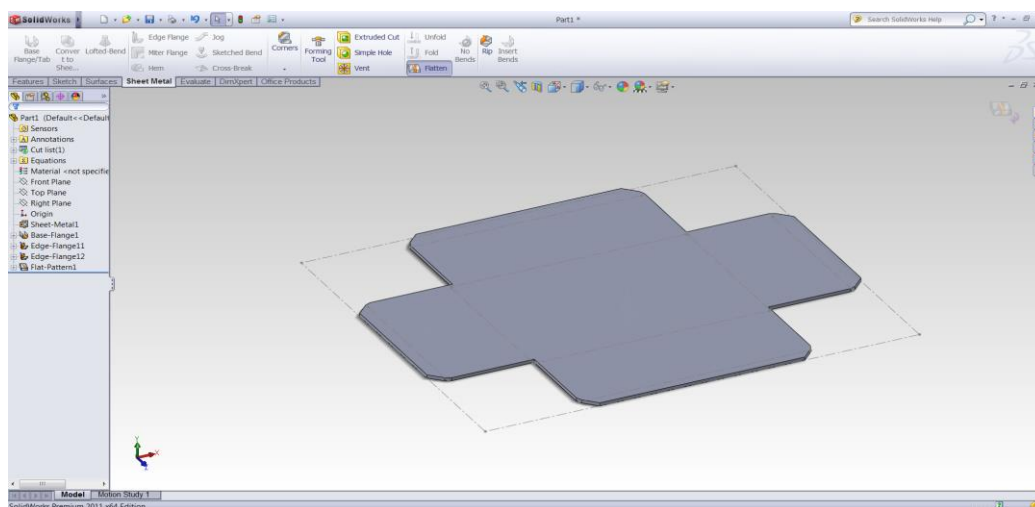
Kuva 20. Ohutlevymallinnus SolidWorks-ohjelmistolla.

SolidWorks 2011-ohjelma teki automaattisesti kevennysleikkaukset taivutettavien sivujen nurkkiin. **(Kuva 21.)** Kevennysleikkausten leveys voitiin itse määrittää piirteen luomisen yhteydessä.



Kuva 21. Ohutlevytyökaluilla tehty laatikko

SolidWorks 2011-ohjelmassa saatiin ohutlevyosan levityskuvanto näkyviin flat-ten-komennolla. Ohjelma piirsi myös särmäysviivat valmiiksi oikeille paikoilleen. **(Kuva 22.)**



Kuva 22. Laatikon levityskuvanto

SolidWorks 2011 oli helppokäyttöinen ja nopea mekaniikkasuunnitteluohjelma. Ohjelmiston suunnittelijat ovat selvästi onnistuneet tekemään yksinkertaisen ja tehokkaan käyttöliittymän. Vaikka aikaisempaa käyttökokemusta SolidWorks-ohjelmistosta ei ollut, mallin tekemiseen meni aikaa vain noin yksi minuutti. Ohjelma yllätti myös piirteiden tunnistus ominaisuuksillaan. Suoritettiin myös testi, jossa tuotiin NX I-DEAS-ohjelmalla luotu STEP-malli SolidWorks 2011-ohjelmaan. Mallin piirteet pystyttiin tunnistamaan SolidWorks:in piirteiden tunnistustyökalun avulla, ja ohjelma rakensi historiapuun tunnistettujen piirteiden pohjalta. Kaikki tarvittavat piirteet löytyivät siten historiapuusta. Tämän jälkeen kaikkia mallin mittoja pääsi vapaasti muuttamaan historiapuun kautta.

3.1.3 Catia V5

Catia-ohjelmiston nimi muodostuu sanoista Computer Aided Tri-dimensional Interactive application. Ohjelmiston on luonut Francis Bernard. Ohjelmisto julkaistiin vuonna 1977 pitkän kehitystyön tuloksena. Ohjelmiston kehityksen takana on Ranskalainen lentokonevalmistaja Dassault Aviation, joka kehitti Catian sisäisenä projektina. Vuonna 1981 IBM alkoi markkinoimaan Catiaa maailmanlaajuisesti. Tuohon aikaan kaikki kilpailijat käyttivät vielä 2D CAD-ohjelmia. Syyskuussa 1981 Dassault systemes irtaantui Dassault Aviationista omaksi itsenäiseksi yritykseen. Charles Bernard palkattiin tutkimus ja kehitysosastolle vuonna 1984 ja hän nousi yrityksen johtoon vuonna 1995. Hän toimi yrityksen johdossa vuoteen 2006 asti. Tänä päivänä Catia on todella monipuolinen ja helppokäyttöinen mekaniikkasuunnitteluohjelma Dassault Systemesin periaatteiden mukaisesti. /20/

Tätä ohjelmaa ei päästy kokeilemaan käytännössä, mutta ohjelman joustavuus ja helppokäyttöisyys ovat hyvin esillä internetissä nähtävillä olevassa esittelyvideossa. /3/

3.2 Mitä 3D-malli pitää sisällään?

Parametrit:

Parametrit ovat 3D-mallin mittamuuttujia, joilla määritellään 3D-mallin fyysiset mitat. Parametreista voidaan tehdä myös mittaohjautuvia ja niille voidaan asettaa laskukaavoja. Siten niillä voidaan ohjata 3D-mallin mittoja. Useita parametreja voidaan sitoa yhteen parametriin, jolloin mallia hallitsevan parametrin muuttaminen muuttaa kaikkia siihen sidottuja parametreja siten, kuin suunnittelija on määritellyt.

Sketsit:

Sketsit ovat 2D-viivageometriaa, joilla hahmotellaan kaikki 3D-mallin piirteet. Sketsien viivageometriat määritellään tarkasti parametrien ja rajoitteiden avulla. Tämä on perustana toimivalle ja muokattavuudeltaan hyvälle 3D-mallille.

Rajoitteet:

Rajoitteet ovat hallitsevia piirteitä sketseissä ja kokoonpanoissa. Ne lisäävät mallin toiminnallisuutta ja vähentävät mitoituksen tarvetta. Rajoitteiden tärkein tehtävä on pitää sketsi kasassa ja säilyttää haluttu geometria mitoituksen aikana. Kokoonpanoissa rajoitteita käytetään pitämään kokoonpanon osat halutuissa paikoissa ja asennoissa.

Piirteet:

3D-mallinnus perustuu piirteisiin. Piirteiden avulla määritellään kaikki mallin fyysiset pinnat. Piirteitä tehdään malliin sketsien viivageometriaa hyödyntäen. Siten sketsin parametrit ja rajoitteet ohjaavat piirteiden geometriaa. Piirteillä on myös omat parametrinsa, joiden avulla määritellään esimerkiksi piirteen korkeus, tai kulma.

Kerrokset:

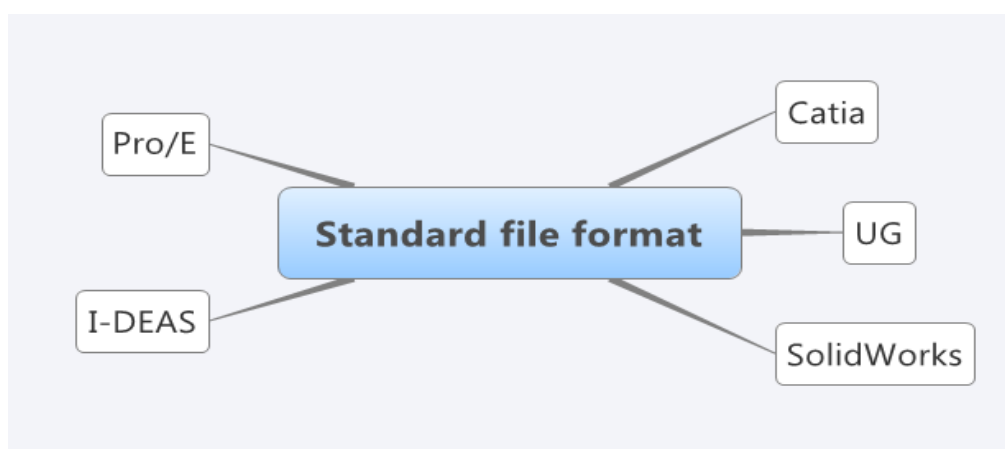
Kerrokset voidaan ajatella piirustustasoina. Jokainen kerros voidaan muokata sopivaksi käyttötarkoituksen mukaan. Kerrokseen voidaan muokata esimerkiksi viivojen profiili, vahvuus ja värit. Näin suunnittelija voi kerrosta vaihtamalla ottaa käyttöön kulloinkin tarvitsemansa piirtoasetukset.

Historia:

CAD-ohjelmat tallentavat 3D-mallin historiaa mallinnuksen aikana. Piirretyt sketsit ja luodut piirteet tallentuvat historiapuuhun siinä järjestyksessä, kuin suunnittelija tekee mallia. Historiapuusta nähdään 3D-mallin rakenne ja päästään helposti kiinni johonkin tiettyyn piirteeseen, johon halutaan tehdä muutoksia.

3.3 Tiedonsiirtostandardit ja neutraali tiedonsiirto

Kaikilla CAD-ohjelmistoilla on omat tiedostomuotonsa, joissa 3D-mallit tallentuvat. Useiden CAD-ohjelmien järjestelmässä mallitiedostot täytyy muuntaa neutraaliin tiedostomuotoon, jotta niitä voidaan siirtää eri CAD-ohjelmien välillä. Mallitiedostoja voidaan muuntaa neutraaleihin tiedostomuotoihin CAD-ohjelmasta riippuen, joko save as-, tai export-komennoilla. Neutraalien tiedostomuotojen standardisoinnilla on pyritty luomaan yhtenäinen toimintamalli tiedonsiirtoon eri CAD-ohjelmien välillä. **(Kuva 23.)** Tarkemman tutkimuksen kohteeksi otettiin kaksi yleisesti käytössä olevaa tiedonsiirtostandardia IGES ja STEP.



Kuva 23. Standardisoitu tiedonsiirto yhdistää eri CAD-ohjelmat

3D-mallien muuntaminen neutraaliin tiedostomuotoon kadottaa aina suuren osan informaatiosta. 3D-mallissa säilyvän tiedon määrä on paljolti siitä kiinni mihin tiedostomuotoon 3D-malli muunnetaan.

