



# **TOP-DOWN-MALLINNUS**

**Ratkaisu tavanomaisen 3D-suunnittelun  
vajavuuksiin**

**Tuomas Nissilä**

**Opinnäytetyö  
YLEMPI AMK-TUTKINTO**

**Toukokuu 2009**

**Automaatioteknologia**



**JYVÄSKYLÄN  
AMMATTIKORKEAKOULU**

Tekijä(t) NISSILÄ, Tuomas	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen _____ saakka	
Työn nimi  TOP-DOWN-MALLINNUS Ratkaisu tavanomaisen 3D-suunnittelun vajavuuksiin?		
Koulutusohjelma Automaatioteknologia		
Työn ohjaaja(t) RANTAPUSKA, Seppo		
Toimeksiantaja(t) salainen		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön päätavoitteena oli tuottaa kirjallinen aineisto Top-Down-mallinnusmenetelmästä edistyneistä suunnittelutavoista kiinnostuneille asiantuntijoille. CAD-järjestelmänä käytettiin Autodesk Inventoria. Samalla tehtiin toimeksiantajalle soveltamiskokeilu, jonka tavoitteena oli ratkaista tuoteosion mallintamisongelma. Menetelmää sovellettiin CAD-konsultti Rami Nevalan toteuttamistavalla. Lisäksi menetelmää pyrittiin arvioimaan ja vertaamaan tavanomaiseen 3D-suunnitteluun.</p> <p>Työssä laadittiin ohjausarvoilla ohjattava malli tuoteosiosta. Tehtävä oli vaikea. Tuoteosion rakenteen mallintaminen vaati ohjelmointia toimiakseen automaattisesti. Samalla päätettiin ohjata mallia ohjelmoidun käyttöliittymän kautta. Tehtiin myös mahdolliseksi tuoda muunnettuja malleja samaan layoutiin ohjelmoimalla rutiini, joka lisää etuliitteen osien tiedostonimiin.</p> <p>Kokeilu osoitti menetelmän soveltamisen toisaalta yksinkertaiseksi, mutta erityistilanteiden osalta monimutkaiseksi. Selkeästi jäsennettäviä malleja on usein nopeampi mallintaa menetelmällä, mutta mutkikkaat rakenteet vaativat suuren työn. Mallin lopullisessa hyödyntämisessä, tuoteosion muuntelussa, edut osoittautuivat erittäin merkittäviksi. Dokumentaatio tuli valmiiksi ja mallin jatkohyödyntäminen mahdolliseksi, aiempaan verrattuna, selvästi alle kymmenen prosentin ajan käytöllä.</p> <p>Tulosten perusteella Top-Down-menetelmä on hyödyllinen ja sovellettavissa oleva suunnittelu-tapa. Se soveltuu tuoteperheiden luomisen lisäksi myös yksittäisiin projekteihin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) mallintaminen, tietokoneavusteinen suunnittelu, kehittäminen		
Muut tiedot		

Author(s) NISSILÄ, Tuomas	Type of Publication Master's thesis	
	Pages 40	Language finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until _____	
Title TOP-DOWN-MODELING Is it the solution for defects of a routine 3D-designing?		
Degree Programme Automation technology		
Tutor(s) RANTAPUSKA, Seppo		
Assigned by confidential		
Abstract  <p>The purpose of the thesis was to produce written material for Top-Down modelling method for specialists who are interested in an advanced way to design. The Autodesk Inventor was used as CAD system. Simultaneously, a test was made, the aim of which was to solve the modelling problem of the product. Technology was applied by method of Rami Nevala, a consult of CAD-systems. In addition, the method was assessed and compared to routine 3D-modeling.</p> <p>A model of the item of product was created that was controlled using control values. The problem was difficult. Modeling the structure of the item of product required programming to get it to work automatically. At the same time it was decided to control the model by using a programmed user interface. Also it was made possible to add modified models to the same layout by programming the routine, which adds a prefix to the filenames of the parts.</p> <p>The test proved that on one hand it is simple to apply the modeling method, but on the other hand, it is complex in special cases. Usually it is faster to model models that are clear to analyze with this method, but complex structures require more work. With the utilization of the model, modifying the item of product, there are very marked advantages. The documentation was finished and it became possible to follow up the utilization of the model and less than then percent working was required than before.</p> <p>Based on the results, the Top-Down-method is a way to design that is helpful and possible to apply. It is suitable to single projects beyond creating product families.</p>		
Keywords Modeling, computer aided designing, developing		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>TARKOITUS JA TAVOITTEET .....</b>	<b>4</b>
2.1	Idea Top-Down-menetelmän dokumentoimisesta .....	4
2.2	Toimeksiantajan määrittelemä tavoite .....	5
<b>3</b>	<b>TAVANOMAISEN 3D-SUUNNITTELUN YLEISET ONGELMAT .....</b>	<b>6</b>
3.1	Tavanomainen 3D-suunnittelutekniikka.....	6
3.2	3D-suunnittelun tyypilliset ongelmakohdat .....	8
3.3	Onko Top-Down-menetelmä ratkaisu ongelmiin?.....	10
<b>4</b>	<b>TOP-DOWN-MENETELMÄ JA SEN SOVELTAMISPERIAATTEITA ....</b>	<b>12</b>
4.1	Menetelmästä olemassa oleva tieto .....	12
4.2	Sovellettava tekniikka .....	14
<b>5</b>	<b>MENETELMÄN SOVELTAMINEN KOLMIOMAISESSA RUNGOSSA ..</b>	<b>18</b>
5.1	Toimeksiantajan tarve .....	18
5.2	Runkorakenteen ratkaisutavat ja ongelmat .....	19
5.3	Tasolevyn luonti rungon päälle .....	28
5.4	Piirustusten luonti Top-Down-mallille.....	30
<b>6</b>	<b>TOP-DOWN-MALLIEN KÄYTTÖLIITYMÄT .....</b>	<b>31</b>
6.1	Kehittäjien laatimien käyttöliittymien pohjaisuus yleensä.....	31
6.2	Toteutetun käyttöliittymän ohjelmoidut ominaisuudet .....	32
6.3	Mallin muuntaminen käyttöliittymää hyödyntäen .....	33
<b>7</b>	<b>TULOKSET JA MENETELMÄN ARVIOINTI .....</b>	<b>35</b>
7.1	Menetelmän soveltuminen rungon suunnitteluun .....	35
7.2	Menetelmän soveltuminen suunnitteluun yleisesti.....	36
<b>8</b>	<b>POHDINTA JA YHTEENVETO.....</b>	<b>38</b>
	<b>LÄHTEET.....</b>	<b>40</b>

# 1 JOHDANTO

Mekaanisessa suunnittelussa on yleisesti alettu hyödyntää tietotekniikkaa 90-luvun alun vaiheilla. Piirustuslaudasta on siirrytty ”pienempään ruutuun” niin sanottuja 2D-suunnitteluohjelmistoja hyödyntämään. Ohjelmistojen kehittämisajatuksena on ollut usein saman piirtämisen mahdollistaminen sähköisesti, jolloin voitaisiin hyödyntää ja muokata jo tehtyjä piirustusdokumenteja eikä tarvitsisi ”raaputtaa” vanhoista dokumenteista muutoskohtia uuden dokumentin luomiseksi.

Yhtä suureksi murrokseksi on kuvattu siirtymistä 2D-tekniikasta 3D-tekniikkaan. Tällöin on taas samalla tavoin joitakin ajankohdan vanhemman sukupolven suunnittelijoita päätyntä olemaan opettelematta enää uutta työkentelytapaa. Uusi sukupolvi on aina uusien mahdollisuuksien tullen samalla menettänyt jotakin todellista hyvää vanhojen tapojen jäädessä. Tällainen seikka on esimerkiksi se, että 3D-työkentely ei enää vaadi täysimittaista teknistä piirustustaitoa niin välttämättömästi kuin ennen, tai ainakaan piirtämistä ei enää hallita niin hyvin. 3D-tekniikassa luodaan ja muokataan tilavuus- ja pintamalleja. Niistä luodaan tarvittaessa puoliautomaattisesti teknisiä piirustuksia. Malleja hyödynnetään myös suoraan työstökoneiden ohjelmoinnissa erityisesti muotopintoja koneistettaessa.

3D-tekniikka ei ole todellisuudessa vähentänyt suunnittelun työmäärää niin paljon, kuin on oletettu ja toivottu. Tavanomaisessa mallinnustavassa, eli tavassa johon ohjelmistot on lähtökohtaisesti kehitetty, tehdään paljon manuaalista päivittämistä, joka ei varsinaisesti luo uutta. Tavanomaisen tavon ongelmia luetellaan ja pohditaan tarkemmin luvussa 3.

Opinnäytetyö käsittelee erästä menetelmää, jolla pyritään ottamaan mahdollisimman suuri hyöty kerran luodusta ja muuntelemaan tehokkaasti kerran luotua noudattaen sitä loogisuutta, mikä on mallinnusvaiheessa todellisuuden tarpeiden perusteella määritetty. Menetelmän toteuttamista voidaan pitää yhtenä tapana automatisoida suunnittelua. Suunnittelua ollaan yleisesti voimakkaasti automatisoimassa. Useimmat toteutettavat tavat ohjaavat jonkinlaisella

käyttöliittymällä 3D-mallin mittaparametreja, jolloin malli muuttuu annettujen arvojen mukaan. Parametrien välille luodaan riippuvuuksia, jolloin annettavien arvojen määrä on mahdollisimman pieni. Asiat, joiden looginen riippuvuus tiedetään, päivittyvät automaattisesti. Työssä sovellettava Top-Down-menetelmä hyödyntää tämän lisäksi ohjausmallia, jolloin riippuvuudet sisältyvät suurelta osin jo malliin itseensä.

## 2 TARKOITUS JA TAVOITTEET

### 2.1 Idea Top-Down-menetelmän dokumentoimisesta

Mekaanisessa suunnittelussa tulee mallintamisen kannalta haasteellisia tilanteita vastaan. Mallintamisella on myös joskus merkittäviä soveltamismahdollisuuksia. Ylempi ammattikorkeakoulututkinto tarjosi hyvän mahdollisuuden opinnäytetyöprojektille, jossa sovellettiin Top-Down-menetelmää. Toimeksiantajayritys sai käyttöönsä tuotteensa suunnitteluun käytettävän Top-Down-periaatteella laaditun konfiguraattorin, jolla tuotevariaatiot olivat nopeita muodostaa. Työssä laadittiin ohjeistusta Top-Down-mallinnustavasta ja vertailtiin sitä tavanomaiseen mallinnustapaan. Tieto aineiston tarpeesta saatiin CAD-kouluttajana ja konsulttina toimivalta Rami Nevalalta, joka tuki toimeksiantajayrityksen etsimistä.

