



Kennet Lahti

DOLLY-PERÄVAUNUN 3D-MALLINNUS
JA KEHITYSTYÖ NTM OY:lle

Tekniikka ja liikenne
2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulussa tekniikan ja liikenteen yksikössä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman päättötyönä. Työn toimeksiantajana oli NTM Oy:n Närpiön yksikön perävaunujen suunnitteluosasto. Työn ohjaajana toimi Vaasan ammattikorkeakoulussa lehtori Juha Hantula. Yhteishenkilönä NTM Oy:ssä oli suunnittelija Tom Anderson. Haluan kiittää heitä sujuvasta yhteistyöstä ja työni ohjauksesta. Erityisesti haluan kiittää cad-konsultti Rami Nevalaa, joka järjesti päättötyöaiheen NTM:ltä ja toimi cad-asiantuntijana ja -kouluttajana työn aikana.

Vaasassa 7.4.2010

Kennet Lahti

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kennet Lahti
Opinnäytetyön nimi	Dolly-perävaunun 3D-mallinnus ja kehitystyö NTM Oy:lle
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	38
Ohjaaja	Juha Hantula

Opinnäytetyön päätavoitteena on luoda NTM Oy:lle 3D-malli Dolly-perävaunusta ja samalla kehittää sitä. Kehitystyön tavoitteena on harmonisoida eri variaatioihin tarvittavia osia ja vähentää niiden lukumäärää kustannusten pienentämiseksi.

Lähtökohtana suunnittelutyölle on jo olemassa oleva tuote, joka on suunniteltu AutoCadilla. Toimeksiantajalla on selkeä näkemys tuotteelle tehtävistä muutoksista, joten pääpaino työssä on itse mallintamisessa, variaatioiden rakentamisessa ja tutkimuksessa tehokkaimman toteutustavan löytämiseksi. Ohjelmistona käytetään AutoDesk Inventoria.

Mallinnusmenetelmien tarkastelussa todetaan parhaimmaksi suoritustavaksi Top-Down-menetelmä ja vaunusta luodaan ohjausmalli Multi-body parts -tekniikkaa hyödyntäen. Vaunusta luodaan myös varioidut kokoonpanomallit sekä kokoonpano- ja työ kuvat.

Asiasanat	3D-mallinnus	Top-Down	Inventor
-----------	--------------	----------	----------

VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Kennet Lahti
Title	3D-modeling and Development of Dolly-Trailer for NTM
Year	2010
Language	Finnish
Pages	38
Name of Supervisor	Juha Hantula

The main goal of this study was to make a 3D-model of Dolly-trailer for a company called NTM Oy, and to further develop the structure. The Development work was to be focused on harmonizing parts included in different variations of the product, and to decrease the total number of parts needed, in order to minimize costs.

The starting point for this study was the existing product that had been designed with AutoCad. The company had a clear vision of the modifications they wanted to include in the design, so this study was focused in the modeling work, making the variations and studying the most effective method to produce the model. The software used was Autodesk Inventor.

The conclusion made after studying the different modeling methods was that the Top-Down-modeling is preferred and the model is to be built using Multi-Body parts -technique. Also variable assembly-models have been created and drawings made.

Keywords	3D-modeling	Top-Down	Inventor
----------	-------------	----------	----------

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

ADAPTIIVISUUS	Osamallien välinen viittaus
BLOCK	Yhdeksi elementiksi määritetty joukko luonnoksen piirteitä.
DOLLY	Puoliperävaunun etuosaan liitettävä vaunu, jonka avulla yhdistelmä voidaan kytkeä kuorma-auton jatkeeksi.
FEM (Finite Element Method)	Menetelmä, jonka avulla tilavuusmallille voidaan tehdä lujuustarkastelu.
LUURANKOMALLI	Työtasoista ja luonnoksista koostuva kokonaisuus, jonka ympärille 3-ulottiset mallit rakennetaan.
MULTI-BODY PART	3-ulotteinen malli, joka sisältää useita tilavuus- tai pintamalleja.
SKETCH	Luonnos. Yleensä 2-ulotteinen hahmotelma, johon piirretään ja mitoitetaan halutut muodot.
SOLID BODY	Tilavuusmalli
SURFACE BODY	Pintamalli
WORKPLANE	Aputaso, joka määritellään kolmiulotteisessa avaruudessa.

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoite	7
1.2 Tutkimusmenetelmä.....	8
2 NTM Oy	9
3 CAD-maailmat	9
4 MALLINNUSMENETELMÄT	11
4.1 Bottom-Up	11
4.2 Top-Down	11
4.3 Multi-body parts.....	13
5 DOLLY-PERÄVAUNUN MALLINNUS	14
5.1 Ohjausmalli	14
5.1.1 Skeleton-rakenne.....	14
5.1.2 Solidit	19
5.1.3 Vaihtoehtoiset osat	27
5.2 Kokoonpanot.....	29
5.2.1 Variointi	29
5.2.2 Rungon variointi	30
5.2.3 Aisan variointi.....	31
6 TIEDOSTONHALLINTA	33
6.1 eNumerot.....	33
7 TULOSTEN TARKASTELUA	36
LÄHDELUETTELO	38

1 JOHDANTO

NTM:lla on ollut pitkään käytössä AutoCad-suunnitteluohjelmisto. Kehityksen käydessä kohti yhä monimutkaisempia kokonaisuuksia on yrityksessä tehty strateginen linjaus siirtyä havainnollisempaan 3D-mallinnukseen tuotteiden suunnittelussa. Luontaisena jatkumona käytössä palvelleille Autodeskin tuotteille on uudeksi ohjelmistoksi valittu saman ohjelmistotalon tuottama Inventor-ohjelmisto. 3D-maailmaan siirtyminen mahdollistaa tuotteiden paremman havainnollistamisen ennen tuotantoa. Myös erilaisten toimintojen, liikkeiden, yhteensopivuuksien ja törmäyksien tarkastelu on mahdollista. Näin päästään jo suunnittelupöydällä lähemmäksi valmista tuotetta ja vältetään virheitä, jotka tuotantovaiheessa aiheuttaisivat ylimääräisiä kustannuksia.

Suunnittelutehtävissä 3D-ohjelmistot ovat yleistymässä yhä voimakkaammin. Siirtyminen perinteisestä 2D-suunnittelusta ei ole kuitenkaan yksinkertaista eikä aina perusteltua. Kokonaan uuden ajattelu- ja toimintatavan oppiminen on aikaa vievää ja joskus turhauttavaakin. Myös mahdollinen muutosvastarinta sekä tuotannon paineet hankaloittavat siirtymistä uuteen systeemiin. On myös huomattava, että vanhan ja uuden ohjelmiston on toimittava rinnakkain, jos kaikkia vahoja piirustuksia ei haluta siirtää uuteen systeemiin. Näin vanhat piirustukset säilyvät käyttökelpoisina.

1.1 Tavoite

Työn tavoitteena on tutkia, mikä on käytössä olevan AutoDesk Inventorin tehokain mallinnusmenetelmä, joka soveltuu perävaunusuunnitteluun. Työn kohteena on jo olemassa oleva AutoCadilla suunniteltu tuote, jota on myös tarkoitus kehittää ja harmonisoida työn aikana. Lähtökohtaisesti NTM haluaa muuttaa ns. Dolly-perävaunun rakennetta niin, että aiemmin hitsaamalla kolmesta eri osasta valmistetut runkopalkit valmistettaisiin jatkossa yhdestä standardi HE-A-palkista. Samojen runkopalkkien tulee soveltua myös vaunun eri variaatioihin. Myös osien ko-

konais määrää pyritään mahdollisuuksien mukaan vähentämään ja ainevahvuuksia pienentämään.

Työn tarkoituksena on mallintaa Inventorilla varioitava kokoonpanomalli, jonka eri variaatiot sisältävät mahdollisimman paljon yhteneviä osia. Näillä toimenpiteillä pyritään vähentämään sekä valmistus- että varastointikustannuksia. Suunnittelun yhteydessä on myös tarkoitus ottaa käyttöön tiedostojen hallintaan ja nimeämiseen tarkoitettu eNumerot-ohjelma.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa käsitellään käytössä olevien suunnitteluohjelmien ominaisuuksia ja eroja ja käydään läpi ohjelmiston tarjoamia eri mallinnusvaihtoehtoja ja puntaroidaan kunkin soveltuvuutta ko. työhön. Eri menetelmistä tehdään selvitys ja paras vaihtoehto valitaan suunnittelutyön suoritustavaksi.

Käytännön osuudessa mallinnetaan ko. Dolly-perävaunu ja suunnitellaan tarvittavat muutokset asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Vaunusta luodaan kokoonpanomalli, joka sisältää kaksi eri leveys- ja vetopuomivaihtoehtoa, eli yhteensä neljä erilaista kokoonpanoa. Osamallit nimetään ja luodaan työ-, kokoonpanokuvat ja osaluettelo.

2 NTM Oy

NTM on vuonna 1950 perustettu yritys, joka valmistaa perävaunuja ja jätepakkaajia. Närpiössä sijaitseva tehdas työllistää noin 300 henkilöä. Yritys on toimialallaan yksi Pohjoismaiden suurimmista. NTM:n markkina-alue käsittää Pohjoismaiden lisäksi myös Ison-Britannian ja Baltian maat. NTM:llä on tytäryhtiöt Ruotsissa, Virossa ja Iso-Britanniassa. Liikevaihto vuonna 2004 oli noin 28 miljoonaa euroa. /1/

3 CAD-maailmat

Kun harkitaan siirtymistä 2D-piirtämisestä 3D-mallinnukseen, on syytä pohtia muutoksen tarpeellisuutta. Yleinen harhakuvitelma on, että muutos vie automaattisesti parempaan ja helpompaan suuntaan ilman suurempia ponnisteluja. Kumpikin teknologia tarjoaa omat mahdollisuutensa ja rajoituksensa, joten paremmuus on puntaroitava tapauskohtaisesti. Voidaan sanoa, että 2D-piirtämisessä on helpompi päästä alkuun, ja yksinkertainen kappale on nopeasti hahmoteltu. Toisaalta sillä voi myös piirtää kappaleesta, esimerkiksi ristiriitaisia kuvantoja, jolloin suunniteltu kappale voikin olla käytännössä mahdoton toteuttaa. Yksi 3D-mallinnuksen ominaisuus on, että kaikki kappaleet ja niiden piirteet tulee olla tarkasti määriteltyjä kun taas 2D:ssä voidaan tietoisesti "fuskata" ja jättää jotain epäolennaisia piirtämättä. Tämäkin seikka voi olla hyvä tai huono asia täysin käyttäjästä riippuen.