Taulukko 2. Tietojen säilyminen eri neutraaliformaateissa

3D-mallissa säilyvä sisältö	STEP AP203	STEP AP214	IGES
Värit	ei	kyllä	kyllä
Layerit	ei	kyllä	kyllä
Geometria	kyllä	kyllä	kyllä
Sketsit	ei	ei	ei
Piirteet	ei	ei	ei
Parametrit	ei	ei	ei
Historia	ei	ei	ei

3D-mallin laatu kärsii muutettaessa neutraaliin muotoon. Nykyaikaiset CAD-ohjelmat käyttävät piirteisiin ja parametreihin perustuvaa tarkkaa mallinnusmenetelmää, kun taas neutraalit tiedostomuodot ovat rakenteeltaan epätarkkoja. Epätarkkuus ja mallinnusvirheet johtuvat siitä, miten 3D-malli luodaan. Neutraalit tiedostomuodot perustuvat matemaattiseen malliin NRUBS. Jos 3D-mallia käännettäessä tapahtuu virhe, jättää käännohjelma tämän pinnan pois mallista, tai koko prosessi saattaa kaatua. /8/

3.3.1 IGES

IGES - Initial Graphics Exchange Specification - on Amerikan kansallinen standardi, joka määrittelee neutraalin tietoformaatin digitaaliseen tiedonsiirtoon CAD-järjestelmien ja muiden graafisten vektori-esitykseen perustuvien ohjelmien välillä. Eri ohjelmien CAD-tietokannat ovat usein keskenään yhteensopimattomia. IGES muuntaa tiedoston neutraaliin muotoon, joka on muiden CAD-ohjelmistojen ymmärrettävissä. /19/

IGES-tiedostomuoto oli ensimmäinen neutraali tiedostomuoto, jonka avulla pystyttiin siirtämään 3D-malleja eri CAD-ohjelmien välillä. Nykyään se on vielä

yleisessä käytössä, mutta sen päivittäminen on lopetettu. Koska IGES on väljä standardi, tapahtuu CAD-ohjelmien välisessä tiedonsiirrossa helposti virheitä. Virheet näkyvä 3D-mallissa puuttuvina pintoina. /14/

IGES-malleissa on riski, että osa mallin pinnoista saattaa hajota tiedostomuunnoksen aikana. Tämä johtaa siihen, että tuloksena saattaa olla pintamalli, koska 3D-mallin geometria ei ole enää suljettu. /8/

3.3.2 STEP

Lyhenne STEP tulee sanoista Standard for the Exchange of Product Model Data, se tunnetaan myös nimellä ISO 10303. Se on kansainvälinen standardi tietokone-tulkittavalle esitykselle ja teolliseen tiedonsiirtoon. Tarkoituksena on tarjota mekanismi, joka kuvailee tuotteen tietoja koko tuotteen elinkaaren ajalta, riippumattomana mistään järjestelmästä. Tiedoston neutraali luonne tekee siitä sopivan tiedonsiirron lisäksi myös tuotetiedon jakamiseen ja arkistointiin. Yleisesti STEP-standardia sovelletaan tiedonsiirtoon CAD, CAM, PDM/EDM ja muiden järjestelmien välillä. /19/

STEP on siis paljon muutakin kuin 3D-mallejen siirtämiseen käytettävä tiedostomuoto. Standardiin sisältyy oma tuotetiedon hallintajärjestelmä, mutta sitä ei käsitellä enempää, koska Promeco Group Oy:llä on oma PDM-järjestelmä.

CAD-ympäristössä käytettävät STEP-sovellusprotokollat:

STEP-tiedostoista on olemassa eri protokollia. STEP AP203 protokolla määritteli ensimmäisen neutraalin tiedostomuodon CAD-ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon ja on edelleen yleisesti käytössä. Uudempi STEP AP214 protokolla säilyttää hieman enemmän tietoja alkuperäisestä mallista kuin vanha STEP AP203 protokolla.

AP203-configuration control design on yleisesti käytössä mekaniikka CAD-suunnittelussa. Se määrittelee topologian, geometrian, sekä muutostenhallintatiedot tilavuusmalleille ja kokoonpanoille. Tiedostomuoto ei hallitse tasoja ja värejä. /4/

AP214-Core data for automotive mechanical design process on enemmän keskittynyt autoteollisuuteen. Protokolla sisältää kaiken minkä AP203 protokollakin, mutta lisää myös värit, tasot, geometrinen mittojen hallinnan ja toleranssit, sekä suunnittelutiedot. Mekaanisessa CAD-suunnittelussa AP214 ei juuri eroa AP203:sta. /4/ Historiapuun, parametrien ja rajoitteiden puuttuminen rajoittaa mallin muokattavuutta.

3D-malleja kokeiltiin kääntää molempiin STEP-protokolliin, ja ainut näkyvässä oleva ero oli, että AP214 säilytti 3D-mallin pintojen värit. Molemmissa STEP-protokollissa tiedostojen koko pysyi lähes samana. Eräässä 3D-mallissa STEP AP203 tiedostokoko oli 5.2Mt ja STEP AP214 tiedostokoko oli 5.4Mt. Neutraalissa tiedostomuodossa siirtyvän tiedon määrä oli yhtä vähäinen molemmissa protokollissa. Ilmeisesti suunnittelutietojen siirtyminen liittyy STEP-standardiin pohjautuvan PDM-järjestelmän tiedonsiirtoon.

3.4 DWG tiedostot

DWG on AutoCAD tiedostomuoto, jota käytetään 2D- ja 3D-tiedon tallennukseen. Se on yksi yleisimmistä tiedostomuodoista CAD-suunnittelussa. DWG:n kehitti alunperin Mike Riddle 1970-luvun lopulla. Autodesk hankki DWG:n käyttöoikeudet vuonna 1982. Tiedostomuoto on päivitetty useita kertoja ja uusin päivitys on tehty vuonna 2007. CAD-ohjelmat, jotka tukevat vanhempia DWG-versioita, eivät voi avata uudempia versioita DWG-tiedostoista. Vanhat DWG-tiedostoversiot pystyy kyllä avaamaan CAD-ohjelmalla joka tukee uudempaa DWG-tiedostoversiota. Vuonna 1998 useat ohjelmistokehittäjät ja ohjelmistotoimittajat perustivat yhdistyksen nimeltä OpenDWG Alliance. Yhdistyksen tavoitteena oli standardisoida DWG-tiedostomuoto. Tässä ei kuitenkaan vielä ole onnistuttu. Samaan aikaan Autodesk on yrittänyt saada DWG-tuotemerkkiä itselleen tuloksetta. /2/

Vaikka DWG ei ole standardisoitu tiedostomuoto, suurin osa CAD-ohjelmista tukee sitä. DWG-tiedostoja käytetään yleisesti 2D-piirustusten tallentamiseen ja jakamiseen.

4 LÄMPÖERISTYSPANEELEIDEN 3D-MALLIEN SIIRTÄMINEN NX I-DEAS-YMPÄRISTÖÖN

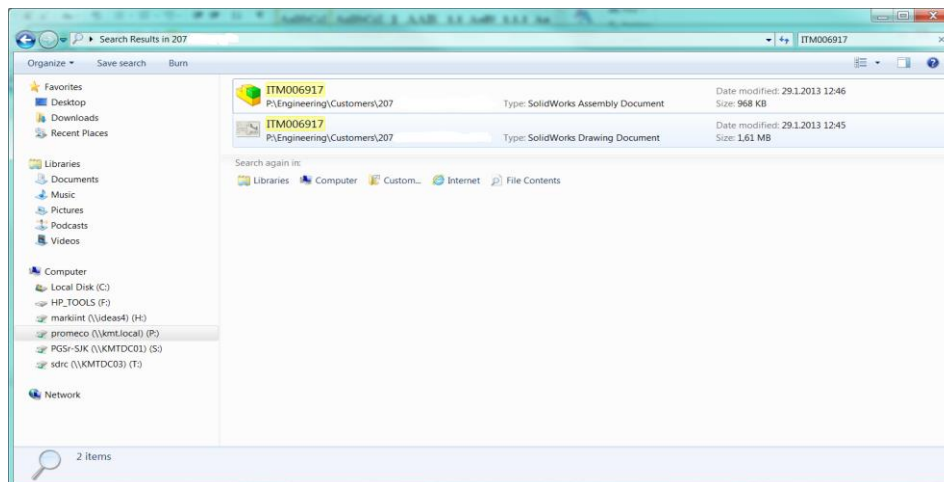
4.1 Neutraalin tiedostomuodon valitseminen tiedonsiirtoa varten

Koska paneelien 3D-mallit oli tehty käyttäen useita eri CAD-ohjelmia, täytyi 3D-mallit muuntaa neutraaliin tiedostomuotoon. Kerättyihin tietoihin perustuen, paras neutraali tiedostomuoto CAD-ohjelmien tiedonsiirtoa varten oli STEP AP214.

Tiedonsiirrossa olisi voitu käyttää myös STEP AP203 tiedostomuotoa, mutta koska kaikki käytettävät CAD-ohjelmat tukivat STEP AP214 tiedostomuotoa, ei ollut syytä olla käyttämättä sitä. Etuna oli ainakin se, että 3D-mallit säilyttivät oikeat värinsä käytettäessä STEP AP214 tiedostomuotoa. Värien avulla 3D-mallista saatiin visuaalisesti hienompi ja eriväriset pinnat helpottivat kokonaisuuden hahmottamista kokoonpanoissa.

4.2 3D-mallien siirtäminen NX I-DEAS-ohjelmaan

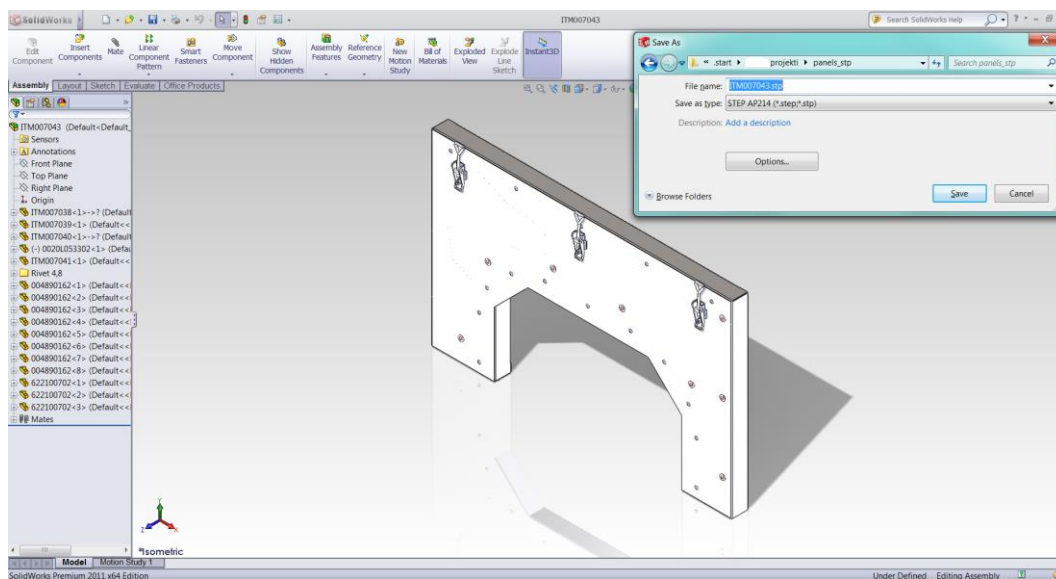
Ensimmäisenä oli löydettävä verkkoasemalle tallennetut 3D-mallit. Tässä käytettiin apuna lämpöeristyspaneelien kokoonpanopiirustuksen osaluetteloa. Kun tarvittavat nimikkeet olivat tiedossa, etsittiin niiden sijainti verkkoasemalta. **(Kuva 24.)**



Kuva 24. Nimikkeiden etsiminen

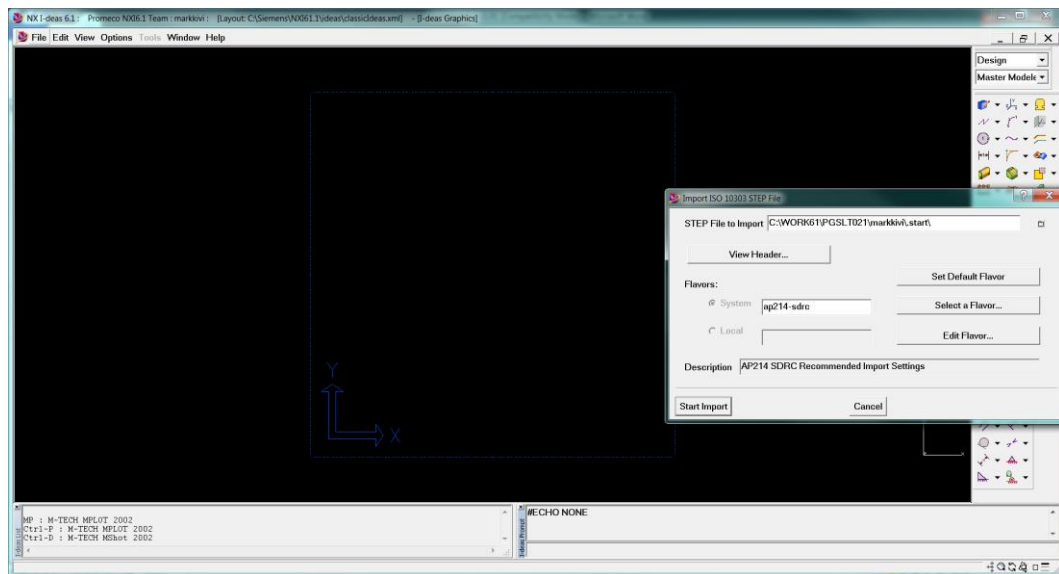
Seuraavaksi avattiin lämpöeristyspaneelien 3D-mallit sillä CAD-ohjelmalla, millä 3D-mallit oli tehty ja ne tallennettiin STEP-tiedostomuotoon tiedonsiirtoa varten.