*Työn raportti tulee olemaan arvokas aineisto menetelmän soveltamista kokeileville ja kehittäville, koska menetelmästä ei ole tähän mennessä juurikaan olemassa suomenkielistä aineistoa (Nevala 2008).*

Raportin laatimisessa päätettiin noudattaa kehittämis- ja tutkimustyön raportointikäytäntöjä, joista saatiin tietoa teoksesta ”Tutki ja kirjoita” (Hirsjärvi ym. 2008) sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun opinnäytetöiden raportointiohjeesta (Liukko & Perttula 2007).

Työn aiheen ajateltiin olevan suurin piirtein ”Raa’an suunnittelutyöosuuden automatisointi”. Top-Down-menetelmän todettiin olevan sovellettavissa useimpia 3D-suunnitteluohjelmistoja käyttäen, mutta CAD-järjestelmänä käytettiin Autodesk Inventoria, jonka käyttöön Nevala on suurimmaksi osaksi keskittynyt ”jatkojalostaessaan” mallinnustapoja Top-Down-suunnitteluun.

## 2.2 Toimeksiantajan määrittelemä tavoite

Toimeksiantajayritys löytyi loppuvuodesta 2008. Tällöin tavattiin projektin työryhmällä: opinnäytteen tekijä, toimeksiantajayrityksen tuotteen tekninen asiantuntija ja konsultti Rami Nevala. Ideoitiin karkeasti osapuolten toimiminen ryhmässä ja yhteydenpitotavat. Tekninen asiantuntija tuli toimimaan työelämäta-hon ohjaajana projektissa antaen tarvittavaa lähtötietoa ja materiaalia kuten tuotteen aikaisemman mallin, valmistuspiirustuksia ja erilaisia tuotoksen lopul-liseen muotoon liittyviä määrittelyjä. Opinnäytetyön tekijä paneutui ratkaise-maan mallinnustehtävää ja laatimaan dokumentaatiota. Konsultti perehdytti menetelmään ja toimitti karkeaa aineistoa siitä.

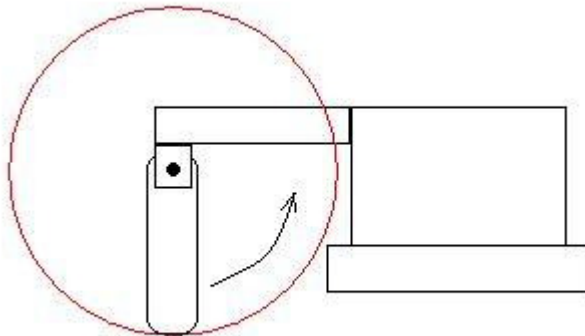
Vuoden 2009 tammikuun alussa toimeksiantajan tiloissa pidetyssä aloituspa-laverissa sovittiin virallisesti projektista, jossa kehitettäisiin malli yrityksen tuo-teratkaisuun liittyvästä kokonaisuudesta. Malli olisi ohjausarvoilla ohjattava ja Top-Down-menetelmää soveltaen laadittu. Tuotteen tekninen asiantuntija määritteli päätavoitteeksi ratkaista tuotteeseen liittyvän runko-osan mallin-nusongelman. Niin toimeksiantajayrityksen henkilöt kuin Nevalankin pitivät mallin toteuttamista valitulla menetelmällä vaikeana. Menetelmää ajateltiin vertailtavan tavanomaiseen 3D-mallintamiseen tehden tehokkuuskokeita mal-lintamisaikaa mitaten. Kokeita ei kuitenkaan projektin kuluessa suoritettu aika-taulullisista syistä johtuen. Kokeiden suunnittelu, toteuttaminen ja tulosten ra-portoiminen olisi ollut työlästä tulosten oikeellisuusvaatimuksen takia. Asiak-kaalle tuotetun muunneltavan mallin tuoma suunnittelutehokkuuden lisäys kui-tenkin todensi asioita niin konkreettisesti, että menetelmän arviointia voitiin jossain määrin suorittaa.



### 3 TAVANOMAISEN 3D-SUUNNITTELUN YLEISET ONGELMAT

#### 3.1 Tavanomainen 3D-suunnittelutekniikka

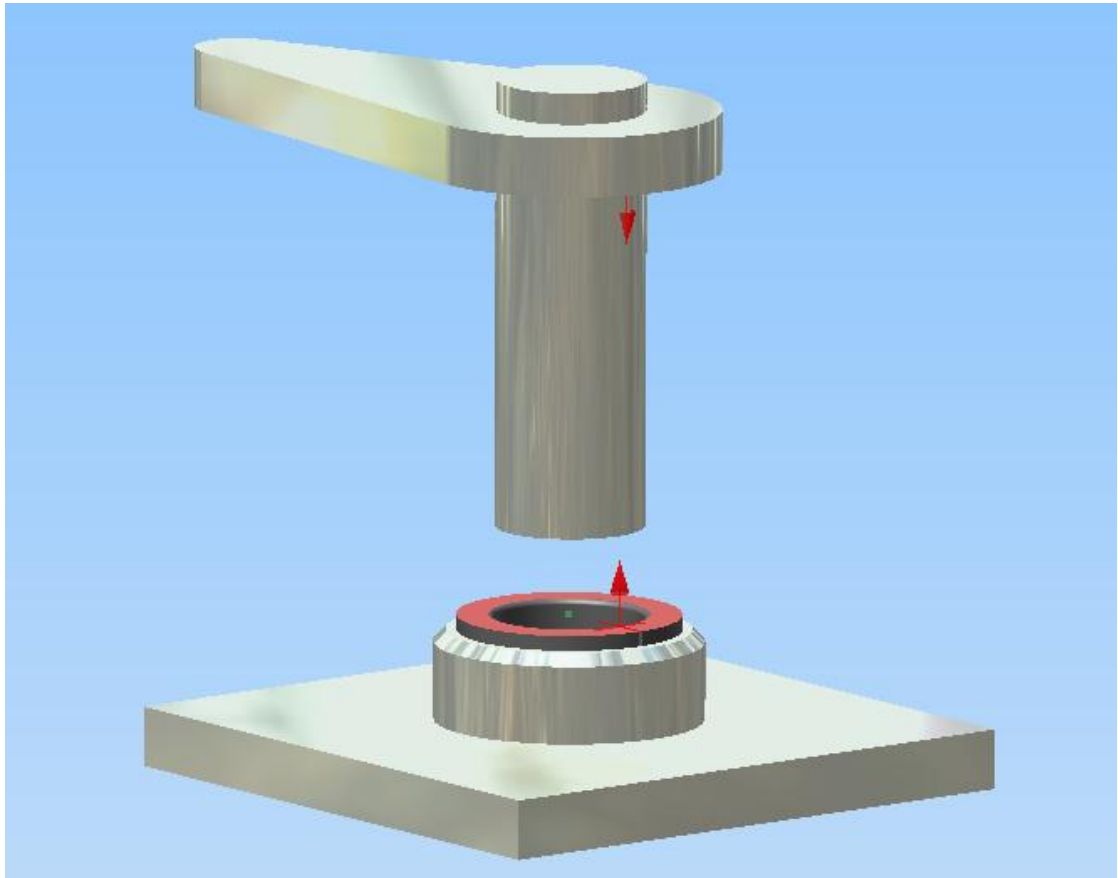
Markkinoilla on hyvin paljon mekaaniseen suunnitteluun suunnattuja 3D-CAD-järjestelmiä. 3D-suunnittelu poikkeaa ratkaisevasti 2D-suunnittelusta. 2D-suunnittelussa luodaan, tai oikeastaan piirretään, viivatekniikalla 2D-malli, joka on useimmissa tapauksissa jo arkille sijoitettava piirustus. Näin ollen suunnittelu on hyvin suoraviivaista. Työskentelyn tuloksena syntyvät tekniset dokumentit, vaikka 2D-mallia luotaessa tehtäisiinkin jonkin verran erilaisia kohteita fyysisistä mittasuhteista. Voidaan esimerkiksi piirtää kääntyvän osan ulottumisympyrä, kun tutkitaan ulottuuko osa kääntyessään toiseen osaan (ks. kuvio 1).



KUVIO 1. Ulottumisympyrän piirtäminen

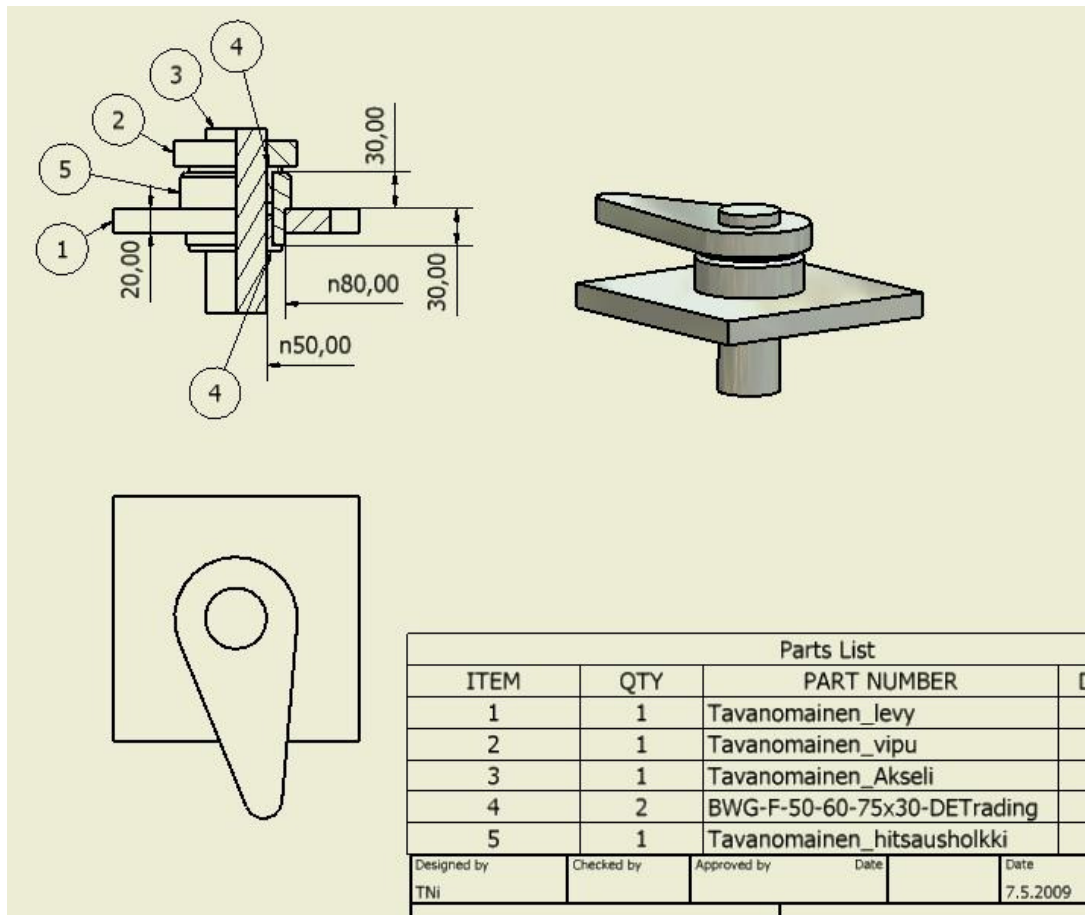
Piirustukseen voidaan sijoittaa hyvin mielivaltaisesti kuvantoja valmistusvaihetta varten, koska niiden kopioiminen ja siirtäminen tapahtuu manuaalisesti. Sen sijaan 3D-suunnittelussa ollaan enemmän sidoksissa mallin kokoonpanojen rakenteeseen. Seikka ohjaa noudattamaan mm. Peren piirustopeissa mainittua hierarkkisuutta (Pere, A. 1987), jonka mukaan yhdessä piirustuksessa esitetään vain yksi kokoonpanotaso. Tällöin ei koota mielivaltaisesti kuvantoja samalle arkille.