Vaikka 3D-mallinnus voi tuntua kovatöiseltä, voi tehdystä työstä olla monia etuja. Kappaletta muutettaessa päivittyvät automaattisesti kokoonpanot, työkuvat ja kaikki eri kuvannot piirustuksissa. 2D-kuvien muuttaminen on hitaampaa, koska muutokset joudutaan tekemään yksitellen jokaiseen kuvantoon. Tässä on myös suurempi mahdollisuus tehdä virheitä, jolloin kuvannoista tulee ristiriitaisia. 3D-mallinnuksessa käytettävästä kokoonpanosta on mahdollista luoda osaluettelo, joka päivittyy automaattisesti, kun osia vaihdetaan tai niiden määrät muuttuvat. Myös erilaisten osa- ja kokoonpanovariaatioiden tekeminen on mahdollista, jol-

loin voidaan valita kulloinkin tarvittava variaatio ilman, että mallia tarvitsee erikseen muuttaa. 3D-mallinnuksen parametrisuudella voidaan myös asettaa riippuvuussuhteita mittojen välille tai ohjata mallia esim. Excel-taulukon avulla. Parametrisyys onkin yksi suurimmista 3D-mallinnuksen tarjoamista eduista. /2/ Koonpanotasolla voidaan tehdä törmäystarkastelu, jolla voidaan tarkistaa, että kappaleet eivät ole sisäkkäin. Tällaiset sisäkkäisyydet aiheuttaisivat luonnollisesti ongelmia tuotannossa. Tilavuusmalleille voidaan myös suorittaa lujuustarkastelu eli FEM-analyysi ja tiedot, kuten kappaleen massa, hitausmomentti ja painopisteen sijainti ovat saatavilla, jos käytettävän materiaalin ominaisuudet ovat tiedossa.

2D-kuvien siirtäminen Inventoriin on mahdollista, mutta ei yleensä käytännöllistä. AutoCadilla piiretyt dwg- ja dxf-kuvat voidaan tuoda Inventorin luonnoksiin, jonka jälkeen niitä voidaan käyttää piirteiden luontiin. Tämä kuitenkin edellyttää, että piirustus on tehty oikeaoppisesti ja kaikki viivojen päät kiinnittyvät toisiinsa, muuten sketchiä joudutaan muokkaamaan. Tämä on yleensä niin työlästä, että käytännöllisempää on piirtää ja mitoittaa luonnos alusta asti Inventorissa. Näin saadaan paremmin toimiva ja muokattavissa oleva luonnos.

4 MALLINNUSMENETELMÄT

3D-mallinnuksessa on erilaisia lähestymistapoja. Yleensä mallinnusmenetelmät jaetaan kahteen ryhmään: bottom-up ja top-down -menetelmiin. Tähän karkeaan jaotteluun liittyy myös lukuisia ala- ja rinnakkaiskäsitteitä.

4.1 Bottom-Up

Bottom-up-menetelmällä tarkoitetaan mallinnustapaa, jossa osamallit luodaan ensin yksitellen toisistaan riippumattomiksi komponenteiksi, jonka jälkeen luodaan kokoonpano. Kokoonpanoon lisätään osamallit, ja ne liitetään kokoonpanorajoitteilla toisiinsa. Tällä menetelmällä luodussa kokoonpanossa osat ovat toisistaan riippumattomia. Inventorissa voidaan myös luoda osamalleja kokoonpanon sisällä. Tällöin luodaan uusi kappale käyttäen hyväksi jo olemassa olevan kappaleen pintoja. Valmiita piirteitä voidaan myös käyttää hyväksi, eli ns. projisoida uuteen kappaleeseen. Näin osille muodostuu riippuvuussuhteita, jolloin esim. mittaluvun muutos ensimmäisessä kappaleessa vaikuttaa myös seuraavaan, ja näin osat pysyvät yhteensopivina. Inventorissa tästä käytetään nimitystä *adaptiivisuus*. Ongelmia alkaa kuitenkin syntyä, kun jokin projisoitu piirre katoaa mallista. Esimerkiksi jos johonkin projisoituun nurkkasärmään lisätäänkin pyöristys, tai jos piirre poistetaan kokonaan, adaptiivisuus katoaa. Luonnos, jossa sitä on käytetty, muuttuu täten puutteelliseksi. Tästä seuraa usein mallin rikkoontuminen, jonka korjaaminen saattaa olla erittäin työlästä.

4.2 Top-Down

Top-Down-nimityksellä kuvataan mallinnusmenetelmää, jossa ensin pyritään hahmottelemaan suurempi kokonaisuus, joka myöhemmin suunnittelun edetessä jaetaan pienempiin osiin. Tämä ajatusmalli sopii varsinkin suuriin kokonaisuuksiin, jotka sisältävät alikokoonpanoja ja joita työstää yhtä aikaa useampia suunnittelijoita. Top-Down-menetelmän kantavana ajatuksena on, että suunniteltavaa ko-

konaisuutta ohjataan yhdellä mallilla, johon on määritelty tuotteen strategiset tiedot suunnittelun alkuvaiheessa.

Yksi tapa hallita tietoja Top-Down-suunnittelussa on Skeleton- eli luurankomalli. Tällaiseksi voidaan kutsua osatiedostoa, joka sisältää useita luonnoksia ja aputasoja, jotka määrittävät suunniteltavan tuotteen pääpiirteet ja tärkeimmät mitat. Periaatteena on, että osat kiinnittyvät luurankomalliin ja rakentuvat siihen tehtyjen luonnosten päälle. Näin osat eivät ole riippuvaisia toisistaan, vaan pelkästään luurankomallista. Kun luurankomallin mittoja muutetaan, päivittyvät kaikki osatiedostot sekä kokoonpanot. Tästä on hyötyä erityisesti tuotekehitysvaiheessa, kun mittasuhteita haetaan kohdalleen, muutos voidaan tehdä yhteen paikkaan ja kaikkia osia ei tarvitse muuttaa erikseen. Lisäksi osien vaihtaminen on helppoa, kun kokoonpanoja ei ole rakennettu osien välisillä kokoonpanorajoitteilla.

Perinteisellä Bottom-Up-menetelmällä rakennetussa kokoonpanossa osat ovat yleensä sidoksissa toisiinsa, kun mallia tehdessä on osiin muodostettu adaptiivisia piirteitä. Tällaiseen malliin on hyvin hankala tehdä suurempia muutoksia, ja osien vaihtaminen tai poistaminen kokoonpanossa katkaisee siteet osien välillä yleensä rikkoen mallin.

"Luurankomallin avulla voidaan esittää tuotteen perusrakenne ja mitat yksinkertaistettuna esityksenä. Siinä voidaan kuvata esimerkiksi nivelten paikat ja samalla eri komponenttien asennuskohdat. Luurankomallin avulla saadaan tehtyä kokoonpanomallit niin, että osien geometria ei vaikuta toisiin osiin ollenkaan ja tarpeettomilta riippuvuuksilta vältytään."/3/

Inventorissa voidaan tehdä erilaisia apumalleja osatiedostoon. Yksi vaihtoehto on tehdä osamalliin luonnos, johon hahmotellaan useita eri osia. Osat määritellään kukin omaksi *blockikseen*, jonka jälkeen niistä voidaan kasata, esimerkiksi niveloity mekanismi ja tehdä liiketarkastelua luonnoksen sisällä. Tämä onkin hyvä tapa hahmotella erilaisten puomirakenteiden ja nivelistöjen mittasuhteita, kun mekaniikkaa voidaan "simuloida" jo luonnosteluvaiheessa.

Ennen luurankomallin rakentamista kannattaa miettiä, mitkä ovat suunniteltavan kohteen määräävät piirteet ja mitat sekä minkälaisia aputasoja voisi mallinnuksessa hyödyntää. Tämä edellyttää, että suunnittelijalla on jo valmiiksi hyvä käsitys lopputuloksesta. Tässä piilee kuitenkin ristiriita, jos tuotetta ollaan vasta suunnittelemassa, voi olla vaikeaa hahmottaa kokonaisuutta riittävän pitkälle.

4.3 Multi-body parts

Inventoin uusimmissa versioissa Autodesk on lanseerannut ns. Multi-Body part -mallinnuksen. Tämä tarkoittaa, että samaan osatiedostoon tehdään useita solid bodyjä, kun perinteisesti yksi osatiedosto on sisältänyt yhden solidin. Jokainen solidi edustaa yhtä osaa kokoonpanossa. Uusi mallinnustapa ei varsinaisesti kuulu kummankaan; Top-Down- tai Bottom-Up-mallinnuksen alle, vaan kyseisellä menetelmällä voidaan toteuttaa kumpaa tahansa edellä mainituista ajatuksista, tai lopputulos voi olla eräänlainen yhdistelmä molemmista. Paras ominaisuus Multi-body-mallinnuksessa on, että luvussa 4.1 mainittujen adaptiivisten referenssien katoaminen pystytään paremmin välttämään, koska tällaisessa mallissa eri osien piirteet ovat kumulatiivisia eivätkä ne ole riippuvaisia toisesta täysin erillisestä osasta. Näin ei projisoitujen piirteiden katoaminen myöhäisemmässä vaiheessa haittaa, koska ne säilyvät historiapuussa kronologisessa järjestyksessä.

Vaikka useiden osien mallinnus yhteen osatiedostoon yksi toisensa jälkeen on mahdollista, kannattaa kuitenkin pyrkiä toteuttamaan Top-Down-menetelmän periaatetta ja rakentaa ensin Skeleton-malli ja tehdä uuden solidin luonnokset aina aputasolle olemassa olevien pintojen sijasta. Tällä tavoin voidaan edelleen välttää mallin rikkoontuminen, jos aikaisempia solideja muokataan tai poistetaan historiapuusta.