(Kuva 25.)

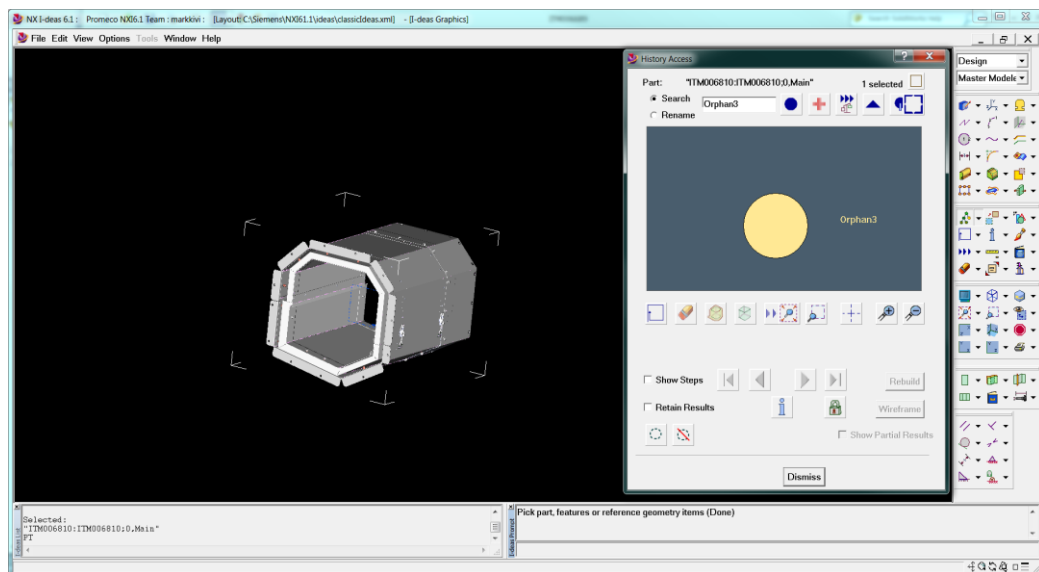


Kuva 25. Paneelin tallentaminen STEP-tiedostoksi SolidWorks 2011-ohjelmassa

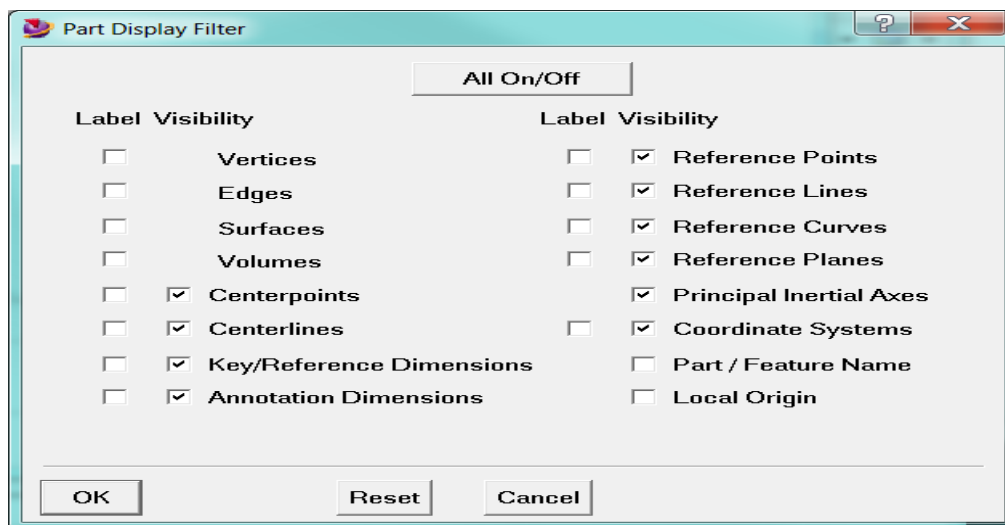
STEP-tiedostot tuotiin NX I-DEAS-ohjelmaan import-komennolla. **(Kuva 26.)** Tiedonsiirto onnistui hyvin STEP-tiedostojen avulla. Malli näytti juuri samalta, kuin alkuperäinenkin. Historia ja piirteet olivat kadonneet. Lisäksi huomioitavaa oli, että ohutlevyosat muuttuivat neutraalissa tiedostomuodossa solideiksi. Toisin sanottuna ohutlevypiirteet katosivat. Se ei tässä tapauksessa haitannut, sillä mallia ei tarvinnut muokata mitenkään. **(Kuva 27.)** Usein, kun 3D-malli tuotiin NX I-DEAS-ohjelmaan, zoomaus ominaisuus ei toiminut. Mallia pystyi pyörittelemään, mutta näkymää ei voinut viedä lähemmäs tai kauemmas. Ongelma saatiin ratkaistua klikkaamalla redisplay-kuvaketta, jolloin ohjelma päivittää 3D-mallin. 3D-mallissa näkyvää sisältöä pystyttiin muokkaamaan display filter-asetuksista. Suodattimesta oli hyvä ottaa pois näkyviltä keskiviivat, apuviivat ja aputasot. **(Kuva 28.)** Näin mallista saatiin siivottua ylimääräiset kohteet pois.



Kuva 26. Tiedonsiirtonäkymä NX I-DEAS-ohjelmassa.



Kuva 27. STEP-mallin tarkastelu NX I-DEAS-ohjelmassa.

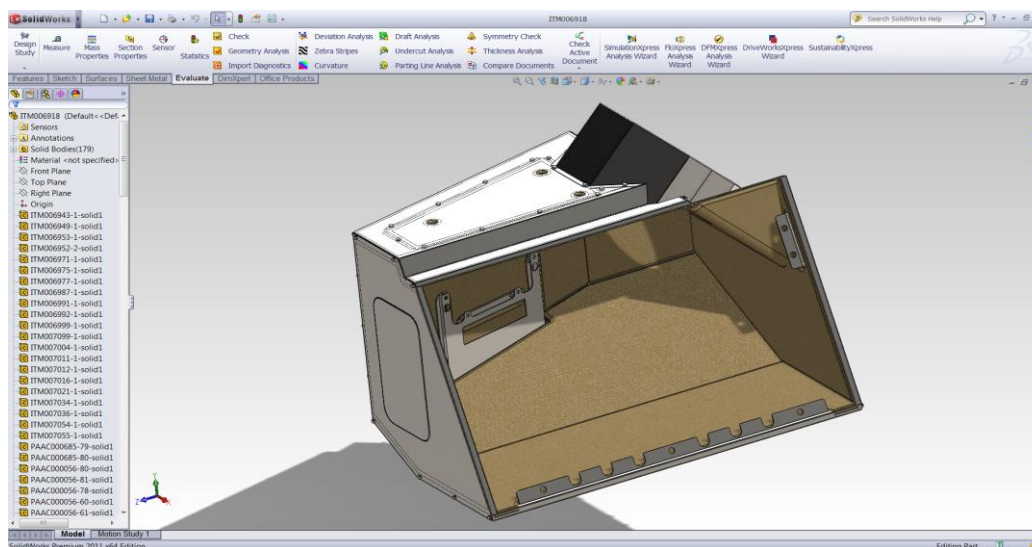


Kuva 28. Display filter

Jotta 3D-mallit pystyttiin myöhemmin avaamaan NX I-DEAS-ohjelmassa täytyi ne vielä tallentaa ”save” komennolla. Tallentaminen muutti STEP-tiedoston NX I-DEAS-tiedostoksi.

4.3 Tiedonsiirron ongelmakohtia

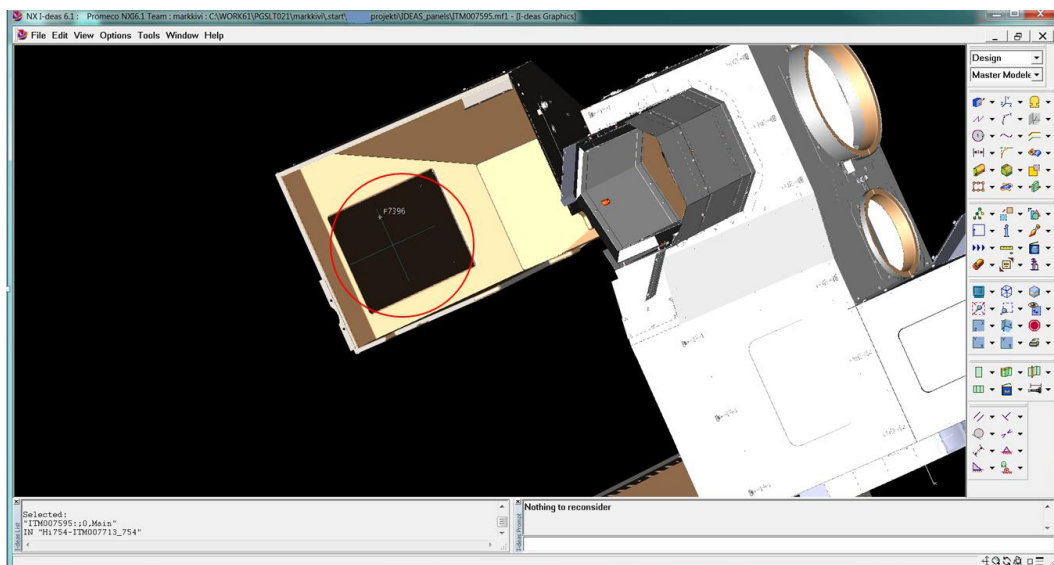
3D-malleihin mallinnettu eristetekstuuri (**Kuva 29.**) ei siirtynyt STEP-tiedostoon, koska STEP-tiedostomuoto ei ymmärtänyt erikoisia pintatekstuureja. Nämä pinnat muuttuivat tavallisiksi metallinharmaiksi pinnoiksi tiedostomuunnoksessa. Tekstuurit jouduttiin poistamaan, mutta visuaalisuuden säilyttämiseksi määriteltiin eristepinnoille vaaleanruskea väri.



Kuva 29. Paneelin eristeiden pintatekstuuri.

Tiedonsiirto NX I-DEAS-ohjelmaan sujui pääpiirteittäin hyvin. Muutamaan paneeliin tuli tiedonsiirrossa pintavirheitä. Tämä näkyi NX I-DEAS-ohjelmassa siten, että 3D-mallista puuttui pintoja. (**Kuva 30.**) Varsinkin 3D-mallien kääntäminen part-tiedostoiksi lisäsi pintavirheiden riskiä merkittävästi. Useissa paneeleissa pintavirheitä esiintyi vain, jos kokoonpano oli ensin käännetty ensin part-tiedostoksi, ja sen jälkeen STEP-tiedostoksi. Suora STEP-muunnos kokoonpanoista onnistui yleensä virheettömästi.