3D-suunnittelussa ideoinnin ja mahdollisen käsin piirtämällä tehdyn hahmotte-  
lun jälkeen aletaan kehittää mallia. Kehittämisen päätarkoitus on löytää fyysi-  
siä mittasuhteita komponenteille ja kokoonpanoille. Mallia luotaessa jatketaan  
ideointia. Suunnitelman muuttuessa täytyy mallinnettuja osia ja kokoonpanoja  
muuttaa, tai luoda osista eri konfiguraatioita. Tyypillisesti luodaan joitakin osia  
ja liitetään ne sitten toisiinsa kokoonpanorajoittein (ks. kuvio 2).



KUVIO 2. Osien sitominen toisiinsa kokoonpanorajoittein kokoonpanossa

Piirustusten luonti tapahtuu tuomalla osamallien tai kokoonpanojen kuvantoja  
arkille. Kuvannot alkavat noudattaa malleja niiden muuttuessa. Kuvanto luo-  
daan siis siinä mielessä automaattisesti, että sitä ei piirretä, vaan sen näkyvät  
muodot ja taustalle jäävät muodot valitsevat viivatyypinsä itsestään. Lisäksi  
kuvantojen esitystapaan voidaan vaikuttaa, kuten esimerkiksi että näkyvätkö  
taustamuodot lainkaan. Malli, johon luotu kuvanto on yhteydessä, voidaan  
joissakin tapauksissa vaihtaa, tai voidaan valita haluttava konfiguraatio mallis-  
ta esitettäväksi kuvannossa. (Ks. kuvio 3.)



KUVIO 3. Luotu piirustus

### 3.2 3D-suunnittelun tyypilliset ongelmakohdat

Suunnittelijan tehtävässä tulee vastaan lukuisia ongelmia tehokkuuteen ja ajankäytön järjestykseen liittyen. Tehokkuus on osoittautunut vaikeaksi käsitteeksi, koska suunnittelu ja tuotekehitys vaativat useimmiten luovuutta, tuottavuutta ja realistisuutta yhdenaikaisesti. Työtä on hyvin vaikea tehdä tehokkaasti. Nämä havainnot on tehty vuosikymmenen erilaisissa suunnittelullisissa tehtävissä toimimisen aikana. Sen sijaan työmenetelmävalinnoilla voidaan vaikuttaa tehokkuuteen. Nevalan mukaan Top-Down-menetelmä poistaa useaan kertaan tehtävän työn (Nevala 15.4.2008, puhelinkeskustelu).

Mekaanisia ratkaisuja suunniteltaessa 3D-CAD-ohjelmiston odotetaan yleisesti tuovan etuja. Aikaisemmin tehdyn hyödyntämisen ja muuntelun odotetaan tehostuvan. Verrattuna 2D-suunnitteluun etu on osoittautunut käytännössä tehokkuuden osalta pieneksi tavanomaisissa koneenrakentamistapauksissa.

Suurta etua sen sijaan on saavutettu muotoihin työstettävien pintojen suunnittelemisessa koneistusosiin.

3D-suunnittelussa näköiskysymyksiin sorrutaan usein kiinnittämään liikaa huomiota. Monissa tapauksissa liiallinen pyrkimys todenmukaisuuteen mallintamisessa ei tuo lisäarvoa tuotteesta valmistusta varten laadittaviin dokumentteihin. Sen sijaan perusteltua mallin tarkkuus ja todenmukaisuus on, jos suunnitteluvaihe vaatii tarkkaa demonstrointia ja todenmukaisuutta hyödynnetään tuotteesta esittelytarkoituksiin tuotettavissa visualisoinneissa, ja kun mallia hyödynnetään suoraan tuotantokoneissa valmistusvaiheessa. Toisaalta moni konelinjatoimittaja toteaa suuren konelinjan mallin olevan raskas käsitellä työasematietokoneessa. Yksittäisiä laitteita lay-out-malliin linjaksi koottaessa kokonaisuus koituu pienistä, epäolennaisista yksityiskohdista johtuen hyvin rasakaksi.

Toki 3D-ohjelmistojen tilavuusmallin lujustarkastelu on tuonut kuormitusten asettelun ja mallin eri osien liitosten määrittelemisen vaikeudesta huolimatta suurta etua. Myös animaatiot ja simulointi tuovat lisäetua. 3D-suunnittelutavan perusrakenteen tuoma suurin etu, parametrisyys, on 2D-suunnitteluun verrattaessa mullistava, mutta vajavaisesti hyödynnetty ominaisuus. Yksistään osien muuttaminen mittoja editoiden ei vielä tuo täyttä etua parametrisyydestä.

Kun kokoonpanoja mallinnetaan 3D-ohjelmistolla tavanomaista työtapaa noudattaen, osat ("parts") sidotaan toisiinsa kokoonpanorajoitteilla ("constraint", "mate"). Kokoonpanosta voi rakentua mutkikas kokonaisuus, jos kehittäjä kestää pitkään ja on mittavaa. Törmätään tilanteeseen, jossa tehtäessä muutos joihinkin osiin seurauksena ilmestyy kokoonpanon piirrepuuhun virhesymboleja, usein runsaastikin. Muutoksen jälkeen virheitä täytyy työläästi "perata". Virheiden korjaileminen vaatii tarkkaavaista tutkimista eri osien välisiä rajoitteita läpi käyden ja osien dimensioita muutellen, joskus taskulaskintakin apuna käyttäen. Monimutkaisen mallin osien muutosten aiheuttamat edelleen muuttamistarpeet ovat vaikeita määrittellä. Kyseinen työ on tuottamatonta. Työ on vain päivittämistä, ei varsinaisesti uutta tuottavaa suunnittelua. Mikäli osien ja alikokoonpanojen mallintamisessa ei ole kiinnitetty huomiota päivittyvyyteen esim. harkittua luonnosrajoittelua, adaptiivisuutta tai konfiguraatioita hyödyn-

täen, on moni osa editoitava manuaalisesti erikseen, vaikkakin ehkä vain mit-taparametreja muutellen.

Tuotteiden ja tuoteperheiden muuntelu tarjouspyyntöjen mukaisiksi vaatii usein mallin tapauskohtaisen muuntamisen tilanteeseen. Tämän jälkeen ollaan valmiita tekemään tuottamiskustannusten laskenta tarjousta varten. Muuntaminen tavanomaisella tavalla toimien sitoo suunnittelijan pitkäksi aikaa estäen tätä tekemästä muuta kehittämistyötä muuttamistyön ajalla. Jotkut CAD-järjestelmäkonsultit ovat selkeitä tuotemuunnoksia varten rakentaneet konfiguraattoreita, jotka generoivat kokoonpanon osien dimensiot ja kokoonpanorajoitteet erilaisia suhteellisia sidonnaisuuksia ja tarkoitusta varten luotuja kaavoja noudattaen. Lisäksi käyttöliittymä ja mahdolliset taulukot ohjaavat kokoonpanomallia. Edelleen ohjataan kuitenkin suoraan kokoonpanoa ja ollaan haavoittuvassa rakenteessa, joka voi lakata toimimasta tai tuottaa virheilmoituksia pienenkin puutteellisuuden kohdatessa, esim. jonkin osan kadottua. Sillä tavoin luotu malli on lisäksi hyvin raskas, koska kokoonpanorajoitteet aiheuttavat suhteellisen suuren osan laskentatehotarpeesta. CAD-konsulttiyrityksissä tunnetaan tosin melko yleisesti niin sanottu ”luurangosta” lainaaminen eli skeletonmallinnus, jota voidaan soveltaa osana Top-Down-tekniikkaa. Muun muassa CadWorks Oy:n teknisen tuen mukaan luurankotekniikka on mahdollinen SolidWorks-ohjelmistossa sovellettavaksi (tekninen tukihenkilö, CadWorks Oy 7.4.2009, puhelinkeskustelu).

### **3.3 Onko Top-Down-menetelmä ratkaisu ongelmiin?**

Nevalan mukaan Top-Down-mallinnusmenetelmä mahdollistaa nopean tarjousreagoinnin, koska muutostyö tapahtuu pääasiallisesti vain ohjausmallia muuttaen, jolloin yksittäisiä osia ei tarvitse avata editoitavaksi erikseen. Kokoonpano ilman kokoonpanorajoitteita on tavanomaisella tavalla laadittua kokoonpanoa huomattavasti keveämpi. Menetelmä vähentää työmäärää tuntuvasti jo yksittäisen tuotekokonaisuuden suunnittelussa, ja erityisesti valmiin muuntelussa. (Nevala 15.4.2008, puhelinkeskustelu.) On tavallista, että tuotekehitysprojektissa erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja kokeiltaessa muunnellaan mallia paljon.

CAD-ohjelmistotalot eivät ole vielä kehittäneet ohjelmistojaan tukemaan erityisesti Top-Down-mallinnustapaa. Monellakaan CAD-järjestelmätoimittaja-organisaatiolla ei ole Suomessa asiantuntijaa, joka etsisi ja kehittäisi keinoja menetelmän soveltamiseksi edustamassaan järjestelmässä. Sinällään mallinnustapa (tai suunnittelutapa) on CAD-järjestelmäriippumaton, vaikkakin joidenkin järjestelmien parametrirakenne tukee luontevasti menetelmän soveltamista (mm. Autodesk Inventor ja ProEngineering). (Nevala 2008.)