5 DOLLY-PERÄVAUNUN MALLINNUS

Inventor-asiantuntija Rami Nevala CadPower Oy:stä toi pitämässään koulutuksessa ilmi, että hänen mielestään tämän tyyppinen työ on parasta toteuttaa Top-Down-menetelmällä käyttäen hyväksi Multi-body parts -tekniikkaa. Tällä menetelmällä vaunusta tehtäisiin ensin ohjausmalli, josta luotaisiin varioitava kokoonpano. Kappaleen 4 mallinnusmenetelmien tarkastelujen pohjalta voidaankin löytää perusteluja menetelmän käytölle. Koska työssä on kyse tuotekehityksestä tuotteelle, josta tulee olemaan useita variaatioita, on kokonaisuuden helppo muunneltavuus ensiarvoisen tärkeää. Täten mallinnustavaksi valittiin Top-Down-menetelmä.

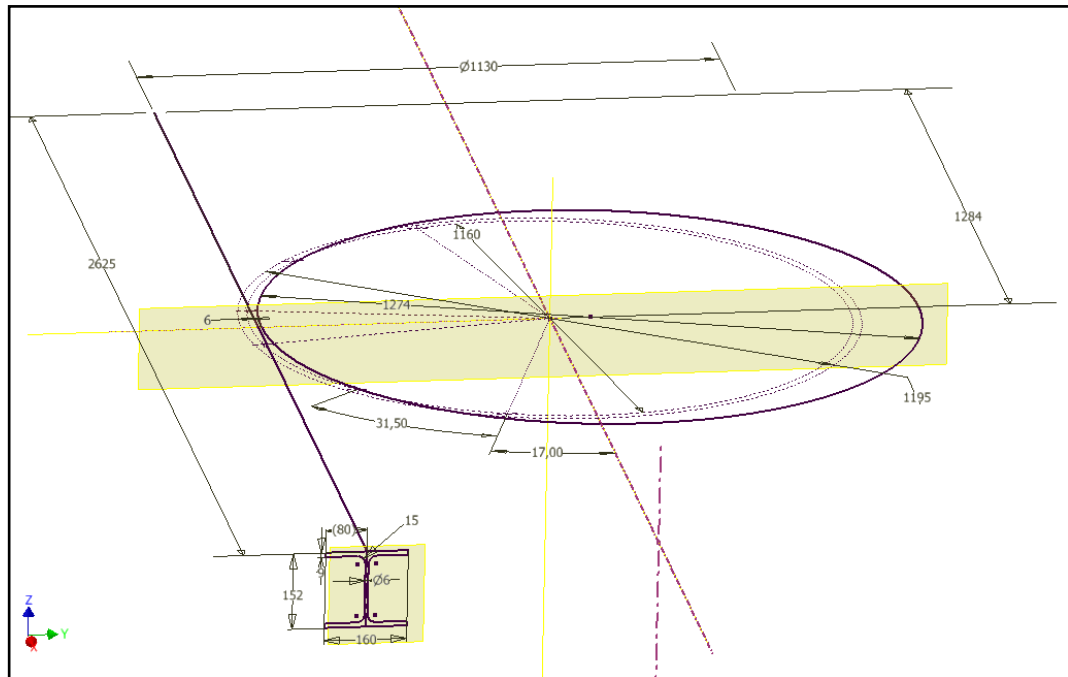
5.1 Ohjausmalli

Koska mallinnettava vaunu on hyvin pitkälti symmetrinen, on järkevää mallintaa vain toinen puoli vaunusta ja peilata osat keskitason suhteen vasta kokoonpanojen luonnin yhteydessä. Ohjausmallin luonti aloitetaan avaamalla uusi osatiedosto, (ipt).

5.1.1 Skeleton-rakenne

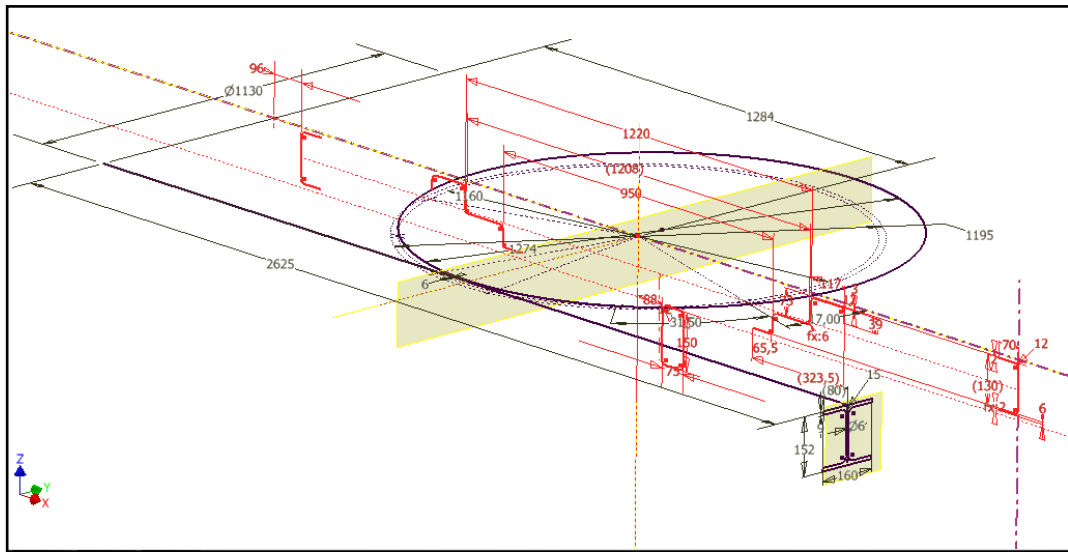
Skeleton- eli luurankomallin luominen aloitetaan tarkastelemalla vanhoja piirustuksia olemassa olevasta vaunusta ja pohditaan, mitkä ovat tärkeimpiä ohjaavia piirteitä. Jos suunnittelutyön kohteena on täysin uusi ja erilainen tuote, on myös luurankomallin tekeminen huomattavasti hankalampaa. Asiaa kuitenkin helpottaa se, että luurankomallin ei tarvitse olla täydellinen ennen kuin varsinainen mallinnus aloitetaan, vaan luurankomallia voi täydentää työn edetessä. On kuitenkin muistettava, että uudet ohjauspiirteet on hyvä kiinnittää mallin koordinaatistoon tai muihin luurankomallin osiin, eikä solidien piirteisiin.

Ohjausmalliin tehdään ensin rautalankamalli vaunun yläkuvannosta luomalla uusi luonnos ohjausmallin XY-tasolle kuvan 1 mukaisesti.



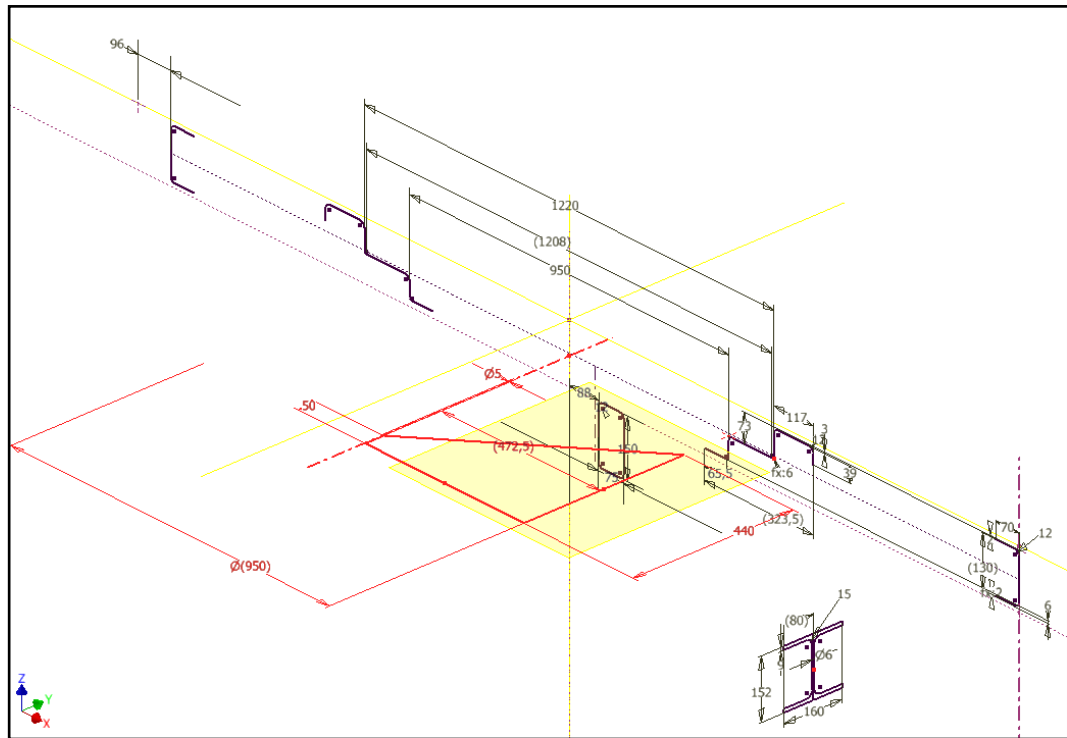
Kuva 2. Runkoprofiili ja aputaso.

Kuvassa 2 esitetään aputaso, joka luodaan käyttäen referenssinä runkopalkkia kuvaavan viivan päätä ja mallin YZ-tasoa. HE160A-palkin profiili luonnostellaan aputasolle, ja luonnokseen projisoidaan runkopalkin keskilinja. Näin profiili siirtyy aina mukana suhteessa rungon leveyteen ja pituuteen.



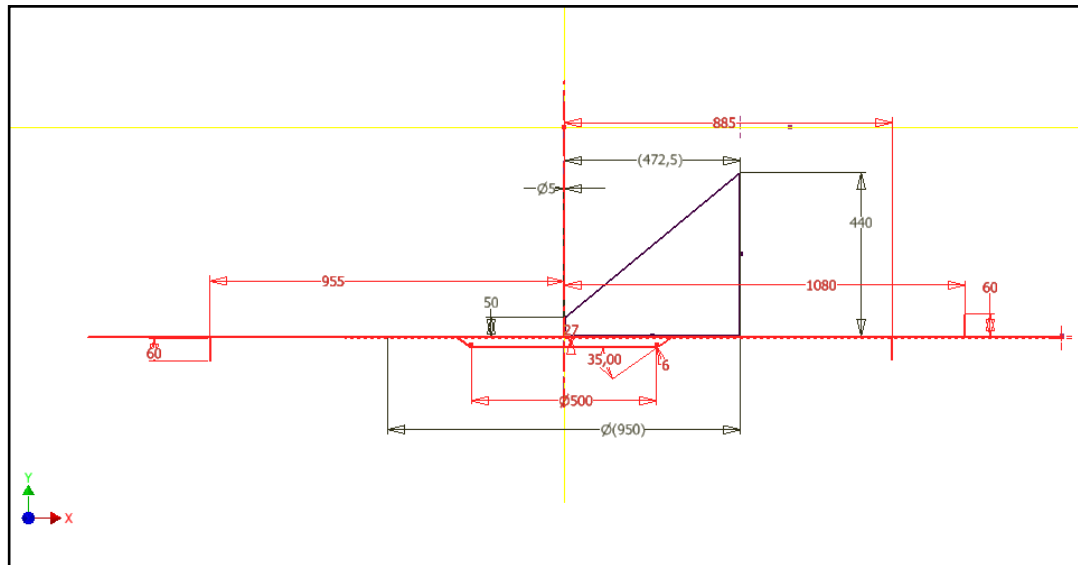
Kuva 3. Poikittaiset profiilit.