Kaikki STEP-mallit näyttivät ehjiltä ja virheettömiltä tallennusvaiheen jälkeen. Pintavirheet ilmenivät vasta, kun STEP-mallit siirrettiin NX I-DEAS-ohjelmaan. Tämä kertoi siitä, että NX I-DEAS-ohjelmassa tilanteet, joissa import-puolen kääntäjä ei osannut rakentaa 3D-mallin geometriaa uudelleen tiedonsiirrossa olivat yleisiä. Vertailukohtana käytettiin tiedonsiirto testejä, jotka suoritettiin SolidWorks 2011 ja NX 7.5-ohjelmistoilla. Molemmat CAD-ohjelmat käänsivät STEP-tiedostosta virheettömän 3D-mallin.



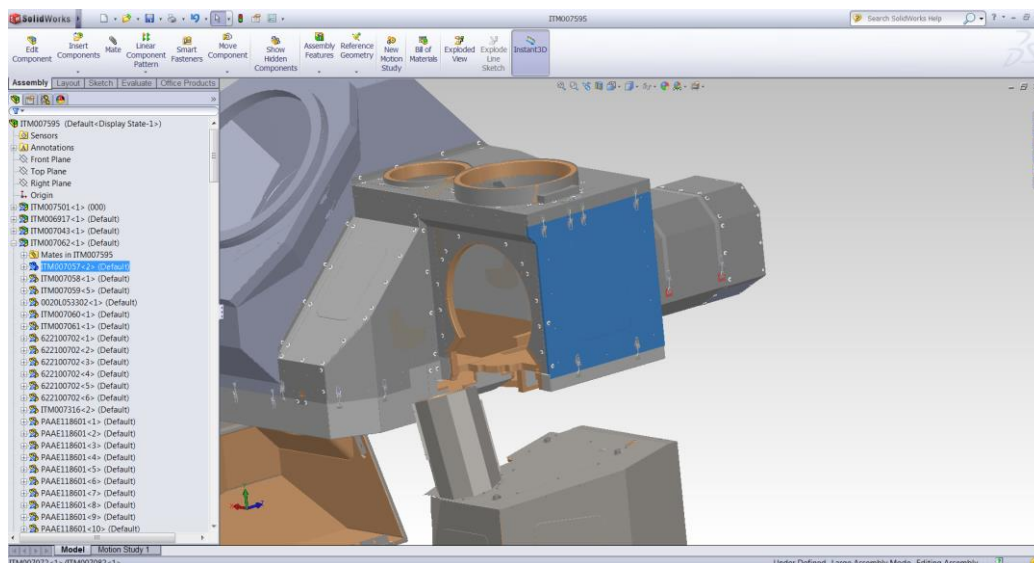
Kuva 30. Pintavirhe paneelissa

4.4 Kokoonpanomallin siirtäminen

Ensimmäinen ongelma kokoonpanon kääntämisessä STEP-tiedostoksi oli, että yksi erään paneelin levyosista aiheutti käänösvirheen SolidWorks-ohjelmassa. Paneeli kääntyi STEP-tiedostoksi, kun ongelmia aiheuttanut levyosa oli ladattu uudelleen paneelikokoonpanoon. Virheen aiheuttaneen levyosan etsiminen oli haastavaa, sillä paneeli jouduttiin kääntämään osa osalta STEP-tiedostoiksi, viallisen komponentin löytämiseksi. Tämän lämpöeristyspaneelin 3D-malli oli liitetty part-tiedostona pääkokoonpanoon. Koska kyseisessä paneelissa oli virheellinen osa, ei kokoonpanomallikaan kääntynyt STEP-tiedostoksi. Tilanne ratkaistiin tallentamalla toimiva version kyseisestä lämpöeristyspaneelistä sekä STEP-tiedostoksi tiedonsiirtoa varten, että part-tiedostoksi kokoonpanon korjaamista varten. Kokoonpanomallit tarkkailevat CAD-ohjelmissa rakennettaan, joten kokoonpanon korjaaminen onnistui korvaamalla viallisen osan 3D-malli korjatulla 3D-mallilla.

Kokoonpanomallin rakenne oli vielä muokattava siten, että kokoonpanomallissa näkyvät komponentit rajoittuvat paneelitasolle. Tämä tarkoittaa sitä, että kokoonpanomallin rakenteessa viimeinen nähtävillä oleva komponentti on paneeli. Paneelin alla olevat komponentit eivät saa näkyä rakenteessa. Alkutilanteessa ko-

koonpanomalli oli tehty SolidWorks 2011-ohjelmistolla ja 3D-mallin rakenteessa oli mukana kaikki osat, aina komponenttitasolle asti. **(Kuva 31.)**



Kuva 31. Kokoonpanomalli komponentteineen

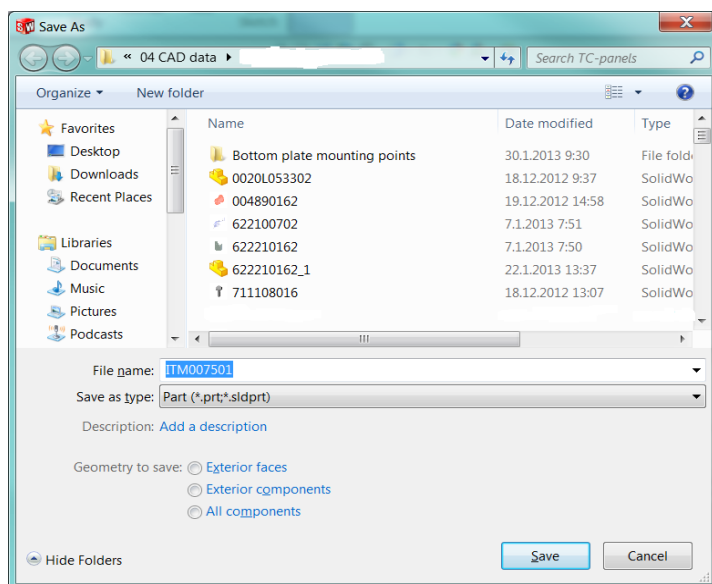
Paneelit tallennettiin part-tiedostoiksi. Kokoonpanon tallentaminen part-tiedostoksi kadotti 3D-mallista kaikki kokoonpanon komponentit. Kokoonpanosta jäi muutoksen jälkeen jäljelle yksittäinen osamalli. Osamalli on joko pinta- tai tilavuusmalli, riippuen valittavasta geometrian tallennustavasta. SolidWorks 2011 antoi osamallin geometrian tallentamiselle kolme eri vaihtoehtoa: exterior faces, exterior components ja all components **(Kuva 32.)**. Tallentamista kokeiltiin kaikilla kolmella vaihtoehdolla.

Exterior faces tallentaa geometrian pintamallina. Tässä huomioitavaa oli, että olemassa olevaa 3D-mallin geometriaa ei voida mitenkään muokata. Kaikki pintojen muokkaustyökalut olivat poissa käytöstä. Tämä ei tässä työssä haitannut, sillä malleja ei tarvitse muokata mitenkään. Hyvä puoli pintamallissa oli hyvin pieni tiedostokoko toisiin vaihtoehtoihin verrattuna. STEP-malliksi käännettäessä pintamalli tallentui kolme kertaa pienempään tilaan kuin muut vaihtoehdot.

Exterior components ja all components vaihtoehdot tallentavat geometrian tilavuusmallina. Ainut ero näiden kahden vaihtoehdon välillä oli, että exterior components tallensi vain näkyvillä olevan geometrian. Koska 3D-malli tallentui tila-

vuusmallina, oli mallin muokkaaminen mahdollista vielä tallentamisen jälkeenkin. Huonoja puolia näissä tallennusvaihtoehdoissa olivat suuri tallennuskoko ja siirrettäessä STEP-tiedostona NX I-DEAS-ohjelmaan pintavirheitä ilmeni usein enemmän, kuin pintamalleissa.

Kaikilla kolmella osamallin tallennus vaihtoehdolla päästiin eroon paneelin komponenteista. Paneeli ei enää ollut kokoonpano vaan yksittäinen osa. **(Kuva 33.)** Osamallit tallennettiin ensisijaisesti pintamalleina, koska ne vievät vähiten tallennustilaa. Huono puoli paneeleiden kääntämisessä osamalleiksi oli, että tiedostoa käännettäessä saattoi syntyä pintavirheitä. Kaikilla kolmella osamallin tallennusvaihtoehdolla ongelmallisiksi osoittautuivat erityisesti pyöristetyt pinnat, joihin muodostui usein pintavirheitä.