Nevalan mukaan Top-Down-menetelmän soveltamisen peruseriaatteet ovat sisäistettävissä hyvin helposti, jos on saatavilla selkeää ohjeistusta (Nevala 15.4.2008, puhelinkeskustelu). Myös opinnäytetyössä suoritettu sovelluskoe ja sitä edeltävä menetelmään perehtyminen vahvistivat asian. Työskentelyssä pätevät suurelta osin samat asiat kuin tavanomaisessa mallintamisessa. Esimerkiksi luonnosrajoitteiden kehittynyt soveltaminen on samalla tavoin tehokas tapa hallita mallin ominaisuuksia. Top-down-menetelmän edistynyt soveltamistaito on kuitenkin kehittymisen tulos, niin kuin on asia tavanomaisenkin mallintamisen suhteen. Menetelmää sovellettaessa törmätään jossain määrin uudentyypisiin ongelmiin. Siitä seuraa se, että menetelmän laajamittainen käyttöönotto vie aikaa. Tosin opittuaan menetelmän peruseriaatteet ja keinot sen soveltamiseen käytettävänä olevassa CAD-järjestelmässä kykenee nopeasti harjaantumaan mallien luomisessa. Merkittävä asia on se, että kehittyy kyky päättää mallin rakentamistavasta ja perusrakenteesta luomisen alkuvaiheessa, koska se ohjaa edulliseen suuntaan usein monitahoista suunnittelu- ja kehittäelytyötä.

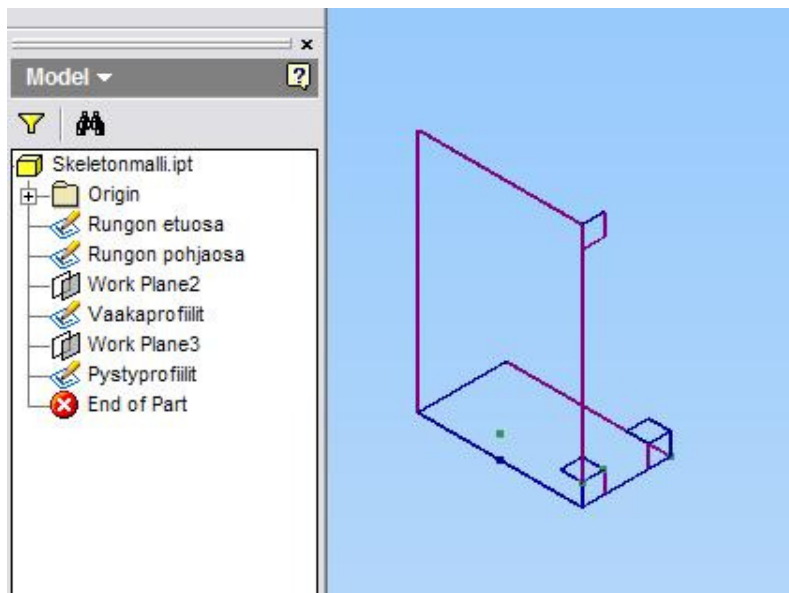
## 4 TOP-DOWN-MENETELMÄ JA SEN SOVELTAMISPERIAATTEITA

### 4.1 Menetelmästä olemassa oleva tieto

Karkeaa hakua suorittaen on löydettävissä jonkin verran tietoa Top-Down-menetelmästä suunnitteluun liittyen. Internetistä löytyy tietoa termistä ja siitä, mitä sen ajatellaan merkitsevän mallinnuksessa. Termi tunnetaan joillakin tieteen aloilla lopputuloskokonaisuudesta lähtevänä tuottamis- tai ratkaisutapana. Vastakohtaisena terminä, tavanomaista mallintamista kuvaamaan, voidaan havaita käytettävän Bottom-Up-termiä.

Solidworks-3D-ohjelmistolla on [www-sivujen](http://www.solidworks.com) demonstraatioiden mukaan ([www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)) toteutettu top-down-menetelmää siten, että kokoonpanotilassa osan piirteet luodaan täysin osoittaen toisen, aiemmin luodun osan äärireunoja. Pursotuspituudeksi voidaan osoittaa hallitsevan osan pääty ja osan piirteitä luotaessa voidaan osoittaa hallitsevan osan reunoja, jotka sijaitsevat kyseisillä kohdilla. Vaikkapa levyyn leikattava loveus voidaan projisoida hallitsevasta osasta. Tällöin luotu osa noudattaa orjallisesti aiemmin luotua, enemmän määräävää osaa halutuilla eroavuuksilla. Se on yksi tapa soveltaa Top-Down-menetelmää.

Toinen Top-Down-mallinnusmenetelmään usein yhdistettävä tekniikka on skeletonmallinnus. Tekniikassa luodaan luonnoksia, jotka ovat useimmiten kiinnittyneinä toisiinsa. Luonnoksia hyödyntäen luodaan osia ja kokoonpanoja, joiden sijainnit, piirteet ja mitat noudattavat skeleton-mallia. Tällöin kokonaisuutta kyetään ohjaamaan yhtä mallia (skeleton-osaa) muutellen (ks. kuvio 4). Tekniikka on erityisen luonteva profiileista koostuvan runkorakenteen konstruomiseksi. On mahdollista toimia myös irtonaisia luonnoksia hyödyntäen.



KUVIO 4. Esimerkki skeletonmallista

Jos skeleton-malliin lisätään apupiirteitä (työtasoja, työakseleita) ja tilavuusobjekteja, ollaan Nevalan soveltamassa mallinnustavassa (Nevala 2008). Future CAD Oy:n tukipalvelun Top-Down-suunnittelua käsittelevän materiaalin mukaan skeleton-malli voi sisältää tilavuusmalleja, pintoja, työpiirteitä, 2D / 3D-luonnoksia, parametreja sekä iMateja (Top-Down-suunnittelun perusteet, Future CAD Oy. n.d.).

Tilavuusobjektin hyödyntämistä on eräässä yhteydessä kutsuttu ”Muscular Modeling” -nimityksellä (Sean Dotson 2005). Vuonna 2000 julkaistussa Inventor-ohjelmiston pikaoppaassa mainitaan Top-Down-kokoonpanomallinnus kerrottaessa derived component -ominaisuuden hyödyntämisestä.

#### *What are derived assemblies?*

*A derived assembly is a new part that is based on an existing assembly. You can join parts within an assembly to a single body and also subtract a part from another part. This type of top-down assembly modeling makes visualization easier, helps avoid errors, and saves time.*

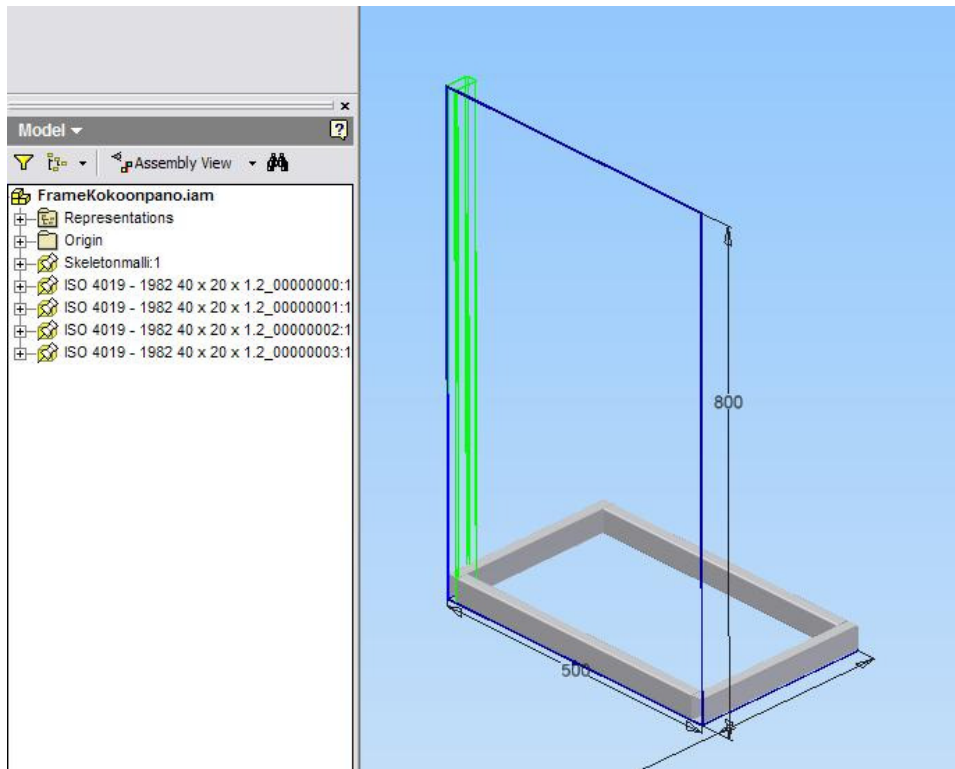
(Autodesk Inventor 4 – Getting Started 2000, 77.)



## 4.2 Sovellettava tekniikka

Eräessä Future CAD Oy:n skeletonmallinnusta käsittelevässä ohjemateriaalissa valotetaan mallintamisen periaatetta ja parametrilinkityksen hyödyntämistä niin osa- kuin kokoonpanomallinnuksessa (Skeletonmallinnus ja parametrilinkitys. Future CAD Oy. n.d.). Parametrilinkitystä voidaan hyödyntää kokoonpanossakin, mutta kokoonpanoon ei saada käyttöön ohjausmallista mitään muuta (Top-Down-suunnittelun perusteet. Future CAD Oy, n.d.). Toisaalta kokoonpanoon voidaan tuoda ohjausmalli referenssiosaksi, jolloin mallin ominaisuuksia voidaan hyödyntää. Opinnäytteen soveltamiskokeessa rungon palikiston luomiseksi hyödynnettiin ohjausmallia oltaessa kokoonpanotilassa.

Nevalan toimintatavassa osia laaditaan piirtäen niiden luonnoksia ohjausmalliin haluttuun paikkaan ja käyttäen ohjausmallissa kokoonpanon ja osien hallitsemiseen usein myös yhtä tai useaa tilavuusobjektia. Usein osaa luotaessa tuodaan tyhjään pohjaan ohjausmallin ominaisuuksia derived part -toiminnolla, tyypillisimmin luonnoksia ja apupiirteitä sekä ulkoistetuiksi määritellyt parametrit. Kun osa myöhemmin tuodaan kokoonpanoon, se paikoittuu ohjausmallia noudattavasti, kun sen origo sijoitetaan ja lukitaan kokoonpanon origoon. Lisäksi Nevalan toimintatavalla toimittaessa voidaan tarvittaessa tuoda kokoonpanon referenssiosaksi ohjausmalli, kun aloitetaan kokoonpanon luominen. Tällöin on mahdollista osoittaa ohjausmallin piirteitä, kun luo tai sijoittelee kokoonpanoon osia. Runkorakenteen ollessa kyseessä ja profiilien ollessa standardityyppiä Nevala suosittelee hyödyntämään mahdollisimman paljon Frame Generator -toimintoa (Nevala 2008). (Ks. kuvio 5.) Ohjausmallin särmäviivat ja luonnosviivat ovat oivallinen osoituskohde runkoon luotaville profiileille. (Nevala 2009.)