Seuraavaksi tehdään XZ-tasolle luonnos, johon piirretään runkoon kuuluvat poikittaiset profiilit, jotka näkyvät punaisella kuvassa 3. Näistä profiileista piirretään ainoastaan uloimmat pinnat ilman ainevahvuutta. Runkopalkin päätepisteet X- ja Z-akselit projisoidaan luonnoksen referensseiksi. Kuvassa vasemmanpuoleiset avoimet profiilit luodaan peilaamalla oikeanpuoleiset Z-akselin suhteen. Tämä ei ole välttämätöntä, koska osat ovat identtiset ja näin ne voidaan monistaa myöhemmässä vaiheessa, mutta peilaus helpottaa mittasuhteiden hahmottamista suunnitteluvaiheessa. Taivutettujen profiilien mittoja muutetaan siten, että halkaisijoiltaan 1095 mm:n ja 1195 mm:n kuulakehät saadaan sopimaan samoihin profiileihin.



Kuva 4. Tukikiilojen aputaso ja luonnos.

Kuvassa 4 näkyy aputaso, joka on XY-tason suuntainen, mutta sen sijainti korkeussuunnassa on kiinnitetty sivuprofiilien luonnoksessa vaakaviivaan, joka määrää kuulakehän kiinnityskorkeuden. Kiilataso pysyy oikealla korkeudella, vaikka poikkitaisten profiilien mittoja muutettaisiin.

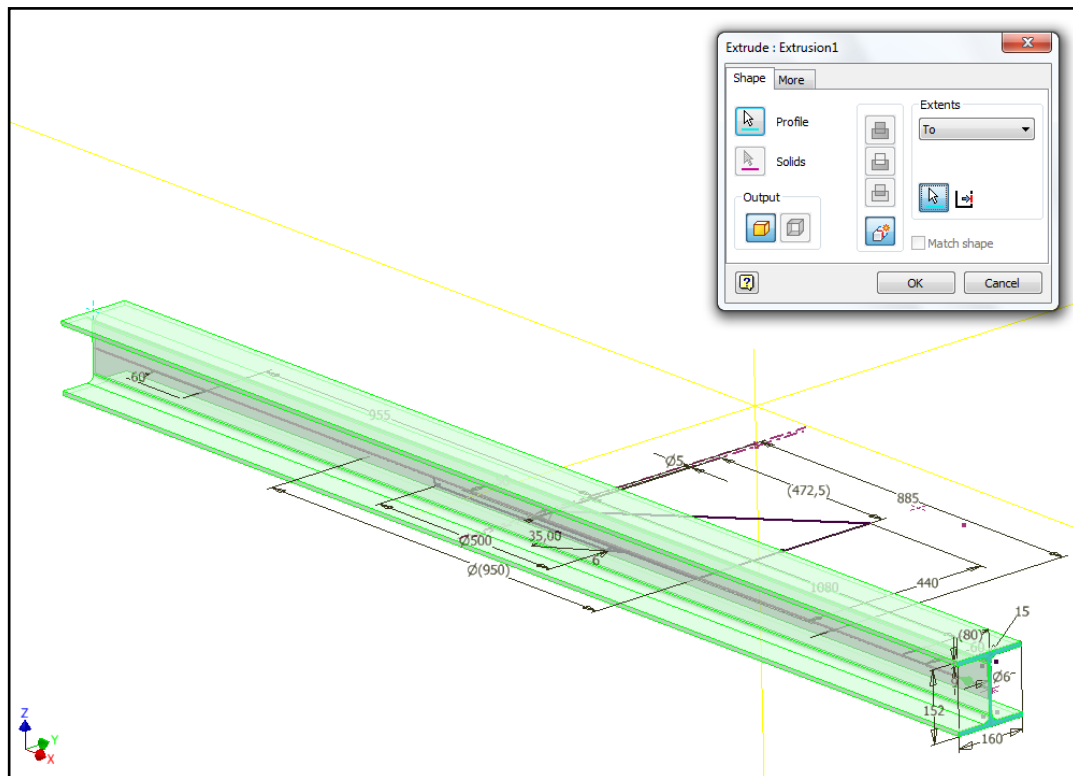


Kuva 5. Runkopalkin jäykisteet.

Kuvassa 5 on esitettyä luonnos, johon on piirretty runkopalkin jäykisteitä kuvaavat piirteet (kuvassa punaisella). Pitkä vaakasuora viiva, joka on runkopalkin keskilinja, ja runkopalkin uuman paksuuden määrittävät viivat projisoidaan aikaisemmista luonnoksista. Jos runkopalkin profiilia muutettaisiin, pysyisivät jäykisteet oikeilla paikoillaan.

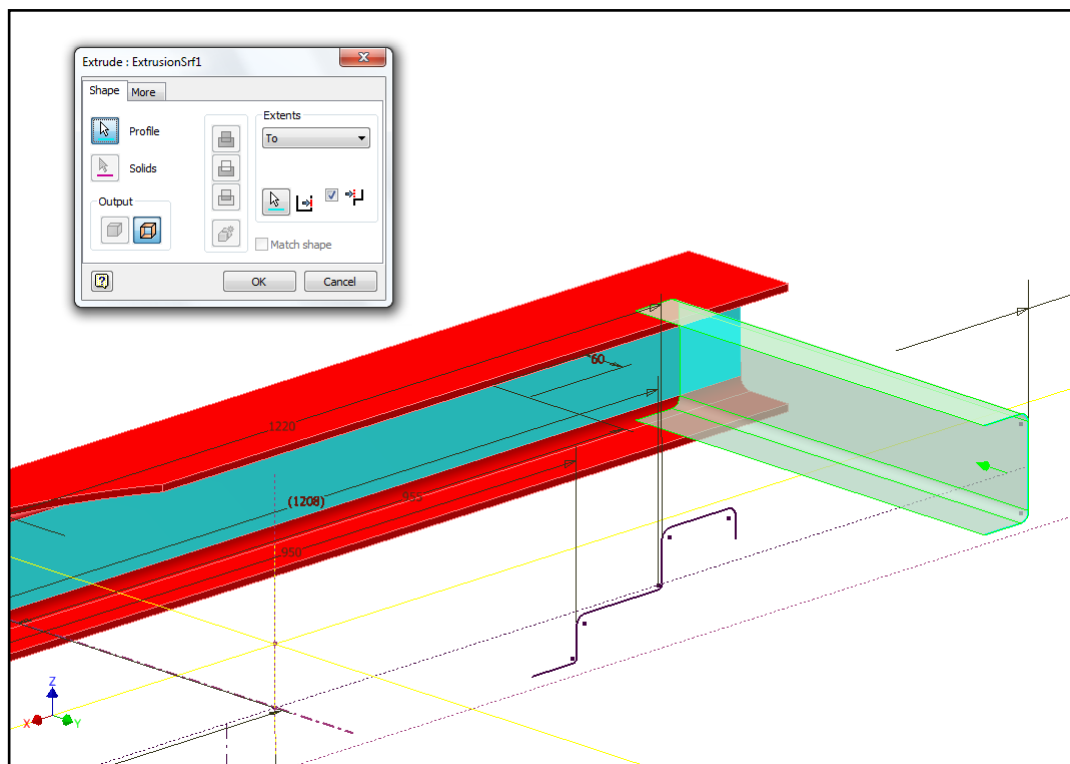
5.1.2 Solidit

Kun luurankomalli on näin pitkällä, voidaan luoda luurankomallin luonnoksista pintoja ja solideja.



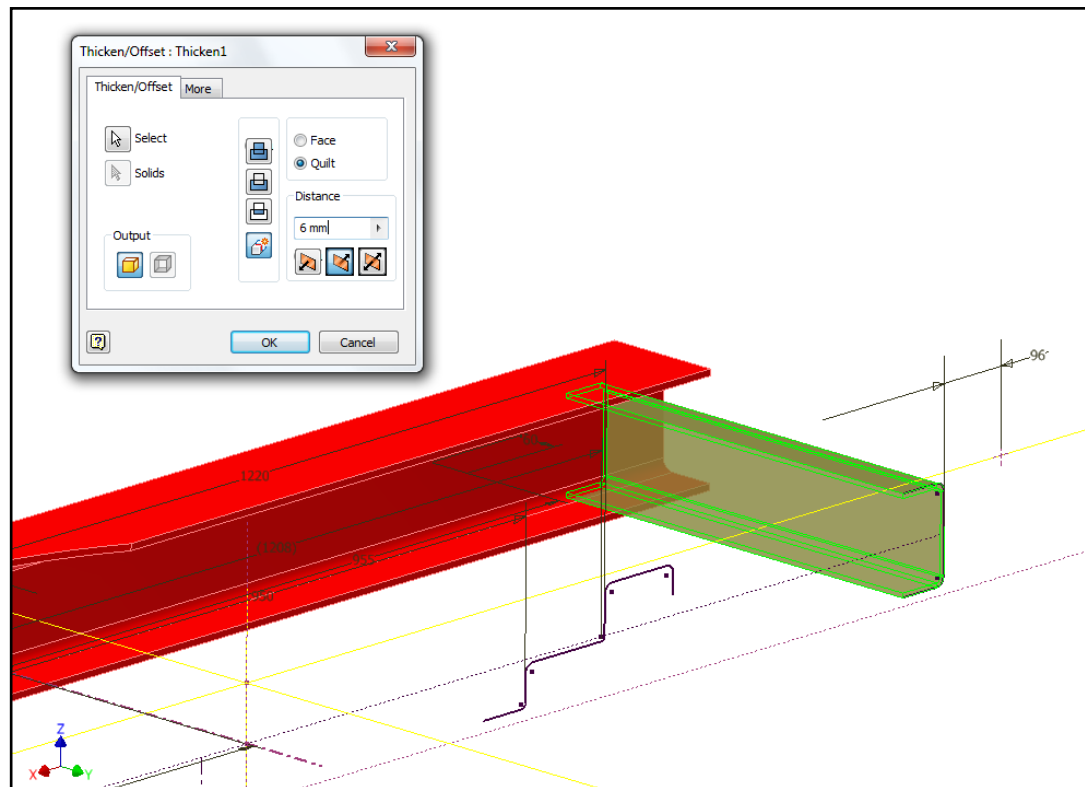
Kuva 6. Runkopalkin pursotus.