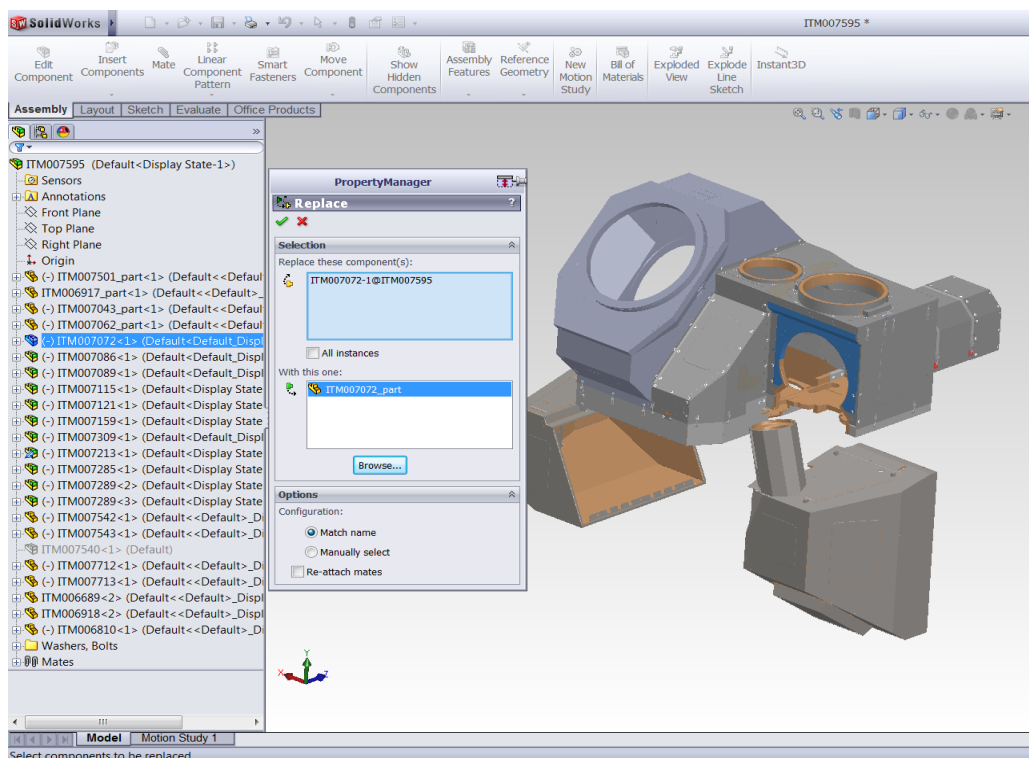


Kuva 32. 3D-mallin tallentaminen part-tiedostoksi



Kuva 33. Osamallilla ei ole kokoonpanorakennetta

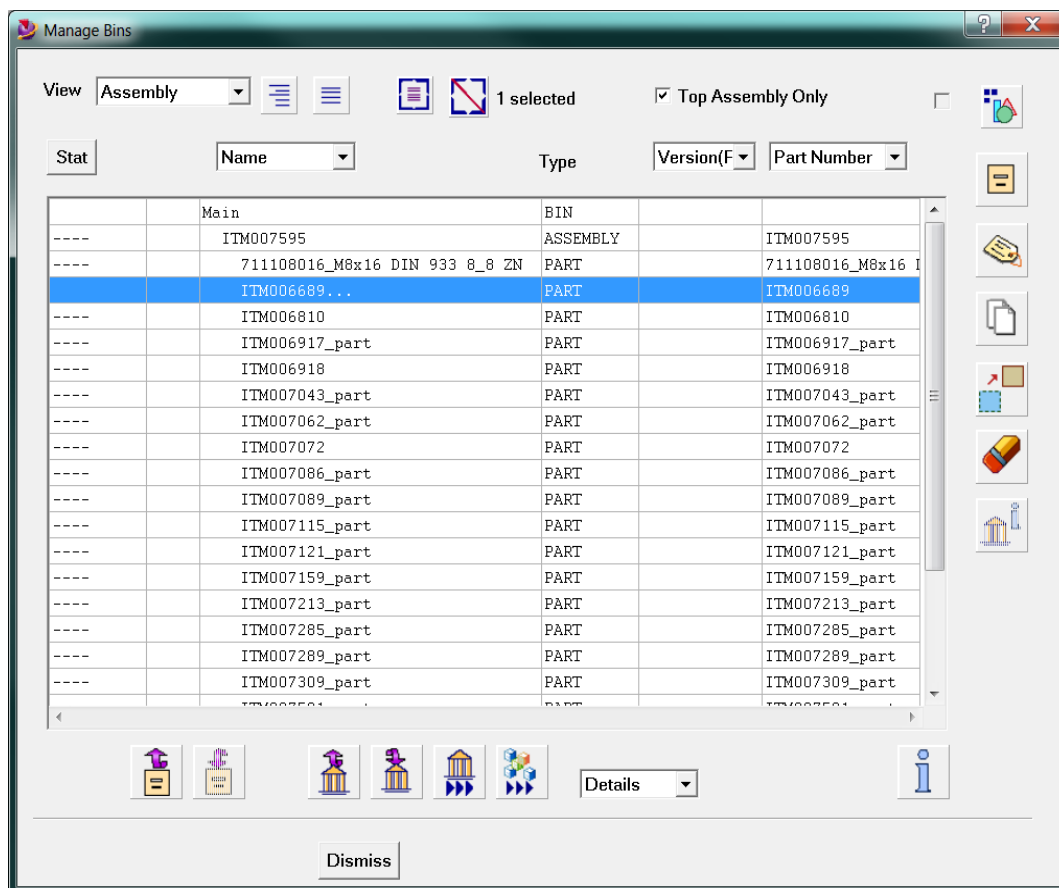
Kokoonpanomallin paneelikokoonpanot korvattiin paneelien osamalleilla. Korvaaminen toteutettiin käyttämällä replace component -komentoa kokoonpanonavigaattorissa. **(Kuva 34.)**



Kuva 34. Paneelikokoonpanojen korvaaminen osamalleilla

Kun kaikki paneelikokoonpanot oli korvattu paneelien osamalleilla, tallennettiin kokoonpano STEP-tiedostomuotoon. Kokoonpano siirrettiin NX I-DEAS-ohjelmaan STEP-tiedostomuodossa. Muutamassa paneelissa näkyi rikkoontuneita pintoja, myös värit katosivat tässä vaiheessa. Värien katoaminen liittyi osamallien käyttöön. Jostakin syystä osamallin värit eivät tallentuneet STEP-tiedostomuotoon, vaikka käytettiin värejä tukevaa STEP AP214 protokollaa.

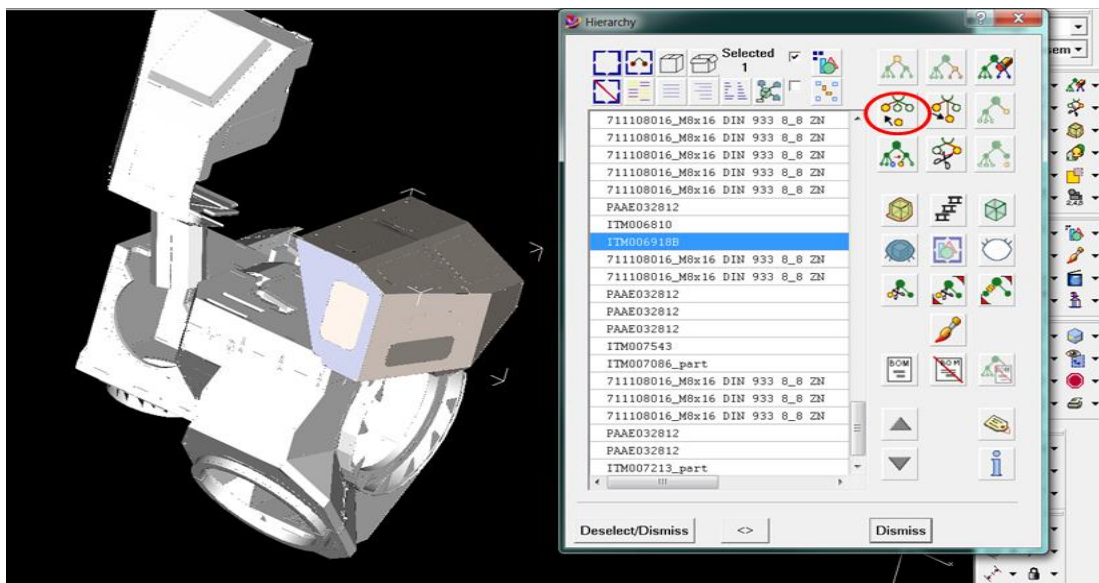
3D-mallien värit eivät kuitenkaan olleet asiakkaalle välttämättömiä. Tärkeintä oli, ettei paneelien pintoja puuttunut, ja että rikkonaisten pintojen viivageometria näkyi piirustuksissa tehtäessä. Seuraavaksi tarkistettiin vielä kokoonpanon rakenne. Kokoonpanon osaluettelo rajoittui nyt paneelitasolle. **(Kuva 35.)**



Kuva 35. Kokoonpanon rakenne

4.5 Muutoksia kokoonpanoon

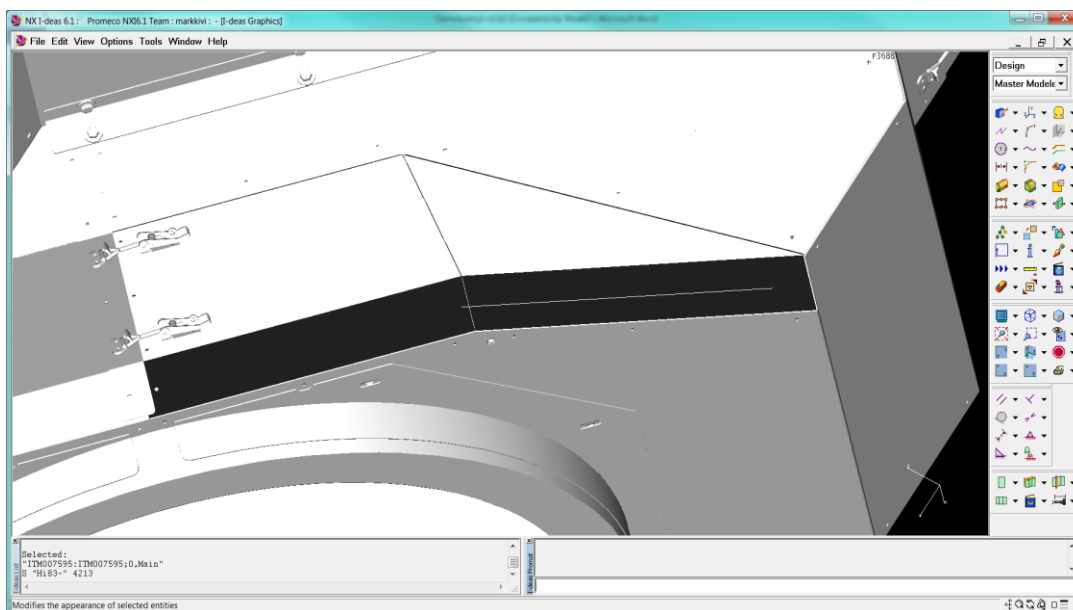
Kaikki alkoi jo olla valmista, kun asiakas halusi vielä muutoksia kahteen paneeliin. Paneeleista saatiin STEP-mallit, joista tehtiin osamallit SolidWorks 2011-ohjelmassa. Sitten paneelit siirrettiin STEP-tiedostoina NX I-DEAS-ohjelmaan, jossa kokoonpanon vanhat paneelit korvattiin uusilla paneeleilla. Paneeleiden 3D-mallien korvaaminen tapahtui valitsemalla vanha paneeli kokoonpanohierarkiasta ja käyttämällä replace-komentoa. **(Kuva 36.)** Sitten valittiin korvaava paneeli vanhan paneelin tilalle. Kun käytetään replace-komentoa, kokoonpanon osat pysyvät oikeilla paikoillaan. Uusi osa sijoittuu kokoonpanossa samaan paikkaan, missä vanha osa sijaitsee.



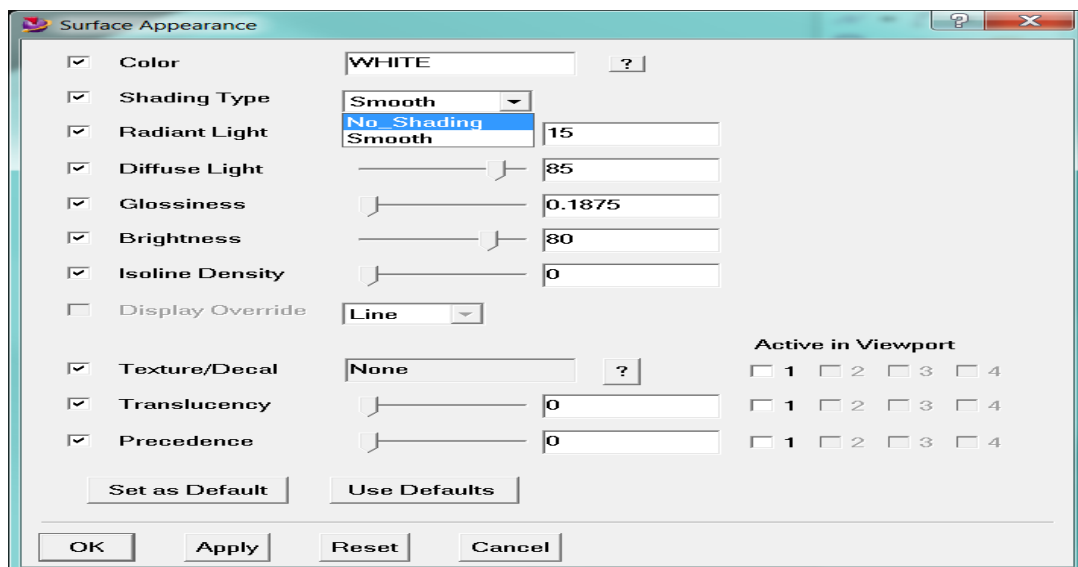
Kuva 36. Paneelin korvaaminen NX I-DEAS-ohjelmassa

4.6 Pintavirheet tiedonsiirrossa

NX I-DEAS-ohjelma saattoi sekoittaa värin varjostuksen tiedonsiirrossa, josta seurasi pintavirheitä. Pintavirheet pystyttiin korjaamaan poistamalla varjostus käytöstä. **(Kuva 38.)** Alla olevassa kuvassa on korjattu kaksi suurempaa pintaa tummien pintojen yläpuolelta tällä menetelmällä. **(Kuva 37.)**



Kuva 37. Pintavirheiden korjaaminen



Kuva 38. Varjostuksen poistaminen käytöstä.