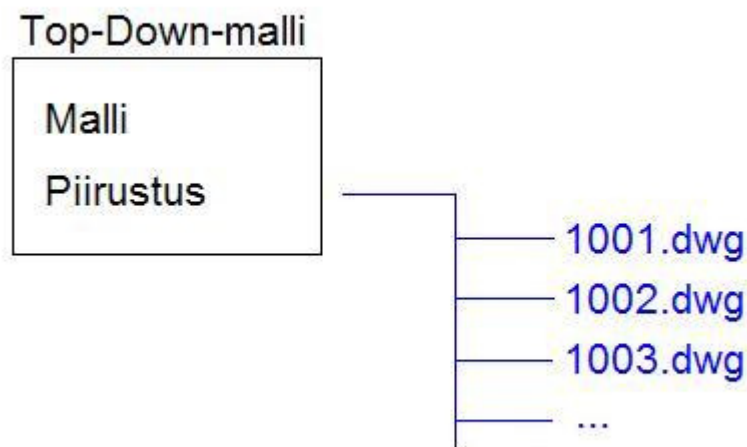
KUVIO 5. Runkokehikon luominen Frame Generator -toiminnolla.

Kokoonpanoa, alikokoonpanoja ja osia on selkeä hallita muuttamalla ohjausmallin parametreja. Tällöin kokoonpanot ja osat päivittyvät mukana. Tarvittaessa on mahdollista linkittää parametrit käyttöliittymään, joka on loppukäyttäjystävällisempi ja graafisuutta hyödyntäen luotuna havainnollisempi kuin parametritaulukko. Myös ohjelmoimalla luotu lomake ohjausarvojen muuttamiseksi on tehokas ja käyttäjää helpottava tapa toteuttaa mallin ohjaaminen. On hyvin käytännöllistä operoida ohjausmallin kanssa sen sijaan, että muuttelisi yksittäisten osien mittoja ja sijainteja, puhumattakaan kokoonpanorajoitteiden säätelämisestä. Tästä huolimatta on toki mahdollista soveltaa tavanomaista mallintamistekniikkaa sekatekniikalla toimien. Joissakin tilanteissa perusrakenteen noudattaessa ohjausmallia tapauskohtaisia ”tykötarpeita” on käytännöllinen lisätä malliin ”perinteiseen tyyliin” kokoonpanorajoitteitakin käyttäen.

Nevala on laatimissaan käyttöliittymissä ja malleissa toteuttanut myös osien korvautumistoimintoa. Sen avulla esim. akselin paksuuden kasvaessa ja sovittevälikkeen ohennuttua sallitun alle akselia tukeva laakeri korvautuu seuraavalla isommalla koolla. Luonnollisesti myös kuormitettavuus voi olla ohjaava tekijä. Inventorin ollessa järjestelmänä korvaustoimintoon on mahdollista yh-

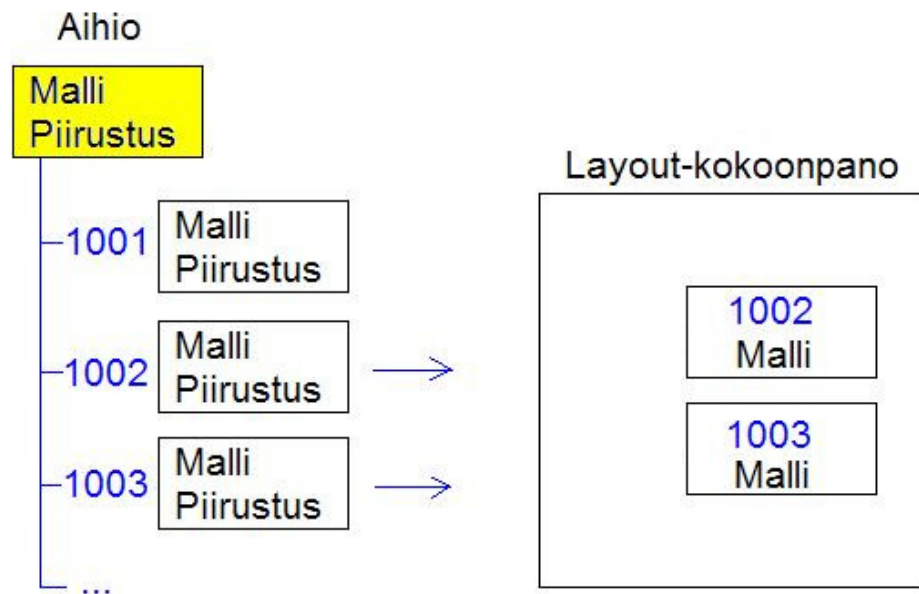
distää iPart ja iAssembly-ominaisuudet tuomaan osien variaatiot taulukkorakenteisina hallittaviksi.

Top-Down-mallin muunneltujen yksilöiden taltioimisessa voidaan noudattaa eri käytäntöjä. Voidaan esimerkiksi taltioida piirustukset eri formaattiin (esim. dwg), jolloin samaa mallia voidaan taas muunnella uuteen tapaukseen. (Ks. kuvio 6.)



KUVIO 6. Saman mallin muunteleminen

Opinnäytetyössä mallista luotiin perustapaus ja kansiorakenne, jota uuden yksilön tarpeen tullen kopioitiin uuteen paikkaan uudeksi tapaukseksi, joka muunnettiin vaatimusten mukaiseksi. Haluttaessa tuoda eri yksilöitä layoutkoonpanoon täytyi huomioida, että muunnetuilla yksilöillä oli täsmälleen samannimisiä osia. Yksilöt olivat tässä tapauksessa kokoonpanoja itsekin. Samannimiset osat tekisivät yhteen tuomisen mahdottomaksi. Täytyi kehittää käyttöliittymään toiminto, joka antoi muunnettavan yksilön osille tiedostonimiin projektietuliitteen, jolloin eri kokoonpanojen osien nimet poikkesivat aina toisistaan, eivätkä sekoittuneet layout-pääkokoonpanossa (ks. kuvio 7).



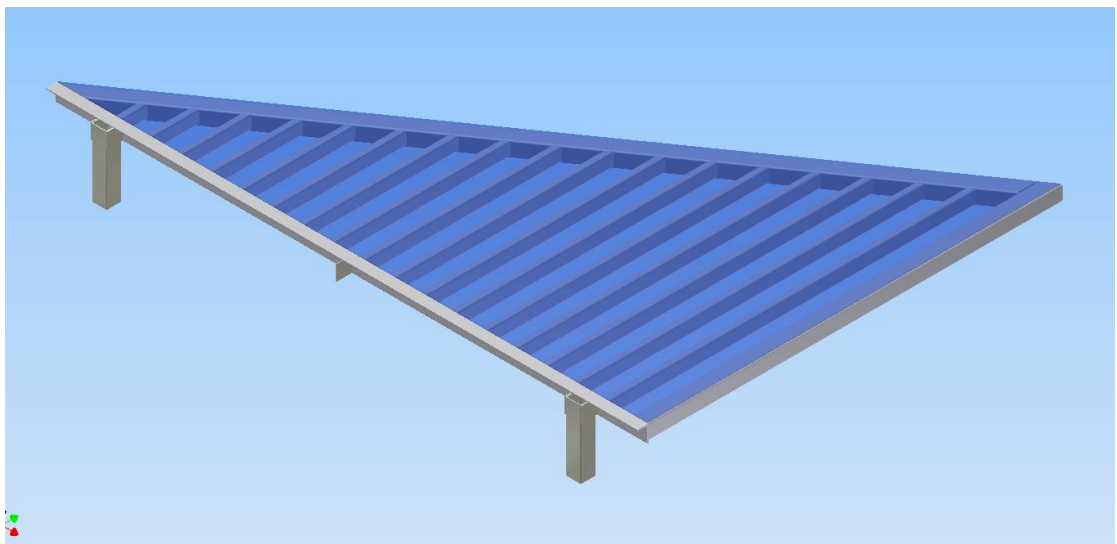
KUVIO 7. Aihioista tehdään kopioita, joita muunnellaan.

## 5 MENETELMÄN SOVELTAMINEN KOLMIOMAISESSA RUNGOS- GOSSA

### 5.1 Toimeksiantajan tarve

Toimeksiantaja asetti päätavoitteeksi ratkaista kolmiomaisen rungon rakenteen, jota pidettiin automaattiseksi malliksi luomisen kannalta vaikeana. Kolmion yksi vakiokulma on 90 astetta. Runko toimii lattiatasona ja kantavana alustana muille sen yhteydessä oleville rakenteille. Runkoa on suunniteltu kauan tavanomaista 3D-mallinnusta hyödyntäen.

Rungon täytyisi muuntua ulkoisen kulmamitan mukaan, joka ilmenee lopputilastaan yhteistyötahojen määrittelemistä dokumenteista. Rungon oma kulmamitta olisi 90 astetta vähennettynä ulkoisella kulmamitalla, jolloin runkokolmio kapenisi ohjauskulman suurentuessa ja päinvastoin. Rungon reunakehikopalkkien päällä tulisi olemaan tasolevy, jonka sivujen mitat päivittyisivät runkokolmion mukana (ks. kuvio 8) (tasolevy kuvassa läpinäkyvä sininen). Tason alla, kehikon sisäalueella olisi lattiapalkisto, joka tukisi tasoa. Palkiston jaon tulisi olla muutettavissa tapauskohtaisten kantavuusvaatimusten mukaan. Rungon leveyden sen sijaan oletettaisiin pysyvän vakiona.