Kuvassa 6 pursotetaan runkopalkki *Extrude*-käskyllä. Profiiliksi valitaan runkopalkin luonnoksesta suljettu profiili. *Extents*-valikosta valitaan parametri *To* ja määritetään pursotuksen syvyydeksi yläkuvannon luonnoksessa määritetyn profiilin keskiviivan päätepiste. Valikossa kohta *create new solid* on automaattisesti valittuna, koska tässä vaiheessa mallinnetaan ensimmäistä solidia. Muita vaihtoehtoja ei siis ole.



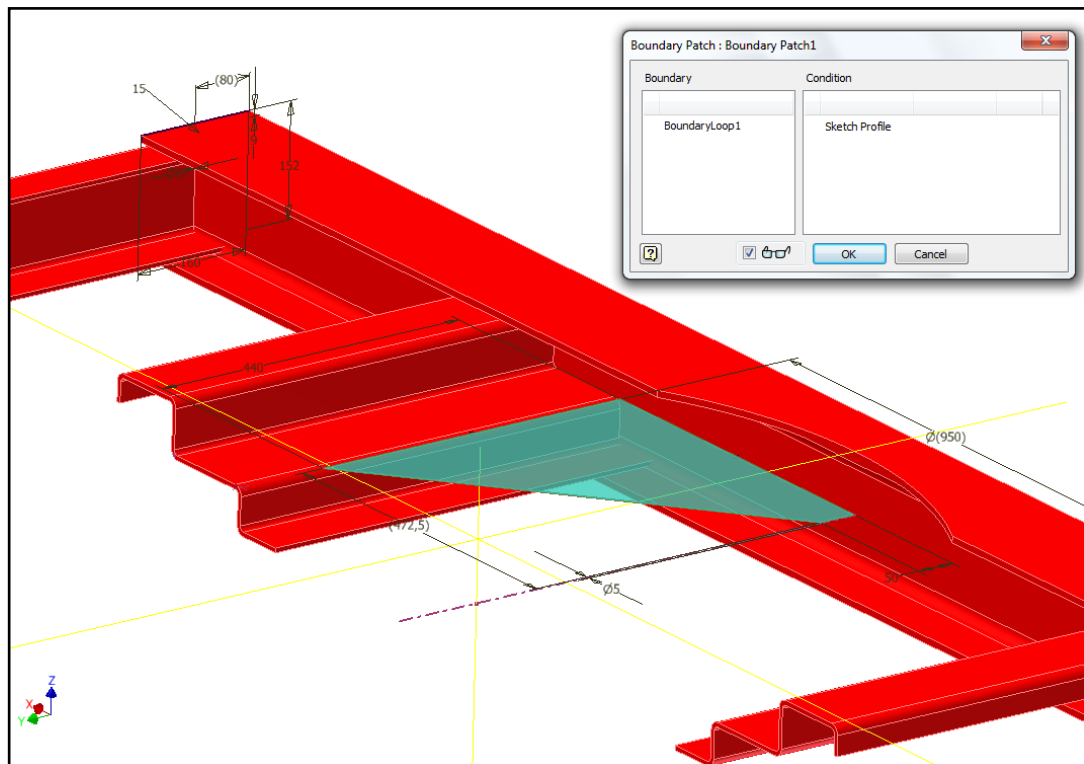
Kuva 8. Pintojen pursotus.

Kuvassa 8 esitetään etummaisen palkin pinnan pursotus. Valitaan *Extrude*-käsky ja Output-tyypiksi *surface*. Näin lopputuloksena syntyy pinta. Syvyyden rajaksi määrätään runkopalkin sisäpinta. Kaikki poikittaiset profiilit pursotetaan samalla tavalla. Rajan määrittämisessä voidaan myös poistaa rasti kohdasta *check to terminate feature on the extended face*. Tällöin syvyysrajaan tulee mukaan myös runkopalkin sisänurkkien pyöristykset ja pursotettu pinta päättyy tarkalleen palkin muotojen mukaan. Kun pinnalle myöhemmin annettaisiin paksuus, tulisi profiilin päästä epämuodostunut. Yksi vaihtoehto poikittaisten profiilien luontiin on suljetun luonnoksen pursotus suoraan solidiksi. Tämä vaatii, että profiilit on luonnoksessa suuntaiskopioitu *offset*-käskyllä ainevahvuuden verran sisäänpäin ja päät suljettu viivoilla. Näin pursotettaessa profiili saataisiin päättymään tarkalleen runkopalkin muotoja myöden. Tässä vaiheessa on kuitenkin parempi jättää u-palkkeihin suorat päät, koska tämä vastaa paremmin todellisuutta, kun palkkeja sahataan määrämittaan valmistuksessa. Pyöristykset lisätään myöhemmin.



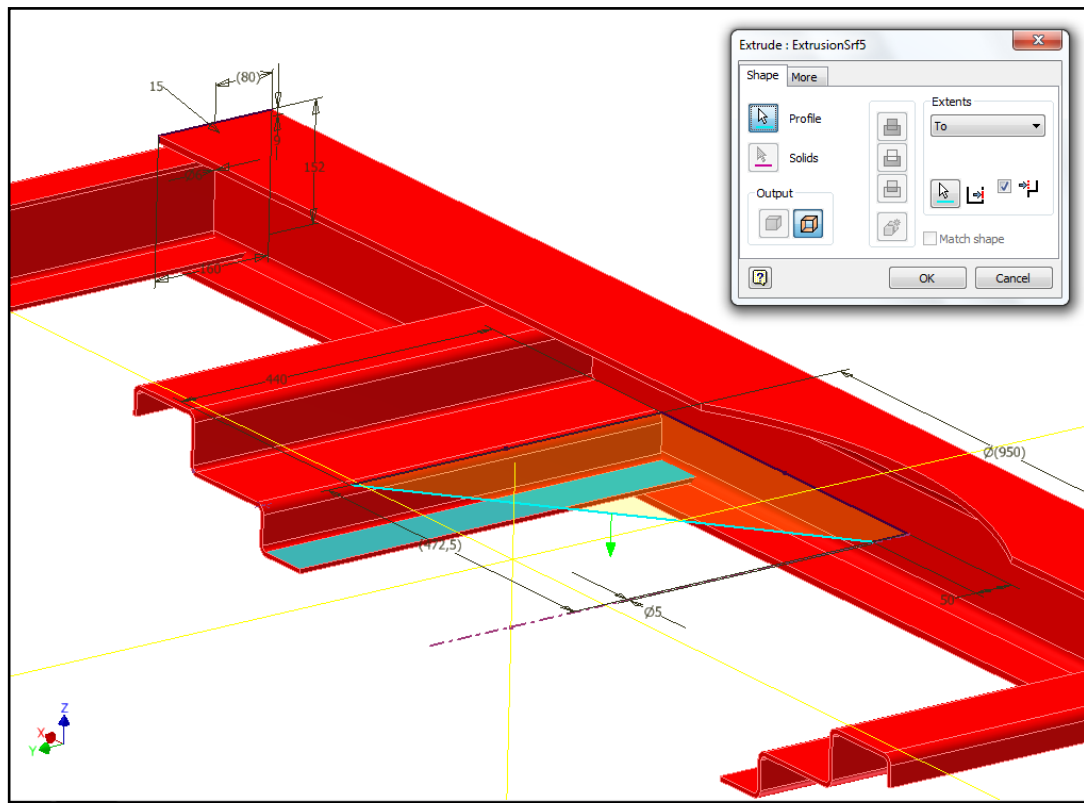
Kuva 9. Pintojen paksuudet.

Kuvassa 9 pursotetuille profiileille annetaan paksuudet *Thicken*-komennolla. Valinnan lisämääreeksi valitaan *quilt*, jolla saadaan valittua koko pinta kerrallaan. Kun kysymyksessä on uusi osa, valitaan myös kohta *New solid*. Samalla paksuudelle annetaan arvo ja suuntavalinnoilla määritetään paksuudelle oikea suunta. Huomattiin, että uuden solidin luonti unohtuu helposti uutta osaa luotaessa. Tästä ei ole suurta haittaa, koska valinta voidaan lisätä jälkeinpäin.



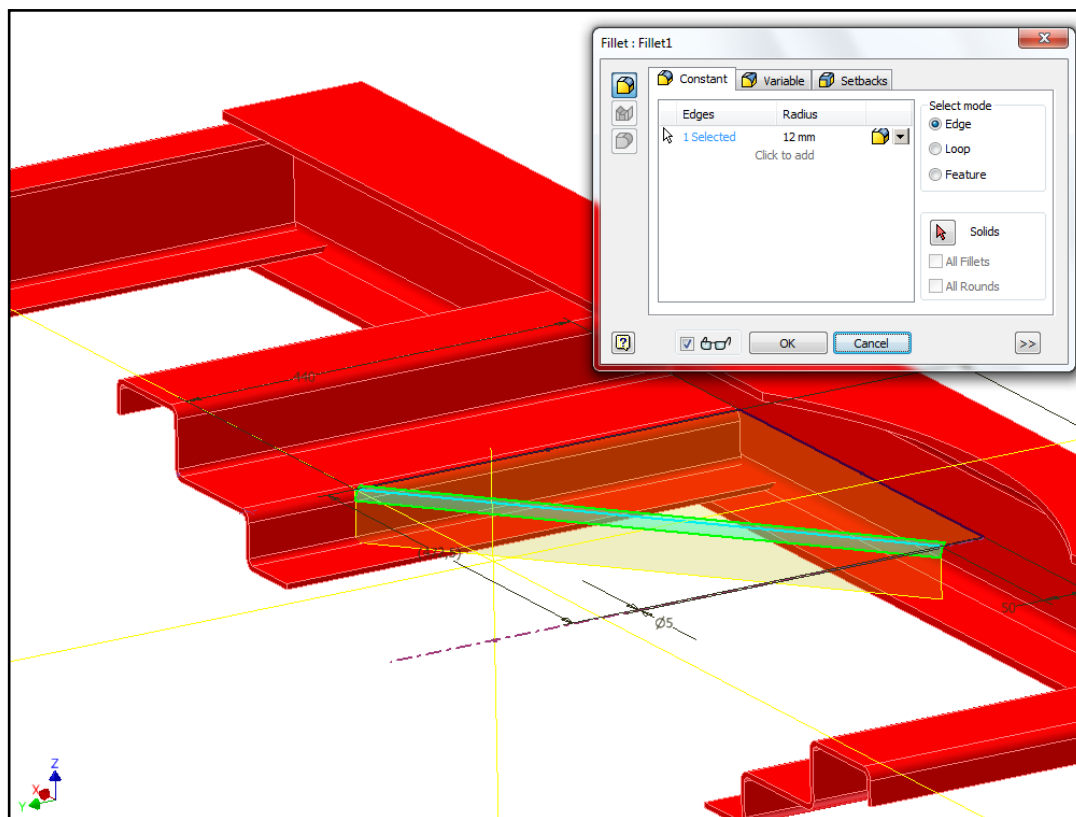
Kuva 10. Tukikiilan yläpinta.