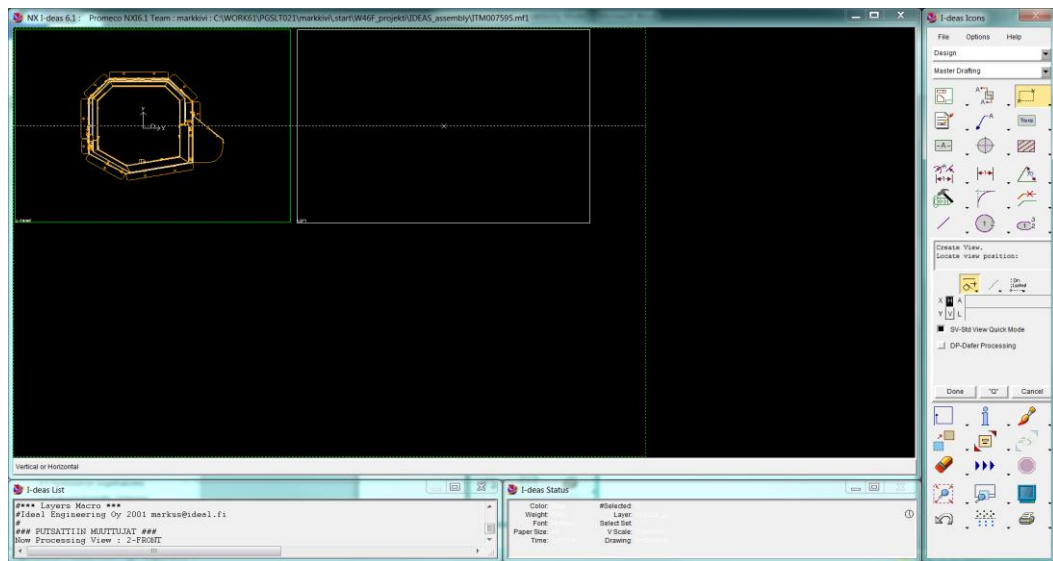
5 VARAOSAPIIRUSTUKSET

NX I-DEAS-ohjelmalla tehtiin paneeleiden 3D-mallien pohjalta varaosapiirustukset. Varaosapiirustukset tehtiin jokaisesta lämpöeristyspaneelistä. Lisäksi kokoonpanosta tehtiin vielä oma varaosapiirustuksensa.

Varaosapiirustuksen on tarkoitus palvella asiakkaan huolto-organisaatiota. Kun kunnossapitotiimi löytää lämpöeristyspaneelin, joka on tullut tiensä päähän, voidaan varaosapiirustuksesta nähdä, mikä paneeli on kyseessä ja tilata uusi paneeli vanhan tilalle.

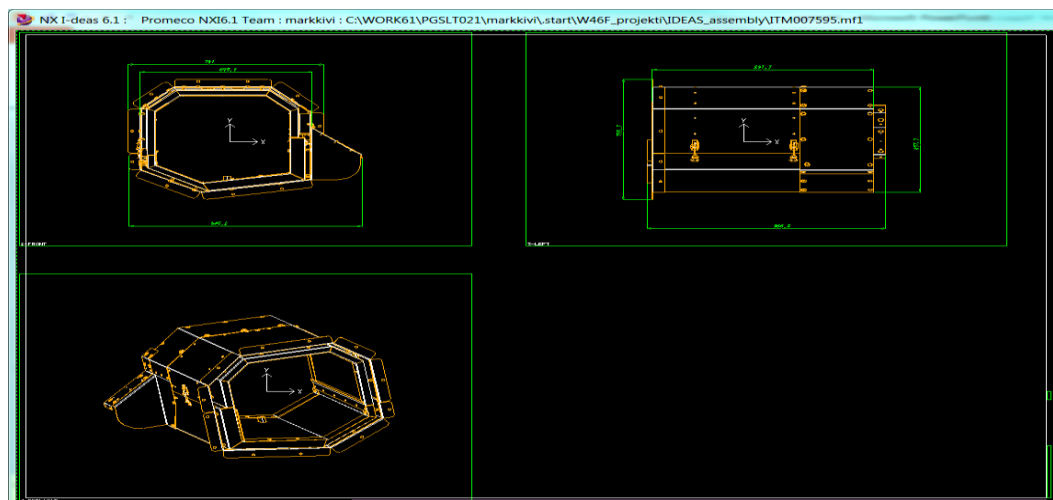
Varaosapiirustuksesta tuli selvittää paneelin äärimitat, joista selviää minkä kokoisesta paneelistä on kysymys. Lisäksi varaosapiirustuksesta oli käytävä ilmi paneelin paino. Näitä tietoja tarvitaan paneelin kuljetuksessa.

NX I-DEAS-ohjelmassa piirustukset tehtiin Master drafting -tilassa. Kuvantojen geometrian ohjelma otti siitä 3D-mallista, joka oli aktiivisena siirryttäessä Master drafting -tilaan. Piirustusten tekeminen NX I-DEAS-ohjelmassa alkoi piirustusarokin valinnalla. Piirustusarkki valittiin siten, että tilaa oli käytettävissä tarpeeksi selkeiden kuvantojen tekemiseen. Suurille paneeleille valittiin piirustusarkiksi A1-kokoinen piirustusarkki. Seuraavaksi rajattiin ikkuna pääkuvannolle, josta projisoitiin tarvittava määrä kuvantoja mitoittamista varten. Kuvannot skaalautuivat automaattisesti ikkunoiden koon mukaan. **(Kuva 39.)**



Kuva 39. Kuvantojen luominen

Varaosapiirustuksissa paneelit mitoitettiin siten, että piirustuksista kävi ilmi paneelien päämitat esim. leveys ja korkeus. Lisäksi piirustukseen lisättiin yksi vapaakuvanto, jonka on tarkoitus antaa yhdellä silmäyksellä kokonaiskuva paneelin geometriasta. Alla olevassa kuvassa näkyy erään paneelin varaosapiirustus. (**Kuva 40.**)



Kuva 40. Varaosapiirustus

6 TUOTETIEDONHALLINTA

Tuotetiedonhallinnalla tarkoitetaan järjestelmää, jolla voidaan arkistoida, jakaa ja päivittää kaikki tarpeellinen tieto yrityksen tuotteista. Puhuttaessa tuotetiedon hallinnasta käytetään usein lyhennettä PDM, joka on lyhenne sanoista Product data management. Tuotetiedonhallinnan tarkoituksena on hallita kaikkia yrityksen tuotteisiin liittyvää tietoa. PDM-ohjelmiston avulla pystytään pitämään kaikki yrityksen tuotteisiin ja toimintaan liittyvät dokumentit järjestyksessä, ajan tasalla ja kaikkien niitä käyttävien henkilöiden saatavilla. Yrityksen tuotteet tallennetaan PDM-järjestelmään nimikkeinä. Vaikka jokainen tuote on oma nimikkeensä, siihen kuuluu vielä joukko tuotekohtaisia nimikkeitä esim. piirustukset, osaluettelo, valmistusohjeet ja 3D-malli. **(Kuva 41.)**



Kuva 41. Tuotenimike

6.1 Nimikkeiden hallinta PDM-järjestelmässä

Yksi nimike voi pitää sisällään suuren määrän siihen liittyviä nimikkeitä. Nimike voi olla kokoonpano, joka sisältää alikokoonpanonimikkeitä, ja niiden alta löytyy vielä tuotenimikkeitä.

Nimikkeiden sisältämiä tietoja kutsutaan attribuuteiksi. Attribuutteja ovat tuotenimikkeessä esim. tuotteen kuvaus ja tunnistus. Piirustuksen attribuutteja ovat esim. osan paino piirustusnumero. PDM-järjestelmässä nimikkeitä voidaan etsiä eri attribuuteilla. Siksi on tärkeää, että nimikkeiden attribuutit on ennalta määritel-

ty mahdollisimman tarkkaan. Usein nimikkeen attribuutteja määriteltäessä attribuutteja ei voi käsin kirjoittaa, vaan ne valitaan vetovalikosta. Näin vältetään ongelma jossa attribuutti on kirjoitettu usealla eri tyylillä ja oikean nimikkeen etsiminen ei tästä syystä onnistu.

Kun tuotenimike luodaan, se saa automaattisesti oman nimikekohtaisen tunniste. Tunniste sisältää kirjaimia ja numeroita. Tunniste alkaa usein kirjaimilla, jotka ovat yrityskohtaisia ja niiden jälkeen seuraa juokseva numero. Kirjaimilla erotetaan eri yritysten ja osastojen väliset tunnisteet ja juokseva numero varmistaa, ettei järjestelmään pääse syntymään kahta samannimistä nimikettä. Pelkän tunnisteiden avulla ei kuitenkaan tiedetä, mikä tuote on kyseessä. Siksi nimikkeelle on annettava myös kuvaus, jossa kerrotaan tuotteen nimi siten, että kaikki ymmärtävät mikä tuote on kyseessä.

6.2 Nimikkeiden revisiointi ja variantit

Nimikkeillä on aina oma versiotunnisteensa. Tätä versiotunnistetta kutsutaan revisioksi. Kun hyväksyttyyn ja käytössä olevaan nimikkeeseen halutaan tehdä muutoksia, tehdään siitä uusi revisio. Kun nimikkeestä tehdään uusi revisio, kopioituvat kaikki nimikkeeseen kuuluvat tiedot ja tiedostot vanhasta revisiosta uuteen revisioon. Järjestelmä nimeää revision käyttäen seuraavaa vapaata revisiotunnistetta. Revisiotunniste voi olla numero tai kirjain järjestelmän asetuksista riippuen. Revisiomuutos voi olla esim. rev.A--> rev.B.