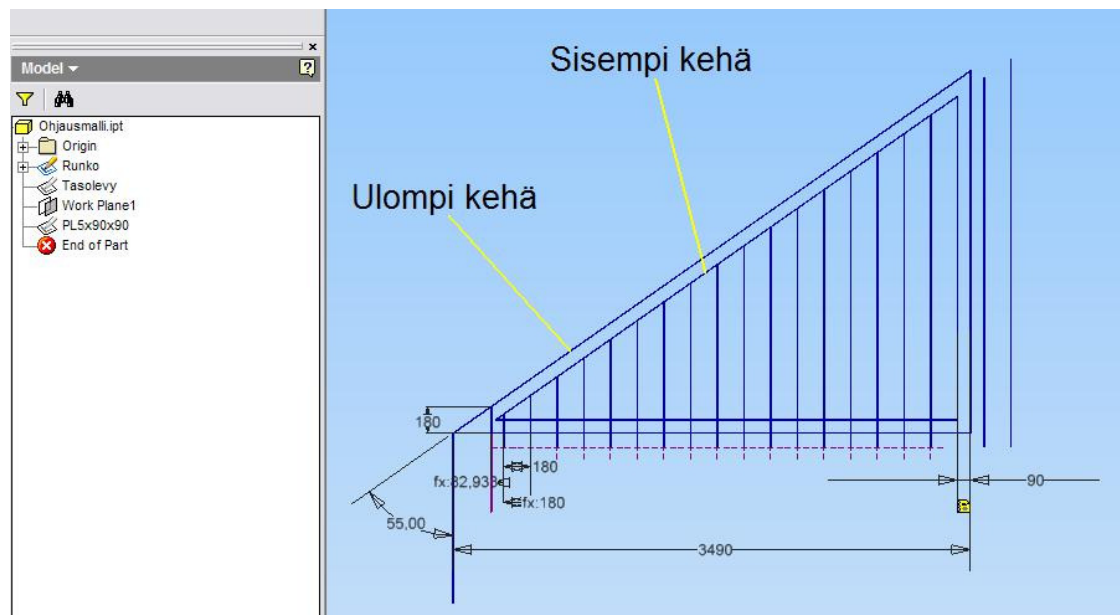
KUVIO 8. Runko

## 5.2 Runkorakenteen ratkaisutavat ja ongelmat

### Rungon reunat

Rungon reunaputkipalkkien ja L-tangon muodostama ulkokehikko oli selkeä mallintaa. Tapaukseen haluttiin soveltaa kokeilumielessä Frame Generatoria, jolla nurkkaliitokset oli käytännöllistä mallintaa. Vaatimusta Frame Generatorin käyttöön ei ollut. Myöhemmässä vaiheessa havaittiin ominaisuuden varjopuolel osien nimitysten hallinnan kannalta, mutta työkalu todettiin muuten hyvin käyttökelpoiseksi palkkirunkojen toteuttamiseen.

Ohjausmalliin luotiin ensin luonnos, joka sisälsi kehikon reunaviivat ja offset-toiminnolla sivupalkkien paksuuden verran sisennetyt kehän (ks. kuvio 9). Kehä oli myöhemmässä vaiheessa hyödyksi, kun lattiapalkkeja sovitettiin väli-tilaan. Luonnos nimettiin Runko-nimiseksi.



KUVIO 9. Rungon luonnos

### Lattiapalkisto

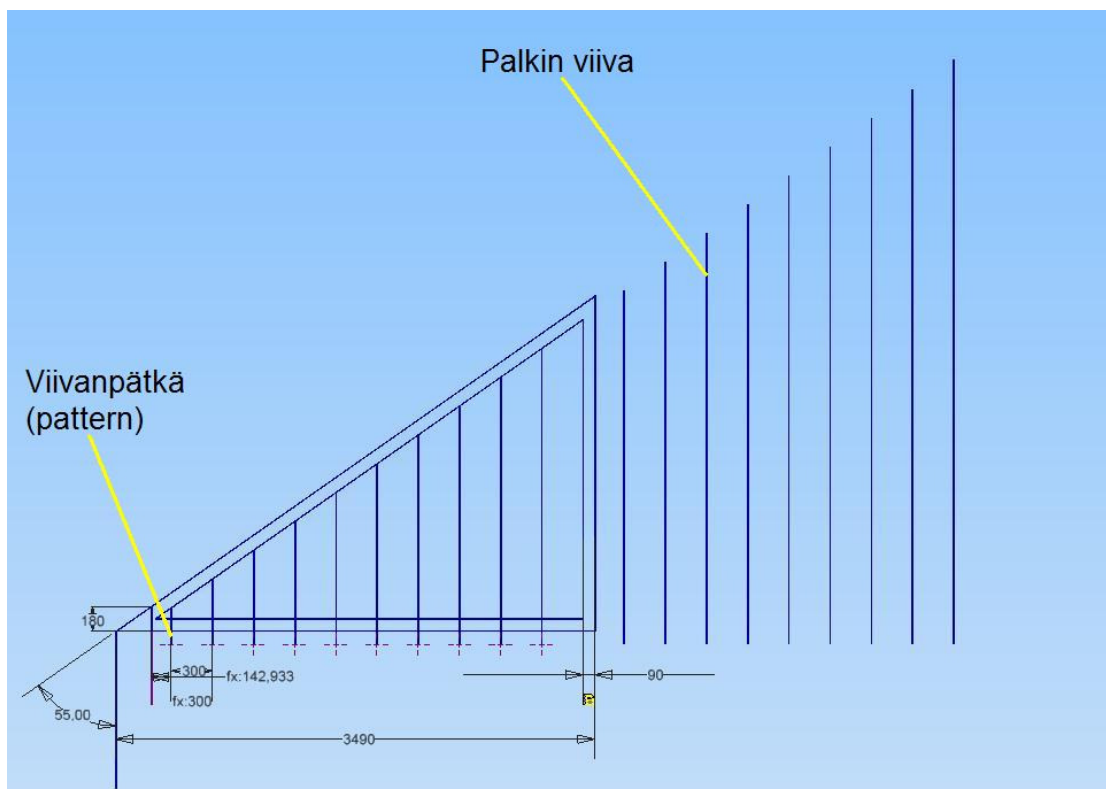
Lattiapalkiston mallintaminen Top-Down-menetelmää soveltaen näytti vaikealta. Palkit eivät olleet suinkaan monistusryhmä samanpituisia palkkeja, vaan kukin omia erimittaisia yksilöitään, koska palkiston ”ylä-” ja ”alajuoksu” tavallaan loittonevat. Tällöin palkkien määrää ei kyetä hallitsemaan yhdellä pattern-

ryhmän jäsenten määrää ohjaavalla parametrilla. Tutkittiin, olisiko iFeature-ominaisuuden käyttö ratkaisu ongelmaan. Kangasteli ajatus, että monistettaisiin palkin profiililuonnosta ja sitten pursotettaisiin kukin yksilö yksitellen vasten vinon palkin kylkipintaa. Näytti, että palkiston määrän päivittämistä ei saataisi toteutetuksi täysin automaattisena, vaan arvojen antamisen ja päivittämisen jälkeen täytyisi vielä käydä lattiapalkiston pituudet ja määrä läpi manuaalisesti.

Ratkaisua etsittäessä pidettiin mahdollisuutena käyttää ohjelmointia hyväksi. Pohdittiin ajatusta luonnosten monistamisesta. Monistettaisiin luonnosta ja sitten toistettavana rutiinina pursotettaisiin kukin luonnos erikseen vasten vinoa palkkia. Ajatusta varjosti se, että jos palkkien määrää haluttaisiinkin antaa uudemman kerran, mahdollisia vanhoja palkkien tiedostoja täytyisi tuhota aina rutiinin alussa.

Ohjelmointimahdollisuus tarjosi myös seuraavanlaisen mahdollisuuden: Frame Generator tarvitsee palkin luomiseen viivan, jonka matkalle palkki luodaan. Voitaisiin luoda ohjaava erillinen viivanpätkä, jota monistettaisiin pattern-toiminnolla. Kunkin viivanpätkän päästä piirrettäisiin jatkumaan ”alajuoksusta” ”yläjuoksuun”, eli alhaalla olevasta L-profiilista vinoon putkipalkkiin ulottuva viiva. Viivanpätkäpatternin jako määräisi palkkiviivojen jaon ja sijainnin. Palkkiviivoja tuli olla niin monta, että tiheimmälläkin palkkijaolla ne riittäisivät täytettävälle matkalle runkokehikon sisään (ks. kuvio 10). Sitten oli mahdollista hyödyntää palkkiviivoja kokoonpanossa luotaessa Frame Generator -toiminnolla palkkeja, sillä ohjausmallihan oli tuotuna kokoonpanoon referenssiosaksi. Palkit luotiin samalla tavoin antamalla profiilityypin ja osoittamalla viivoja. Kun palkkeja oli luotu kokoonpanoon, ne täytyi vielä tasata vinon palkin kylkeen päätyviksi Frame Generatorin ”Trim and extend to face”-toiminnolla.

Palkkeja luotaessa annettiin palkeille nimityksiksi nimi, joka sisälsi osan ”lattiapalkki”. Myöhemmässä vaiheessa palkkeja kyettiin tunnistamaan historiapuusta nimen perusteella.



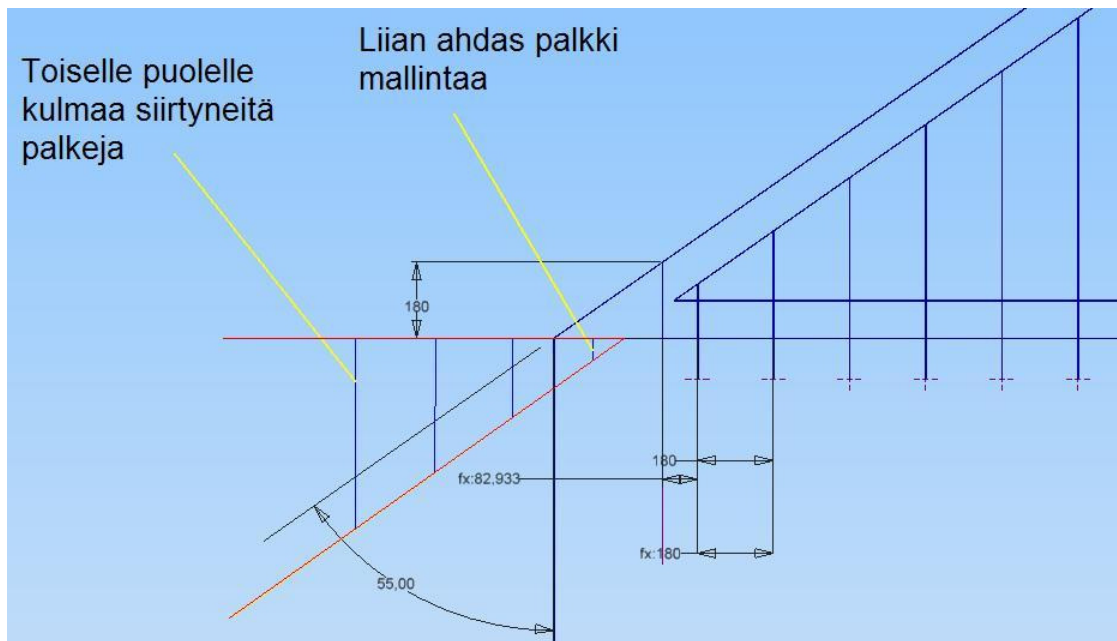
KUVIO 10. Palkkien viivat, jotka jatkuvat viivanpätkistä ylöspäin.