Kuvassa 10 on esitetty, kuinka kiilan yläpinta luodaan *Boundary Patch* -komennolla. Käsytllä voidaan luoda pintoja erilaisista suljetuista profiileista. Tässä tapauksessa kysymyksessä oli kiilan luonnos.



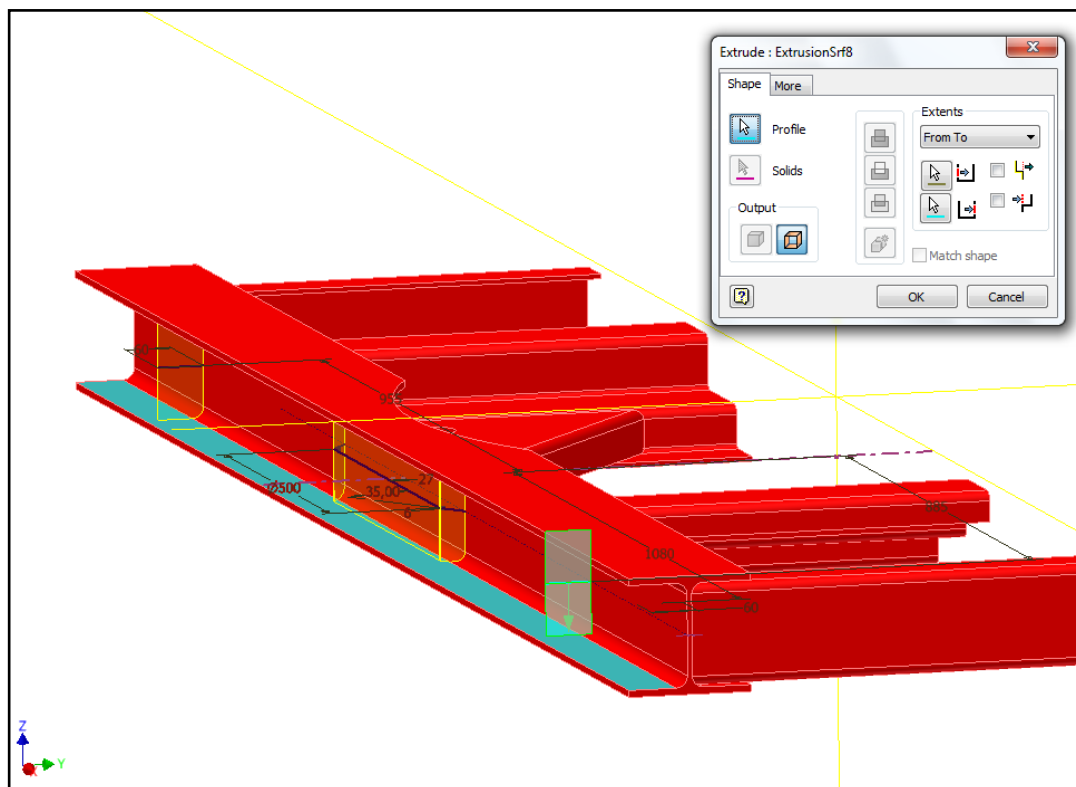
Kuva 11. Tukikiilan huullos.

Tukikiilan huullos pursotetaan pintana *Extrude*-käskyllä. Pursotuksen määreenä käytetään kiilan yläpinnan luonnoksesta yhtä viivaa, ja etäisyys määritetään taivutetun profiilin pintaan kuvan 11 osoittamalla tavalla. Seuraavaksi pinnat liitetään yhteen *Stitch surface*-käskyllä, jonka jälkeen kaksi pintaa muodostaa kokonaisuuden, jolle on mahdollista suorittaa esim. *Fillet*-käsky, joka esitetään kuvassa 12.



Kuva 12. Pintojen pyöristys.

Pintoihin voidaan lisätä pyöristyksiä *Fillet*-komennolla. Tämä edellyttää, että pinnat on ensin liitetty yhteen (*Stitch-surface*). Tässä tapauksessa lisätään nurkkaan pyöristys, jonka säde on kaksi kertaa ainevahvuus. Näin osa on mahdollista valmistaa taivuttamalla suorasta levystä. Kun kiilan ulkopinta on valmis, annetaan sille paksuus *Thicken*-komennolla.



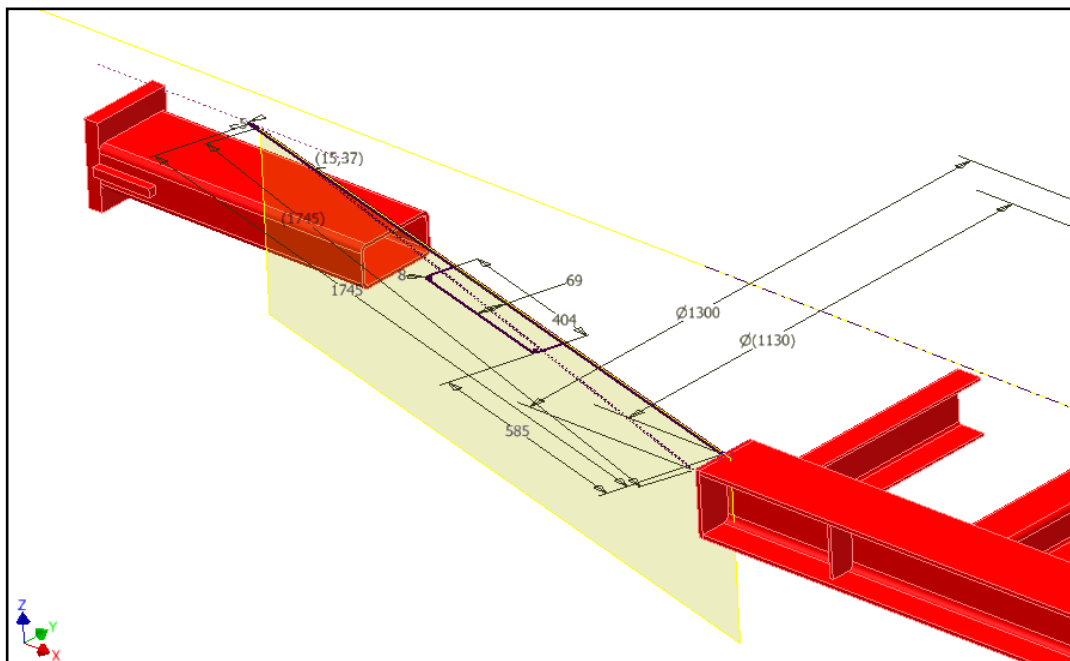
Kuva 13. Rungon jäykisteet.

Kuvassa 13 rungon jäykisteet pursotetaan pintoina *Extrudella*. Profiilit on valmiiksi piirretty skeleton-mallia tehdessä. *Extents*-valikosta valitaan *From To*-parametri. Pursotuksen alkupiste määritetään I-profiilin ylemmän laipan alapintaan ja päätepiste alemman laipan yläpintaan. Lisäksi valinnat poistetaan kohdista *check to terminate feature on the extended face*. Näin luotu pinta rajoittuu myös annettujen pintojen jatkeisiin. Tämän jälkeen annetaan pinnoille paksuudet.

5.1.3 Vaihtoehtoiset osat

Dolly-vaunun vetoaisasta on kaksi eri korkeusvariaatiota. Vaunusta on myös eri leveysvariaatioita. Rungon variaatiot ovat varsin suoraviivaisia, eikä niihin tarvitse kiinnittää erityistä huomiota tässä vaiheessa, koska niissä muuttuvat vain poikkitaisten palkkien pituudet. Vetoaisa sen sijaan on haasteellisempi varioida. Eri-korkuisille aisoille tehdään täysin omat sivuprofiilit, koska ne ovat niin erilaiset, että niistä ei ole järkevää tehdä varsinaisia varioitavia osia. Myös erileveysille ai-

soille tehdään omat suojalevyt sekä poikittaistuet. Aisojen sivuprofiilien ylä- ja alalaidat voidaan valmistaa samoista aihioista, jotka vain taivutetaan eri kohdista.



Kuva 14. Vetoaisan apupiirteet.

Vetoaisan sivuprofiilien aputasoa varten tehdään XY-tasolle apuluonnos, jossa määritetään aisan sivuprofiilin pituus ja sijainti kuvan 14 esittämällä tavalla. Luonnoksessa on omat viivat sekä leveämmälle että kapeammalle variaatiolle. Leveämpää tarvitaan vain määrittämään poikittaistuen pituus ja pään kulma.