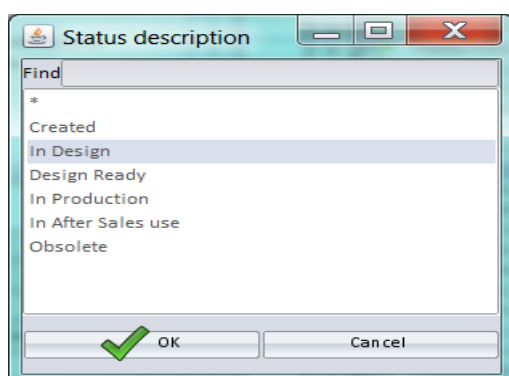
Kun nimikkeen uudelle revisiolle on tehty tarvittavat muutokset, lähetetään revisio hyväksyttäväksi. Hyväksymisprosessin suorittava henkilö ei saa olla sama kuin uuden revision tehnyt henkilö. Yleensä yrityksessä hyväksynnän suorittaa kyseisestä nimikkeestä vastuussa oleva esimies. Hyväksymisprosessissa tarkastetaan, että revision tiedot ovat kunnossa ja revisio voidaan ottaa yleiseen käyttöön. Jos kaikki on kunnossa, tarkastaja hyväksyy revision käyttökelpoiseksi. Nimikkeen tilaa PDM-järjestelmässä ilmaistaan erilaisilla symboleilla. Esim. hyväksyttäväksi lähetetyllä nimikkeellä, jota ei ole vielä hyväksytty näkyy PDM-järjestelmässä keltainen lippu-symboli, joka kuvaa nimikkeen tilaa. **(Kuva 41.)**

Nimikkeestä voidaan myös tehdä rinnakkaisversio, jota taas kutsutaan variantiksi. Varianttia tarvitaan, jos nimikkeestä täytyy tehdä useampi voimassa oleva versio. Nimikkeestä voidaan esimerkiksi tarvita erikieliset versiot, tai tuotteesta voidaan tarvita erivärisiä ja kokoisia versioita. Nimikkeen variantti voidaan luoda suoraan nimikkeen rinnalle, jolloin sen tiedot ovat erillään päänimikkeestä. Variantti voidaan myös luoda nimikkeen revision alle, jolloin myös variantin tiedot päivittyvät, kun nimikkeestä tehdään uusi revisio. ”Variantin tunnisteena käytetään yleensä nimikkeen perään kirjoitettavaa loppuliitettä, johon on jollain tavalla koodattu varioutuvan ominaisuuden arvo” /10, 36-37/

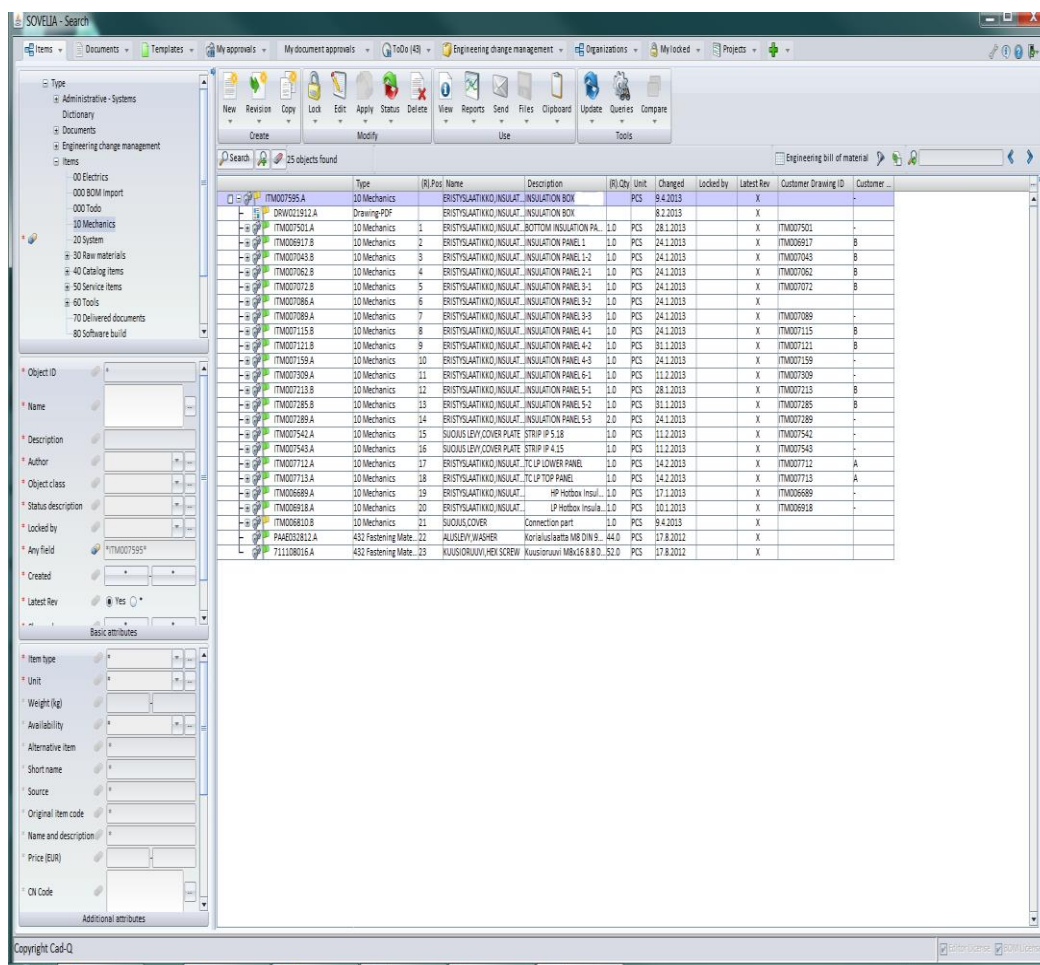
6.3 Sovelia

Promeco Group Oy:llä on käytössä PDM-järjestelmä nimeltä Sovelia. Soveliaan tallennettiin tässä työssä lämpöeristyspaneelien varaosapiirustukset.

Sovelia on Cad-Q:n kehittämä java-pohjainen PDM-järjestelmä. **(Kuva 43.)** Sovelia pitää sisällään myös PLM-järjestelmän, jonka avulla tuotetietoa voidaan hallita koko tuotteen elinkaaren ajalta. Tuotteen suunnittelusta aina huoltoon ja käytöstäpoistoon asti. **(Kuva 42.)** Nimikkeiden tila on oikeastaan attribuutti, jonka avulla eri työtehtävissä olevat henkilöt voivat hakea nimikkeitä, jotka koskevat heidän työtehtäviään. Esim. suunnittelija voi hakea nimikkeitä, joiden suunnittelu on kesken, tai työnjohtaja voi hakea nimikkeitä, jotka ovat parhaillaan tuotannossa.



Kuva 42. Nimikkeiden elinkaarivaiheita



Kuva 43. Sovelian käyttöliittymä

Soveliassa Promeco Group Oy:n nimikkeillä on tunnisteissa etuliite ITM, jonka jälkeen seuraa juokseva numero. Tunnisteen lopussa oleva kirjain ilmoittaa, mikä revisio on tällä hetkellä käytössä. Nimikkeiden kokoonpanorakenne on yksinkertainen. Ylimpänä ikkunassa näkyy kokoonpanonimike, jonka alta löytyy ”+” painiketta klikkaamalla paneelitason näkymä. Jokaisen paneelin alta löytyy kaikki paneelikokoonpanon komponentit ja komponenttien alta löytyy kyseiseen komponenttiin liittyvät dokumentit, kuten materiaalitiedot, työpiirustus ja valmistuksessa käytettävä dxf-tiedosto. Kokoonpanonimikkeen jokaiselta tasolta löytyy kyseisen tason piirustukset. Paneelitasolla näkyy tuotteen kokoonpanopiirustus ja jokaisen paneelin alta löytyy vastaavasti paneelikohtainen kokoonpanopiirustus. Nimikentässä näkyvän lipun väri ilmaisee nimikkeen revision tilaa. Vihreällä lipulla

merkityissä nimikkeissä on hyväksytty revisio, joka on tuotannossa ja keltaisella lipulla merkityissä nimikkeissä revisio on hyväksytty, mutta ei ole vielä tuotannossa. **(Kuva 43.)**

Nimikkeet on luokiteltu järjestelmään nimiketyypeittäin. Mekaaniset osat, kuten paneelit ja niihin kuuluvat levyosat kuuluvat ryhmään 10-Mechanics, piirustukset kuuluvat ryhmään drawing-pdf, levyosien leikkaamisessa käytettävä dxf-tiedosto kuuluu luokkaan geometric file. Lisäksi levymateriaaleilla ja kiinnityskomponenteilla on omat ryhmänsä. Tämän ryhmittelyn avulla käyttäjä voi valita nimiketyypiksi esim. drawing-pdf ja kirjoittaa etsimänsä piirustuksen tunnisteen hakukenttään.

Soveliassa nimikkeitä voidaan etsiä lukuisilla eri attribuuteilla. Nimiketyypin ja tunnisteen lisäksi, voidaan nimikkeitä hakea esim. tekijän nimellä, luontipäivänmäärällä, muokauspäivänmäärällä, nimikkeen tilalla, nimikkeen nimellä ja nimikkeen kuvauksella. Nimikkeiden löytämisen kannalta onkin tärkeää, että nimikettä luodessa määritellään nimikkeen attribuutit siten, että nimike on myöhemmin helppo löytää järjestelmästä.

(R) Pos	Name	Description	(R) Qty	Unit	Changed	Locked by	Latest Rev	Customer Drawing ID
1	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION BOX	1.0	PCS	8.2.2013		X	
1	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007501
1	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	23.1.2013		X	
1	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007478
2	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007487
3	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007491
4	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	BOTTOM INSULATION PA...	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007494
5	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	PLATE BP 1.10	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007495
6	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	PLATE BP 1.11	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007496
7	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	PLATE BP 1.12	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007497
8	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	PLATE BP 1.13	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007498
9	JALKA FOOT	PLATE BP 1.20	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007499
10	JALKA FOOT	PLATE BP 1.21	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007500
10	JALKA FOOT	PLATE BP 1.21			23.1.2013		X	
1	RUOSTUMATON TERASLEV...	RST-levy 3,0*1000*2000...	0.2	KG	5.3.2012		X	
11	ALUSLEVY, WASHER	Korjaluslaatta M8 DIN 9...	17.0	PCS	17.8.2012		X	
12	KUUSIORUUVI, HEX SCREW	Kuusioruuvi M8x16 8.8 D...	17.0	PCS	17.8.2012		X	
2	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 1	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM006917
3	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 1-2	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007043
4	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 2-1	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007062
5	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 3-1	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007072
6	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 3-2	1.0	PCS	24.1.2013		X	
7	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 3-3	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007089
8	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 4-1	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007115
9	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 4-2	1.0	PCS	31.1.2013		X	ITM007121
10	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 4-3	1.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007159
11	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 6-1	1.0	PCS	11.2.2013		X	ITM007309
12	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 5-1	1.0	PCS	28.1.2013		X	ITM007213
13	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 5-2	1.0	PCS	31.1.2013		X	ITM007285
14	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	INSULATION PANEL 5-3	2.0	PCS	24.1.2013		X	ITM007289
15	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	STRIP IP 5.18	1.0	PCS	11.2.2013		X	ITM007542
16	SUOJUS LEVY, COVER PLATE	STRIP IP 4.15	1.0	PCS	11.2.2013		X	ITM007543
17	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	TC LP LOWER PANEL	1.0	PCS	14.2.2013		X	ITM007712
18	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	TC LP TOP PANEL	1.0	PCS	14.2.2013		X	ITM007713
19	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	LP Hotbox Insul...	1.0	PCS	17.1.2013		X	ITM006589
20	ERISTYSLAATIKKO, INSULAT...	LP Hotbox Insul...	1.0	PCS	10.1.2013		X	ITM006918
21	SUOJUS, COVER	Connection part	1.0	PCS	9.4.2013		X	
22	ALUSLEVY, WASHER	Korjaluslaatta M8 DIN 9...	44.0	PCS	17.8.2012		X	
23	KUUSIORUUVI, HEX SCREW	Kuusioruuvi M8x16 8.8 D...	52.0	PCS	17.8.2012		X	

Kuva 44. Kokoonpanonimikkeen rakenne Soveliassa

6.4 Varaosapiirustusten tallentaminen soveliaan

Lähes kaikki nimikkeet olivat jo hyväksytyjä ja tuotannossa. Kaikki tuotantotilassa olleet nimikkeet täytyi revisioida uudelleen, jotta varaosapiirustuksen lisääminen oli mahdollista. Revisioidun jälkeen varaosapiirustukset lisättiin jokaiselle paneelinimikkeelle, sekä kokoonpanonimikkeelle. Varaosapiirustusta lisättäessä, valittiin ensin attribuuttiluokka, johon piirustus sijoittuu. Varaosapiirustuksen attribuuttiluokaksi valittiin drawing-PDF. Jokaiselle nimikkeelle valittiin sitten oikea varaosapiirustus PDF-tiedostona.