Seuraavaksi paneuduttiin palkkien määrän hallintaan. Kuinka ohjelmoimalla voitaisiin piilottaa ylimääräiset palkit tai jaon tihentyessä tuoda näkyviin lisää palkkeja, jotta tila täyttyisi? Ohjelmoitiin rutiini, joka saatuaan määrätiedon, kävi kokoonpanon selainpuun osat läpi. Kun kohdalle tulevan osan nimitykseen sisältyi käyttöliittymästä annettu kuvaava sana, kyseisestä ja seuraavista yksilöistä laskettiin esiin jäävät ja loput asetettiin pois näkyvistä ja referenssitilaan.

### Lattiapalkiston kohdistaminen

Lattiapalkkiryhmän tuli sijoittua siten, että oikealla olevan reunapalkin ja reunimmaisena lattiapalkin väli olisi sama kuin lattiapalkeilla (ks. kuvio 3, s. ). Palkkien luonnosviivoja kokeiltiin monistaa oikealta vasemmalle ahdasta kulmaa kohti. Tällöin jakoa harvennettaessa palkit siirtyivät kulman toiselle puolelle nurin päin (ks. kuvio 11).

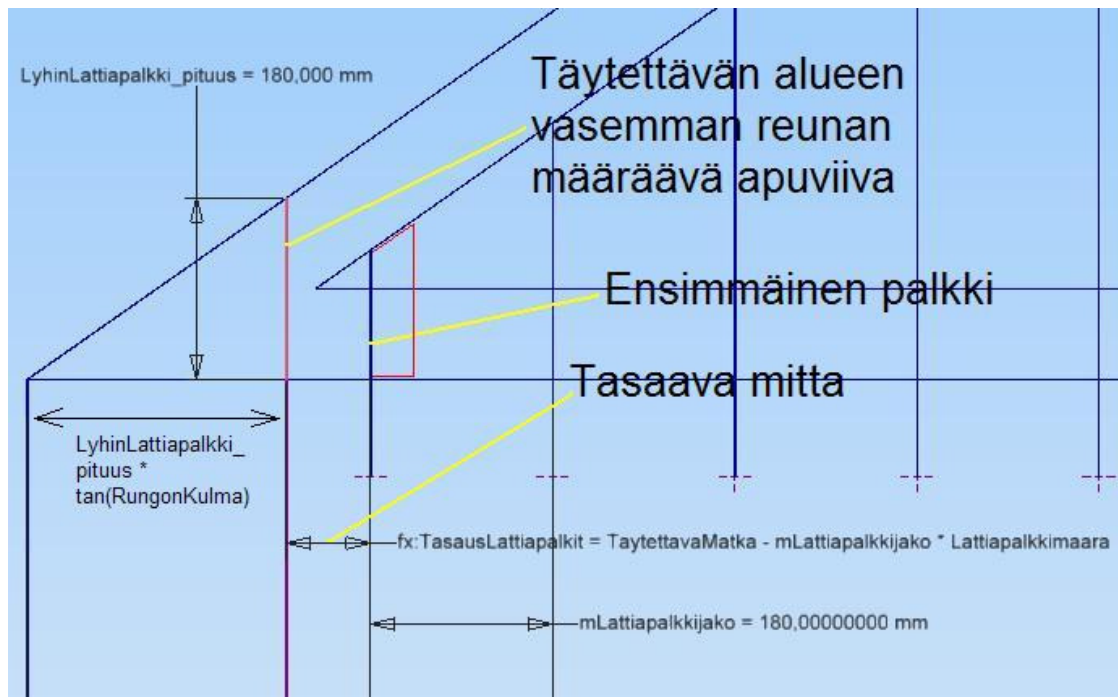




KUVIO 11. Kulman toiselle puolelle siirtyneitä palkeja

Seikkaa seurasi mallintumisongelma aina, kun palkin viiva sattui muodostumaan hyvin lyhyeksi ollessaan lähellä kulmaa. Tällöin, vaikka palkit piilotettiin, ehti niiden mallintuminen jo toteutua aiheuttaen mahdottomuuden ja virheilmoituksen. Ylimääräisten palkkien suppressointi taas aiheutti runsaan joukon tallennusikkunoita ehdottamassa monen osan tallennusta erikseen. Päädyttiin palkkiryhmän luomiseen tavalla, jossa edettiin kulmasta poispäin.

Kun ryhmä kohdistettiin siten, että oikealla oleva väli lattiapalkista reunapalkkiin oli sama palkkien keskinäisten välien kanssa, täytyi ryhmän siirtyä muutosten jälkeen. Siirtyminen tapahtui kahdesta syystä: Palkkijako muuttui, tai kulman muuttuessa ahtaammaksi tai avarammaksi lyhin eli ensimmäinen palkki läheni kulmaa tai loittoni siitä. Koko ajan oikea reunaväli pysyi samana. Tämän toteuttaminen vaati apuviivan rungon luonnokseen (ks. kuvio 12).



KUVIO 12. Palkkiryhmän lyhimmän palkin paikkaa rajoittava viiva.

Apuviiva määräsi täytettävän alueen vasemman reunan. Tällöin apuarvona käytettävä TäytettäväMatka, user-parametri, saatiin lasketuksi kaavalla:

$$TäytettäväMatka = RungonLeveys - Reunapalkinpaksuus - (LyhinLattiapalkki_pituus * \tan(RungonKulma))$$

Kaavassa LyhinLattiapalkki\_pituus tarkoittaa apuviivan pituutta, jonka arvoa (180 mm) muuttaen voidaan sallia lyhimmän palkin asettumista lähemmäksi kulmaa, tai siirtää sallittua lähintä sijaintia loitommaksi kulmasta. Edelleenkin palkki on aina irti apuviivasta, koska lattiapalkkiryhmä tasautuu oikean välin mukaan, ja ensimmäisen palkin sattuessa apuviivan kohdalle ryhmä siirtyy yhden jaon verran oikealle. Tällöin yksi palkki oikealta piilottuu joutuessaan täyttöalueen ulkopuolelle ja siis ylittäen esiin otettavan määrän. Mitta, joka ohjasi apuviivan ja lyhimmän palkin luonnosviivaa, nimettiin TasausLattiapalkit-nimiseksi ja ohjattiin kaavalla:

$$TasausLattiapalkit = TäytettäväMatka - Lattiapalkkijako * Lattiapalkkimäärä$$

### Esiin jäävien palkkien määrä

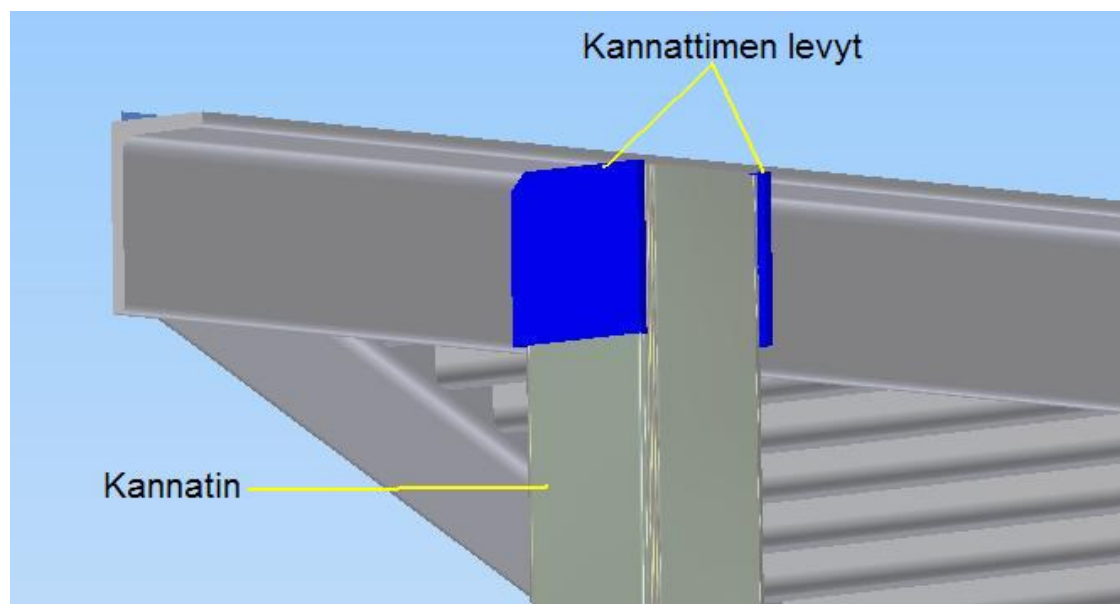
Kuinka palkkien määrätieto muodostui siirtyäkseen ohjelmarutiinin muuttujan arvoksi? Luotiin user-parametrin sijasta reikäkeskiömerkkipattern, jonka määräparametri nimettiin nimellä Lattiapalkkimäärä. Ensimmäinen keskiömerkki asetettiin ensimmäisen palkin alla olevan ”viivanpätjän” alapäähän ja monistussuunta oikealle. Monistuksen jako viitattiin parametritaulukossa viivanpätkien jaoksi. Tällöin kunkin näkyviin jäävän palkin alapuolella oli keskiömerkki näkyvissä. Nähtiin siis visuaalisesti jo luonnoksessa, mihin asti ollaan ottamassa palkkeja näkyviin (ks. kuvio 9, s. 19). Määrää ohjattiin kaavalla:

$$\text{Lattiapalkkimäärä} = \text{floor} (\text{TäytettäväMatka} / \text{Lattiapalkkijako})$$

Floor-funktio muodostaa lukuarvosta kokonaisluvun pyöristäen alempaan kokonaislukuun. Sitä käyttäen palkit täyttivät välin ”parhaansa mukaan”. Ohjelmarutiinissa hyödynnettiin luotu model-parametri, Lattiapalkkimäärä, esiin jäävien palkkien laskennassa lukien sen arvon integer-tyypin muuttujaan.