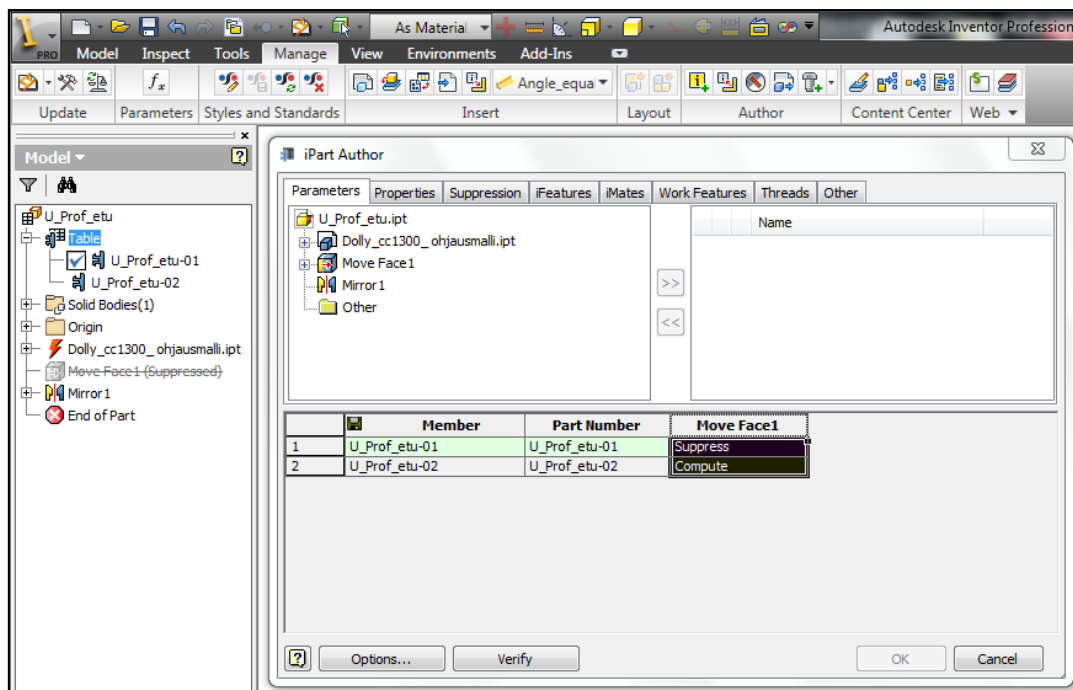
Seuraavaksi tehdään uusi aputaso, joka on pystysuora ja kulkee apuluonnoksen viivan suuntaisesti. Tälle tasolle luonnostellaan aisojen kaksi erilaista sivuprofiilia ja luonnoksista pursotetaan aisojen uumat. Aisan laipat pursotetaan pintoina samoista luonnoksista, jonka jälkeen niille annetaan paksuuden. Laippojen päät muotoillaan niin, että ne sopivat mahdollisimman hyvin molempiin leveysvariaatioihin ilman muokkausta.

5.2 Kokoonpanot

Kokoonpanojen luonti ohjausmallista tapahtuu *Manage*-valikon *Create Parts*-käskeyllä. Ohjausmallista valitaan kuhunkin kokoonpanoon kuuluvat solidit, ja kokoonpanolle annetaan nimi tai valitaan jo olemassa oleva kokoonpano. Tässä tapauksessa tehdään omat kokoonpanot aisasta, rungosta, kuulakehistä ja vetopöydästä. Samalla voidaan määrittää osien tyyppi BOM-rakenteessa. Tyyppi valitaan sen mukaan, ovatko osat esimerkiksi osto- vai itse valmistettavia osia. *Create Parts* -käsky avaa luodun kokoonpanon, asettaa osat alkuperäisille paikoilleen koordinaatistoon ja lisää *Grounded*-määritteen, jolla osat lukittuvat paikoilleen. Näin saadaan rakennettua kokoonpano ilman yhtäkään varsinaista kokoonpanorajoitetta. Tosin rajoitteita joudutaan lisäämään variointia varten. Näin saadaan, esimerkiksi runkopalkit siirtymään eri variaatioissa oikeille paikoilleen.

5.2.1 Variointi

Inventorissa varioitavaa kokoonpanoa kutsutaan *iAssemblyksi* ja varioitavaa osaa *iPartiksi*. Rungon osiin lisätään piirteet, joita ohjaamalla osista saadaan eri variaatiot. Koska ohjausmalli on mallinnettu kapeamman runkoversion mukaan, joudutaan poikittaisten runkopalkkien pituutta lisäämään leveämpää versiota varten. Tämä tehdään *Move Face*-komentolla jokaiseen poikittaiseen palkkiin. Lisäksi osat peilataan XZ-tason suhteen, koska ohjausmallissa on mallinnettu vain vasen puoli. Osista tehdään *Create iPart*-käskeyllä kaksi eri variaatiota, joista toisessa *Move Face*-komento määritetään olemaan *Suppressed* eli poistettu ja toisen, jossa se lasketaan mukana.



Kuva 15. Osien variointi.

Kuvassa 15 on esitettyä *iPart Author*, jolla hallitaan variaatioita. Esimerkkinä kuvassa on rungon etummainen poikittaisprofiili, josta on kaksi eri variaatiota. Sarakkeessa *Move Face1* on ensimmäisellä rivillä määre *Suppress* (vähennä) ja toisella *Compute* (laske mukaan). Kuvan vasemmassa laidassa historiapuussa on kohta *Table*, jonka alla eri variaatiot on lueteltuna. Nimiä klikkaamalla saadaan vaihdettua variaatiosta toiseen. Kun varioidusta osasta tai kokoonpanosta luodaan piirustusta, saadaan valita, mikä variaatio arkille halutaan. Sama koskee kokoonpanoja.

5.2.2 Rungon variointi

Osat, jotka siirtyvät aina suhteessa runkopalkkiin, poistetaan runkokokoonpanosta ensin kokonaan ja tuodaan sitten takaisin *Place at component origin* -käskyllä. Tämä käsky tuo osan kokoonpanoon ja lisää automaattisesti kokoonpanorajoitteet kohdeosan, tässä tapauksessa runkopalkin ja paikoitettavan osan välille. Rajoitteet voi lisätä myös käsin yksi kerrallaan, mutta se on työläämpi vaihtoehto. Kun

kaikki runkopalkkiin kiinnittyvät osat (poikittaiset profiilit poisluettuna), on kiinnitetty runkopalkin koordinaatistoon, voidaan runkopalkin XZ-tason kokoonpanorajoitetta muuttamalla siirtää kokonaisuus kulloinkin oikealle leveydelle. Kokoonpanotasolla on käytössä *Create iAssembly* -käsky, jolla aukeaa *iAssembly Author* -ikkuna. Tässä valikossa voidaan määrittää, esimerkiksi se mitkä osat kokoonpanossa kuuluvat kuhunkin variaatioon. Rajoitteita voidaan poistaa tai niiden arvoja muuttaa, kuten tehtiin runkopalkin paikoituksen kanssa. Kokoonpanossa olevista *iParteista* voidaan myös valita kokoonpanovariaatioon sopiva osavariaatio. Tällaisia osia ovat rungon poikittaiset profiilit, joiden pituudet on varioitu *iPart*-toiminnolla.

5.2.3 Aisan variointi

Aisakokoonpanossa ei ole osia, joita voi kätevästi varioida. Näin ainoastaan kokoonpanotasolla varioidaan, mitkä osat kuuluvat kulloinkin kyseiseen aisakokoonaisuuteen, ja miten ne paikoittuvat kokoonpanossa. Aisakokoonpanoa luotaessa ohjausmallista valitaan kaikki aisoihin liittyvät osat ja määritetään uusi kohdekokoonpano. Aisakokoonpanossa tehdään variaatiot *Create iAssembly*-käskyllä. Kaikille variaatioille yhteisiä osia ovat vetopuomin profiili ja siihen liittyvät laipat, puomin jäykisteet ja vetosilmukka. Näistä tehdään yhtenäinen kokonaisuus lisäämällä kokoonpanorajoitteet niin, että osat seuraavat vetopuomin profiilia samaan tapaan kuin runkokokoonpanossa runkoprofiilia. Tälle kokonaisuudelle määritetään rajoite, jota muuttamalla se saadaan kulloinkin oikealle korkeudelle sivuprofiilien suhteen.

Eri leveysvariaatioissa on vaihtoehtoiset osat poikittaistuille ja suojalevyille. Nämä määritettiin olemaan joko *Suppress* tai *Compute*-tilassa eri leveysvariaatioissa. Koska vain toinen poikittaistuista on kulloinkin mukana, pystyttiin määrittämään rajoitteet, jotka muuten olisivat ristiriidassa keskenään. Sivuprofiilit paikoitettiin leveyssuunnassa poikittaistukien päätypintoihin, profiilin etupää taas vastaamaan aina vetopuomin profiiliin ja korkeussuunnan koordinaatiston nollassoon. Nyt esimerkiksi leveämmän poikittaistuen ollessa *Suppress*-tilassa, myös kaikki siihen

liittyvät rajoitteet *Suppressoituvat*, ja näin rajoitteiden välille ei synny konfliktia. Vetopuomin profiilille määritettiin korkeusrajoite sen yläpinnasta erikorkuisten sivuprofiilien vastaaviin kohtiin. Tässä korkeussuunnan rajoitteet toimivat samalla tavalla kuin edellä mainitussa leveysvarioinnissa; vain kulloinkin mukana olevaan sivuprofiiliin määritetyt rajoitteet vaikuttavat.

6 TIEDOSTONHALLINTA

Inventorissa tiedostoja on neljä päätyyppiä: osatiedosto ipt, kokoonpanotiedosto iam, piirustus idw ja räjäytyskuva ipn. Lisäksi Inventorissa käytetään projektitietojen hallintaan erityistä ipj-tiedostoa, johon tallentuu projektin tietoja, kuten projektin nimi ja työhakemisto, käytettävien kirjastojen polut, erilaisia parametreja sekä usein käytettävien hakemistojen polut.

Kun luodaan uusi projekti, on oletuksena, että kaikki erityyppiset tiedostot tallennetaan samaan projektin päähakemistoon. Kun tiedostojen määrä kasvaa suureksi, käy tiedostojen etsintä hakemistosta kuitenkin työlääksi. Tämän välttämiseksi on hyvä määrittää projektitietoihin omat polkunsu kullekin tiedostotyypille. Tässä tapauksessa tehtiin omat hakemistot kokoonpanoille ja osatiedostoille. Näiden lisäksi hakemistojen alle muodostuu alihakemisto Oldversions, johon Inventor tallentaa varmuuskopiot muutetuista tiedostoista. Kun hakemistot ovat määritetty projektin Frequently used subfolders -kohtaan, nämä tulevat näkymään pikakuvakkeina aina tiedostoja tallennuksen ja avaamisen yhteydessä, jolloin niistä on helppo valita kulloinkin oikea sijainti.