Revisioituille nimikkeille annettiin vielä asiakkaan nimike- ja piirustuskoodit. Lopuksi nimikkeille valittiin hyväksyjä, jonka tehtävä oli tarkistaa ja hyväksyä nimikkeet PDM-järjestelmään.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

7.1 Ohutlevymallintaminen ja kokoonpanot

Eri CAD-ohjelmissa ohutlevymallinnusominaisuudet eroavat toisistaan todella paljon. Varsinkin NX I-DEAS-ohjelmistossa ohutlevymallien tekeminen on todella hidasta ja huomattavasti vaikeampaa, kuin esimerkiksi SolidWorks-ohjelmalla. Ohutlevymallien tekeminen NX I-DEAS-ohjelmalla vaatii suunnittelijalta ammattitaitoa sekä ohjelman käytöstä, että ohutlevyosien suunnittelusta.

Yhtenä ongelmana näen ohutlevymallien kokoonpanorakenteen rajoittamisen paneelitasolle. Koska ohutlevykokoonpanoa ei pysty mallintamaan yhtenä komponenttina, täytyy kokoonpano rakentaa levyosista. Kokoonpanon osaluettelo täytyy kuitenkin rajoittaa paneelitasolle. Paneelin osaluettelossa olevista komponenteista päästään eroon tallentamalla paneelin 3D-malli yhdeksi osamalliksi. Kokoonpano voidaan kasata käyttäen komponentteina paneelien osamalleja. Näin toimimalla kokoonpanon rakenne ja osaluettelo saadaan rajattua paneelitasolle. Kokoonpanomallin tallentaminen osamalliksi saattaa kuitenkin kadottaa pintoja 3D-mallista. SolidWorks-ohjelmassa tallentaminen osamalliksi kadotti joskus 3D-mallin pintageometriaa kohdista, joissa oli pyörityksiä. NX 7.5 ohjelmassa voidaan tallentaa kokoonpano JT-tiedostona, joka on pikakatselumalli. Se muuttaa kokoonpanon osamalliksi ja tuntuu todella luotettavalta tiedostomuodolta laadullisesti.

Hyvien ja laadukkaiden 3D-mallien rakentaminen useita eri CAD-ohjelmia käyttäen on aina haastavaa. Seuraavassa vastaavassa projektissa valitsisin kohdeohjelmaksi, jolla työ saatetaan loppuun jonkin toisen ohjelman, kuin NX-IDEAS, koska tiedonsiirto NX I-DEAS-ohjelmaan vaikuttaa olevan todella virhealtista. Vaikka suurin osa tiedonsiirrossa syntyneistä pintavirheistä pystytään korjaamaan, on 3D-mallin korjaaminen todella aikaa vievä prosessi, jota tulisi välttää. Paneelitason kokoonpano voitaisiin siirtää vaikka SolidWorks- tai NX-ohjelmaan. Ohjelmien välisessä tiedonsiirrossa suosittelen käyttämään STEP AP214 tiedostomuotoa. Tiedonsiirrossa tapahtuneiden virheiden määrä oli pienin käytettäessä

STEP-tiedostoja tiedonsiirrossa. Toinen hyvä puoli STEP-tiedostojen käytössä on se, että useimmat CAD-ohjelmat tukevat STEP-tiedostoja.

7.2 Vastaavien projektien toteuttaminen tulevaisuudessa

Koska suunnitteluohjelmien lisenssit ovat kalliita, suunnitteluohjelmia on käytössä aina rajallinen määrä. Lisäksi suunnittelijat ovat keskittyneet käyttämään kukin yhtä tiettyä suunnitteluohjelmaa. Olisi varmasti hyvä, että kaikki suunnittelijat keskittyisivät työskentelemään samalla CAD-ohjelmistolla. Tämä vaatisi kuitenkin usean suunnittelijan kohdalla uuden CAD-ohjelman opettelemista ja hidastaisi työntekoa huomattavasti. En näe tätä tällä hetkellä realistisena mahdollisuutena tiukkojen projektiaikataulujen vuoksi.

Suurten, paljon resursseja vaativien suunnitteluprojektien toteuttaminen tulisikin ajaa läpi tiiviillä yhteistyöllä ja selkeällä projektisuunnitelmalla. Tässä opinnäytetyössä käsittelemäni projektia voidaan varmasti hyödyntää tulevaisuudessa, ja siten välttää ylimääräinen työ projektin loppuvaiheessa. Ensimmäiseksi tulee selvittää, kuka suunnittelijoista tekee kokoonpanon ja millä CAD-ohjelmalla kokoonpano tehdään. Tulee olla selvillä myös se, voidaanko projekti saattaa loppuun samalla ohjelmalla, vai vaaditaanko tiedonsiirtoa NX I-DEAS-ohjelmaan. Tämä riippuu asiakkaan vaatimuksista. Jos asiakas vaatii NX I-DEAS-ohjelmalla tehtyjä piirustuksia, ei tiedonsiirrolta NX I-DEAS-ohjelmaan voida välttyä.

Kun työnjako on selvillä, jokainen suunnittelija suunnittelee paneelikokoonpanot vastuualueensa mukaisesti. Valmis paneelikokoonpano tallennetaan STEP-tiedostomuotoon tiedonsiirtoa varten. Paneeli tuodaan STEP-tiedostona siihen CAD-ohjelmaan, jolla kokoonpano tehdään. Seuraavaksi muokataan paneelikokoonpanon rakenne paneelitasolle. Komponenttitaso pudotetaan pois paneelin osaluettelosta tallentamalla paneeli osamallina. Kokoonpano toteutetaan käyttäen paneelien osamalleja. Tällä tavalla toteutettuna kokoonpanon osaluettelo on heti kunnossa, eikä kokoonpanon rakenteeseen tarvitse enää tehdä muutoksia. Jos paneelikokoonpano tehdään samalla CAD-ohjelmalla, millä pääkokoonpano tehdään, ei STEP-tiedostoa tarvita tiedonsiirtoon. Sen sijaan paneelikokoonpano olisiikin hyvä tallentaa jo tässä vaiheessa osamalliksi, jota voidaan suoraan käyttää

pääkokoonpanossa. Näin toimimalla säästetään pääkokoonpanoa rakentavan suunnittelijan työaika merkittävästi ja hän voi käyttää suunnitteluaikaansa tehokkaaseen työskentelyyn sen sijasta, että hän joutuisi käyttämään työaikaansa tiedostojen kääntämiseen.

7.3 Loppukommentit

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli haastavaa ja opettavaista kaikilla osa-alueilla. Sain hyvän yleiskuvan siitä, millaisia haasteita eri CAD-ohjelmilla työskentely suunnittelijalle asettaa. Tiedonsiirto eri CAD-ohjelmien välillä ei suinkaan ole aina ongelmaton. Ratkaisevassa asemassa tiedonsiirrossa on käytettävä tiedonsiirtoformaatti ja se, minkä CAD-ohjelmien välillä tiedonsiirto tehdään. Aina ei ole mahdollista päästä virheettömään lopputulokseen. Joskus saattaa olla tarpeellista korjata 3D-mallia tiedonsiirron jälkeen. Tilanteita, joissa 3D-mallia joudutaan korjaamaan tulee kuitenkin välttää.

Projektin toteuttaminen käyttäen useita eri CAD-ohjelmia ei osoittautunut ongelmaksi. Kaikkien suunnittelijoiden tulee kuitenkin olla selvillä siitä, miten projekti etenee ja miten se saatetaan loppuun. Jos projekti voidaan toteuttaa ilman NX IDEAS-ohjelmistoa, suunnittelutyö nopeutuu huomattavasti, ja pintavirheitä tiedonsiirrossa saatetaan välttyä jopa täysin.

Käytössä oleva PDM-järjestelmä, Sovelia osoittautui todella helppokäyttöiseksi ja joustavaksi tuotetiedonhallintajärjestelmäksi. Uskon, että Soveliassa olisi potentiaalia 3D-mallien arkistointiin tulevaisuudessa. Tällä hetkellä 3D-mallit tallennetaan projektikansioihin verkkoasemalle, mutta tiedostomäärän kasvaessa suureksi, voi 3D-mallien etsiminen vaikeutua. Lisäksi verkkoaseman käytössä on vaara, että 3D-malleista on verkkoasemalla useita eri versioita ja saattaa syntyä tilanne, jossa ei tiedetä mikä on uusin 3D-malli tuotteesta. Mihin malliin on tehty viimeisimmät päivitykset?

LÄHTEET

- /1/ Automotive design and production verkkosivu. Viitattu 28.3.2013
<http://www.autofieldguide.com/articles/step-will-it-finally-hit-stride>
- /2/ Cool Utils verkkosivu. What is DWG? Viitattu 29.3.2013
<http://www.coolutils.com/Formats/DWG>
- /3/ Dassault systemes verkkosivu. Sheet metal esittelyvideo. Viitattu 22.3.2013
<http://www.3ds.com/products/catia/solutions/catia-engineering/sheet-metal/>
- /4/ Datakit verkkosivu. The STEP protocols AP203 and 214. Viitattu 28.3.2013
http://www.datakit.com/en/step_protocols.php
- /5/ Desmond, M. Suunnittelija. Promeco group Oy. Haastattelu 29.3.2013
- /6/ Laherto A. kandidaattiyö, ohjeita ohutlevytuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun. Viitattu 1.4.2013
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/59266/nbnfi-fe201002231402.pdf?sequence=3>
- /7/ Lammenaho, J. Suunnittelija. Wärtsilä Oy. Haastattelu. 20.3.2013
- /8/ Machine design. What's new with IGES and STEP 24.5.2007. Viitattu 28.3.2013
<http://machinedesign.com/article/whats-new-with-iges-and-step-0524>
- /9/ Oemenclosure verkkosivu. What is K-factor?, Reverse engineering K-factor, What are bend allowances?. Viitattu 1.4.2013
<http://www.oemenclosure.com/blog/sheet-metal-bending-bend-allowance-and-k-factor/>
- /10/ Peltonen, H., Martio, A. & Sulonen, R. 2002. PDM – Tuotetiedonhallinta. 1.Painos. Helsinki. Edita.
- /11/ Promeco Group Oy perehdytysopas. Viitattu 2.3.2013

- /12/ Qualitytool verkkosivu. Design-Handbook. Viitattu 1.4.2013
<http://www.qualitytool.com/resources/Design-Handbook-Rev3.pdf>
- /13/ Rantala, J. & Asikainen, T. Levysepät. Promeco group Oy. Haastattelu. 8.3.2013
- /14/ Salonen, T. & Sääski, J. Tuotetietostandardin käyttö tuotannossa. 2005. VTT working papers Viitattu 25.3.2013
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W23.pdf>
- /15/ Sheetmetal.me verkkosivu. Viitattu 1.4.2013 <http://sheetmetal.me/outside-setback/>
- /16/ Siiri, K. Levyseppä. Promeco group Oy. Haastattelu 5.3.2013
- /17/ Solidworks verkkosivut. Company information. Viitattu 25.3.2013
http://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm
- /18/ Suurkoivu, J. Levyseppä. Promeco group Oy. Haastattelu 6.3.2013
- /19/ Te connectivity verkkosivu. Viitattu 6.3.2013
<http://www.te.com/catalog/html/en/geometry.html>
- /20/ WorldCAD access verkkosivu. The history of Catia by it's founder, Francis Bernard. Viitattu 25.3.2013
<http://worldcadaccess.typepad.com/blog/2013/03/the-history-of-catia-computer-aided-tri-dimensional-interactive-application-by-its-founder-francis-b.html>