Varioiduille osille ja kokoonpanoille syntyy alkuperäisen tiedoston nimeä kantava alihakemisto, johon tallentuu varsinaiset variaatiot alkuperäisellä nimellä, jonka perään liitetään variaation järjestysnumero. Numero on muotoa "-01" ja määräytyy variaation järjestysnumeron mukaan. Näihin hakemistoihin ja niiden sisältämiin tiedostoihin ei normaalisti tarvitse puuttua, koska niiden sisältö luodaan automaattisesti iPart Authorilla luotujen taulukoiden mukaisesti.

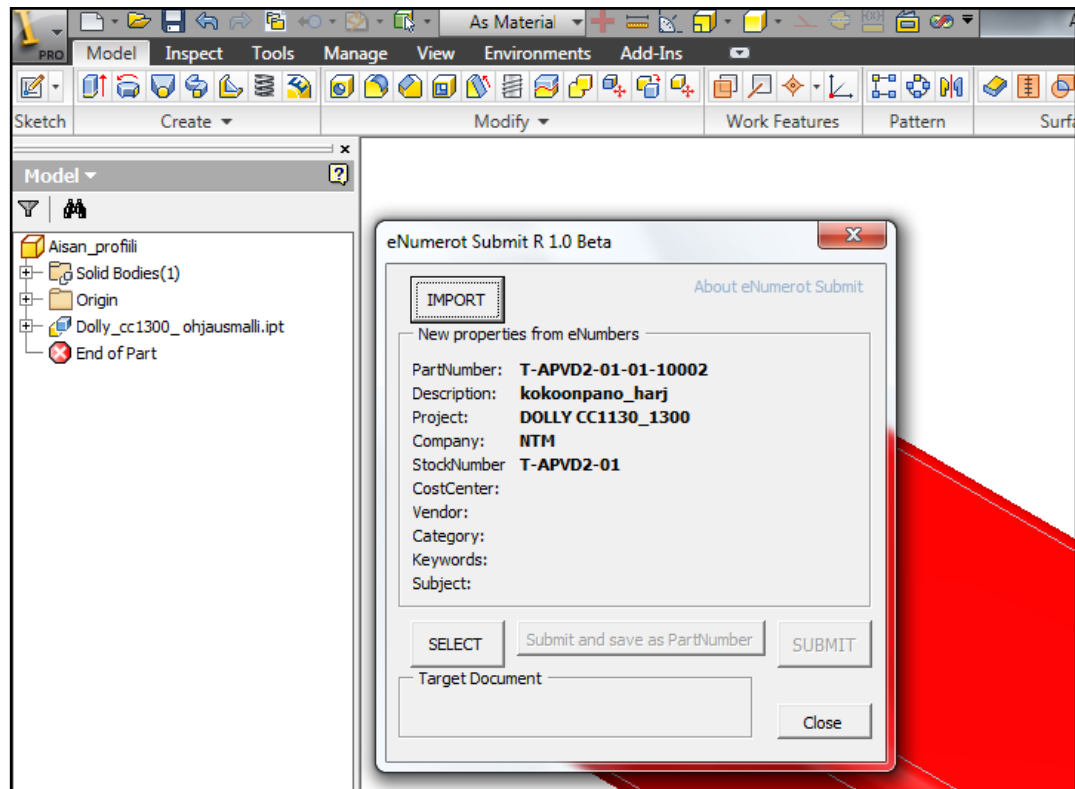
6.1 eNumerot

Työssä käytettiin CadPower Oy:n ja Tuunix Oy:n yhteistyössä kehittämää piirustusnumeroiden ja materiaalinimikkeiden hallintaan tarkoitettua eNumerot-ohjelmaa. Sovelluksella varataan uusia piirustusnumeroita liittämällä niihin laite- ja projektinumerot. Näin ei päällekkäisiä numeroita pääse syntymään. Sovellus on

Web-pohjainen, eli sen käyttämiseen tarvitaan Internet-yhteys ja -selain. Tästä on etuna se, että myös etätyöntekijät voivat varata numeroita ja käyttää tietokantaa. /4/ Sovelluksessa jokaiselle yritykselle on oma tietokanta, ja se voidaan räätälöidä tarpeiden mukaan. Kuvassa 16 on esitetty eNumerot-sovelluksen etusivu.

Kuva 16. eNumerot etusivu.

Ensimmäisestä vetovalikosta valitaan laite ja toisesta tuoteryhmä. Nämä määrittävät numeron alkuosan, joten niistä voidaan nähdä mihin numero kuuluu. Tietoihin voidaan lisätä piirustuksen kuvaus, mitat, kokoonpano ja artikkelinumero. Kun tiedot on täytetty, painetaan Varaa-painiketta, jolloin piirustusnumeroksi varataan seuraava vapaa juokseva numero ja tiedot tallentuvat tietokantaan. Tämän jälkeen ruudulle ilmestyy COPY ALL -painike, jota klikkaamalla kenttien tiedot kopioituvat leikepöydälle. Kuvassa 17 on esitettyä kuinka Iventorissa tiedot syötetään eNumerot-macron avulla kullekin tiedostolle.



Kuva 17. eNumerot-macro.

IMPORT-painikkeella tuodaan tiedot leikepöydältä macroon, SELECT-painikkeella valitaan kohdeosa, Submit and save as partnumber vie tiedot osaan ja tallentaa sen. SUBMIT vie pelkät tiedot ilman tallennusta. Jos kohdeosaa ei ole valittuna, viedään tiedot auki olevaan kokoonpanotiedostoon.

7 TULOSTEN TARKASTELUA

Projektin tuloksena saatiin varioitava 3D-malli Dolly-perävaunun runko- ja aisarakenteesta ja luotiin kokoonpano- ja osakuvat. Lisäksi vaunun rakennetta muutettiin asetettujen tavoitteiden mukaisesti ja samalla eri variaatioissa tarvittavia osia pystyttiin yhdenmukaistamaan. Suurin rakenteellinen muutos oli HE-A-palkin käyttöön siirtyminen ennen hitsaamalla kasatun runkopalkin sijaan. Muiden muutosten ohella tämä tulee mitä ilmeisimmin pudottamaan valmistuskustannuksia. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli myös tarkoitus tehdä vaunusta lujuustarkastelu ja optimoida ainevahvuuksia. Työ olisi kuitenkin paisunut liian laajaksi, joten se jätettiin pois.

Menetelmätarkastelun pohjalta valittiin mallinnustavaksi Top-Down-menetelmä. Mallinnus tehtiin luurankomallia apuna käyttäen ja hyödyntäen Multi-body part -mallinnustekniikkaa, jossa koko vaunu mallinnettiin yhteen osatiedostoon ns. ohjausmalliksi, josta osat vietiin kokoonpanoihin. Tällä menetelmällä mallinnus tuntui loogiselta ja toimivalta. Tuotekehitysvaiheessa tällaisen mallin muuttaminen on suhteellisen helppoa ja mittasuhteita voidaan hakea vapaasti. Tuotteen siirtyessä tuotantovaiheeseen tulee kuitenkin muistaa, että jos linkkiä ohjausmallin ja osatiedostojen välillä ei katkaista, muutokset ohjausmalliin vaikuttavat kaikkiin osatiedostoihin ja edelleen piirustuksiin. Tämä on vahingollista, jos jo valmistetun tuotteen piirustukset muuttuvat. Tätä osa-aluetta ei työssä käsitelty, mutta olisi hyödyllistä ymmärtää, kuinka eri versioita, variaatioita ja revisioita Inventorissa käsitellään oikeaoppisesti.

Kokoonpanojen variointi osoittautui yllättävän työlääksi työvaiheeksi. Variaatioiden rakentamiseen käytetty työ kuitenkin tulee maksamaan itsensä takaisin, kun tulevaisuudessa vaunun perusrakenne voidaan valita valmiista vaihtoehdoista, ja vain pienempiä yksityiskohtia muokataan ja lisätään asiakkaan toiveiden mukaisesti. Työn edetessä tulisi siihen tulokseen, että monipuolisempia variaatioita luodessa voisi olla järkevämpää jättää ohjausmallissa varioitavia osia mallintamatta ja viedä niistä vain luonnokset ja aputasot kohdetiedostoon, jossa lopulliset piir-

teet luotaisiin. Tämä siksi, että kun valmis kappale viedään osatiedostoon, sen piirrepuu ei ole käytettävissä variointia varten. Näin variaatiot joudutaan luomaan erilaisilla muokkauskäskyillä, kuten *Move Face* ja *Move Bodies* tai lisäämällä piirteitä. Voisi olla käytännöllisempää luoda piirteet vasta osatiedostoon, jolloin niiden mittoja ja piirteitä voisi manipuloida iPart Authorin kautta. Ajatuksia heräsi myös luurankomallin käyttämisestä edistyksellisemmin hyväksi kokoonpanoja luotaessa.

Työssä pääsin perehtymään lähemmin Top-Down-suunnitteluun ja sen tuomiin mahdollisuuksiin Autodesk Inventorissa. Multi-Body parts -menetelmän koin erityisen tehokkaaksi, koska se toi ratkaisuja perinteisen mallinnuksen ongelmiin. Menetelmän käyttö on vielä tehokkaampaa silloin, kun tuotetta ei tarvitse varioida. Tällöin ohjausmallista luotu kokoonpano on periaatteessa valmis sellaisenaan. Variaatioiden luonti Inventorissa oli työn haasteellisin osa-alue. Tällä osa-alueella riittää opiskeltavaa, jotta osaisi määritellä kulloinkin parhaimman toimintatavan.

LÄHDELUETTELO

/1/ NTM kotisivut. ”Yrityksestä” -osio. [Viitattu 7.4.2010] Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.ntm.fi/default.aspx?DocID=393&MenuID=87&TocID=4>>

/2/ Nissilä, Tuomas 2009. TOP-DOWN-MALLINNUS : Ratkaisu tavanomaisen 3D-suunnittelun vajavuusiin. Opinnäytetyö, ylempi AMK-tutkinto [PDF-dokumentti] Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200909114471>>

/3/ Hantula, Juha 2008. 3D-Tuotesuunnittelu. [PDF-dokumentti]

/4/ CadPower Oy [PDF-dokumentti] Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.tuunix.fi/www/lataatiedosto.php?f=tuunixenumerot_esite.pdf>