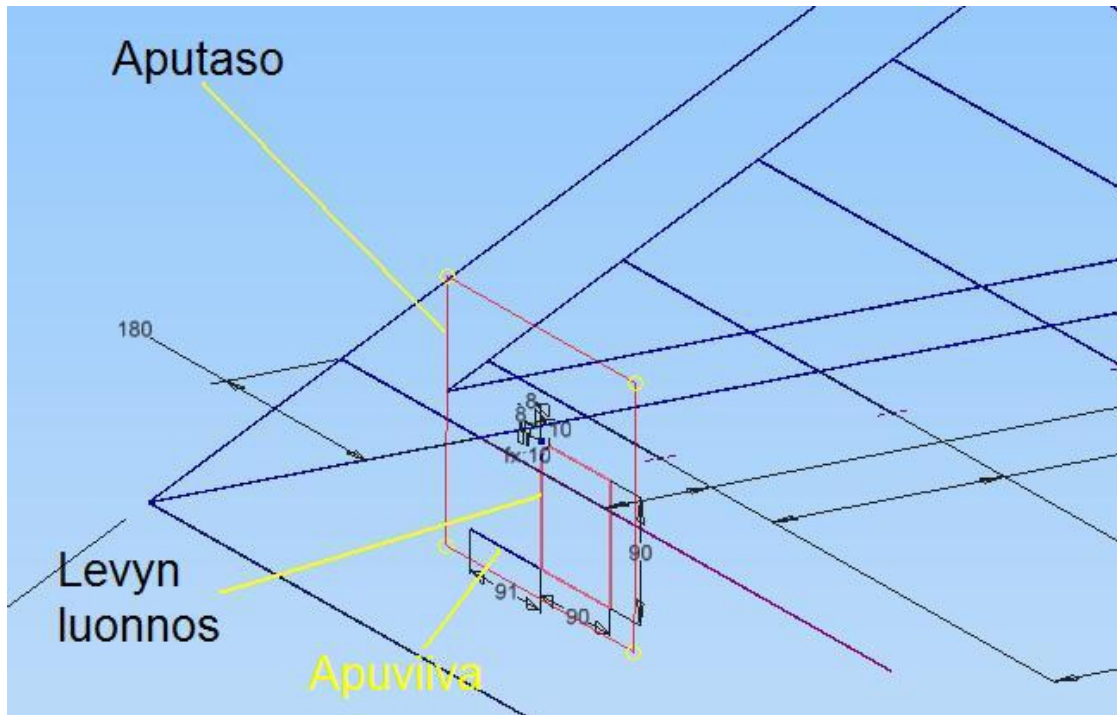
### Kannattimien levyt

Rungossa L-profiilin sivulla täytyi olla pienet levyt kannatinta varten (ks. kuvio 13).



KUVIO 13. Kannattimien levyt

Ensimmäinen levy luotiin päädyn suuntaiseen aputasoon, jolle annettiin haluttu etäisyys päädyistä (ks. kuvio 14). Etäisyyden tuli säilyä samana rungon leveyden mahdollisesti muuttuessa.

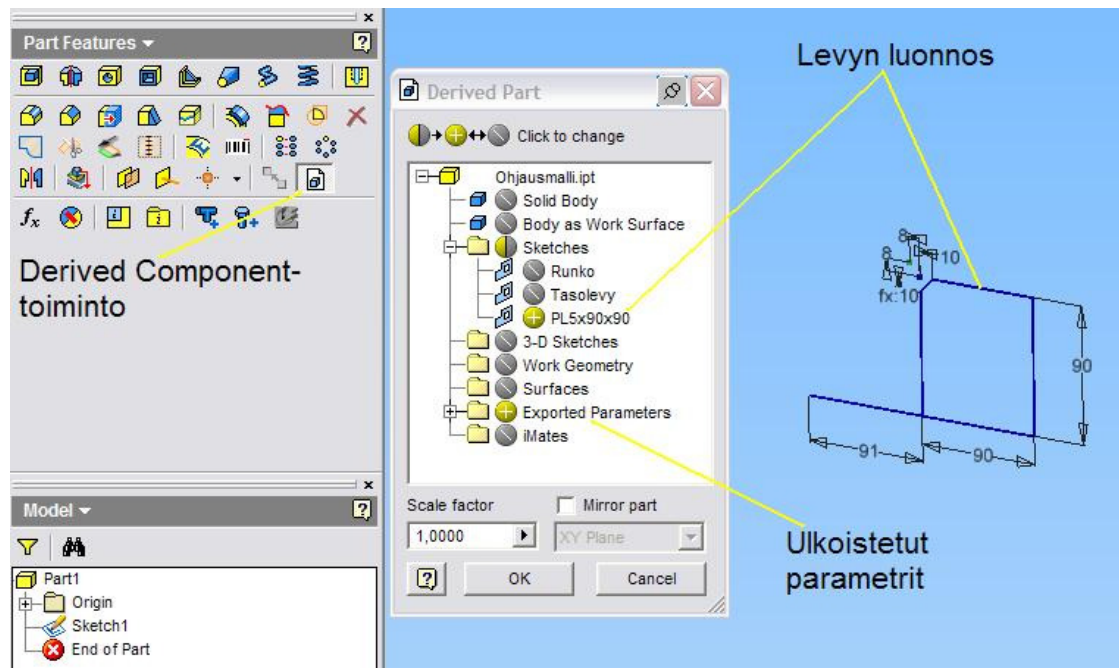


KUVIO 14. Kannattimen kiinnityslevyn luonnos.

Levyn luonnoksen yhteyteen luotiin myös ylimääräinen apuviiva, jonka pituusparametria hyödynnettiin siirtymäetäisyysmittana (+ levyn paksuus) luotaessa levystä pattern-kopiota muodostamaan kannattimelle kiinnitysväliä. Vaihtoehtoisesti olisi voitu luoda ohjausmalliin user-parametri, joka olisi myös nimetty väliä kuvaavalla nimityksellä.

Kun levyn luonnos ohjausmallissa oli valmis ja nimetty, luotiin itse levy. Aloitettiin uuden osamallin luominen tyhjällä StandardPart-pohjalla, ja tuotiin vastikään ohjausmalliin luotu luonnos osaan käyttäen Derived Component -toimintoa (ks. kuvio 15). Ennen tuontia poistettiin oletuksena käynnistyvästä luonnostelutilasta. Derived Component -toiminnossa hyödynnettäväksi tiedostomuodoksi valittiin Part, ja tiedostonimi "Ohjausmalli.ipt" valittiin lainattavaksi. Luodun luonnoksen lisäksi uuteen osaan tuotiin samalla ohjausmallin ulkoistetut parametrit, jotta jonkin myöhemmin mahdollisesti tarvittavan parametrin lisääminen tapahtuisi helposti: tarvittaisiin vain ulkoistetuksi merkitseminen

(rastittaminen) ohjausmallin parametritaulukossa. Ulkoistettu parametri ilmestyi tällöin osaan. Derived Component -toiminnon valintoja voi toki muokata myöhemmässäkin vaiheessa. Seuraavaksi osaan tuotu luonnos pursotettiin viiden millimetrin paksuuteen valiten suunnan rungon päätyä kohti.



KUVIO 15. Ominaisuuksien tuonti ohjausmallista

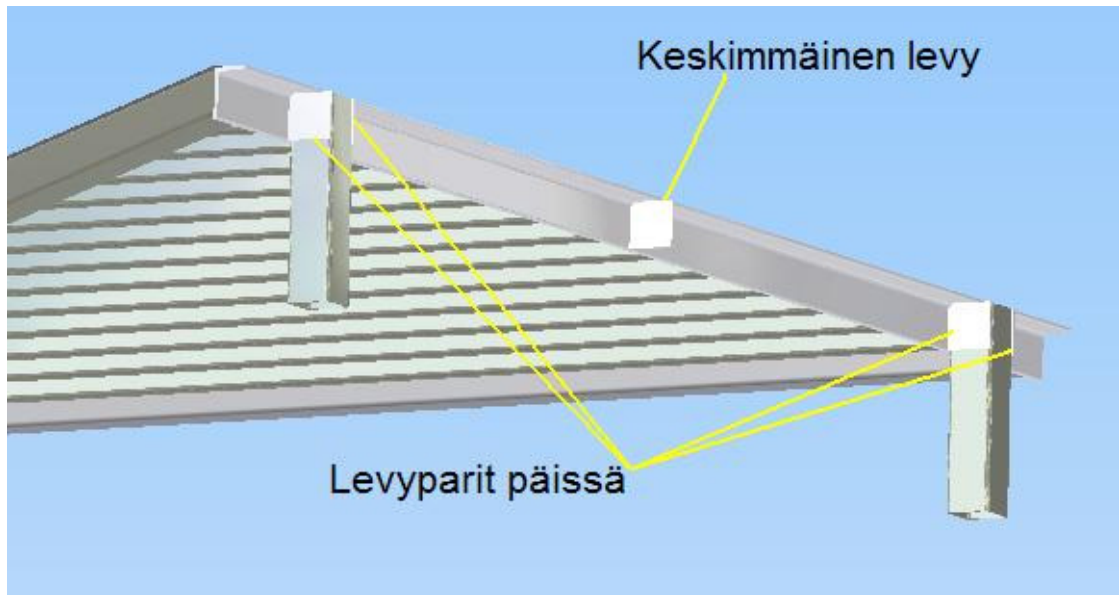
Kun osa tuotiin kokoonpanoon, se sidottiin nollapisteestään kokoonpanon nollapisteeseen ja lukittiin. Tällöin osa alkoi noudattaa ohjausmallin määräämää sijaintia. Jos esimerkiksi muutettaisiin ohjausmallin parametria, joka määrää osan luonnoksen aputasen etäisyyden rungon päädyistä, osan sijainti kokoonpanossa muuttuisi.

Kannattimen levyjen monistaminen toteutettiin sekatekniikalla. Levyn toinen puolisko muodostettiin tuomalla levy uudestaan kokoonpanoon ja sitomalla se tavanomaiselle mallintamiselle ominaisin kokoonpanorajoittein ("constraint", "mate"). Asento valittiin samaksi, kuin ohjausmallia noudattavalla levyllä, mutta jälkimmäinen levy asetettiin halutulle etäisyydelle käyttäen "etäisyys pinnasta pintaan" -rajoitetta. Toisessa päässä runkoa oleva ohjausmallia noudattavan levyn peilikuvalevy luotiin pattern-monistuksella antaen määräksi kolme. Haluttiin nimittäin luoda lisäksi yksi levy keskelle runkoa kannattimien levyjen lisäksi (ks. kuvio 16).

Toimintoon annettiin etäisyydeksi kaava:

$$\text{Monistusetäisyys} = \text{RungonLeveys} - ( 2 * \text{PL5x90x90\_päästä} ) + 5 \text{ mm} ) / 2$$

Kaavassa 5 mm merkitsi levyn omaa vahvuutta.



KUVIO 16. Kannattimien levyt

Kannattimien levyjen parit luotiin ihan vastaavalla tavalla. Niiden monistuksen määräksi annettiin tietysti kaksi, ja monistusetäisyydeksi kaava:

$$\text{Monistusetäisyys} = \text{RungonLeveys} - ( 2 * \text{PL5x90x90\_päästä} ) - ( 2 * \text{PL5x90x90\_PutkenVäli} ) - 5 \text{ mm}$$

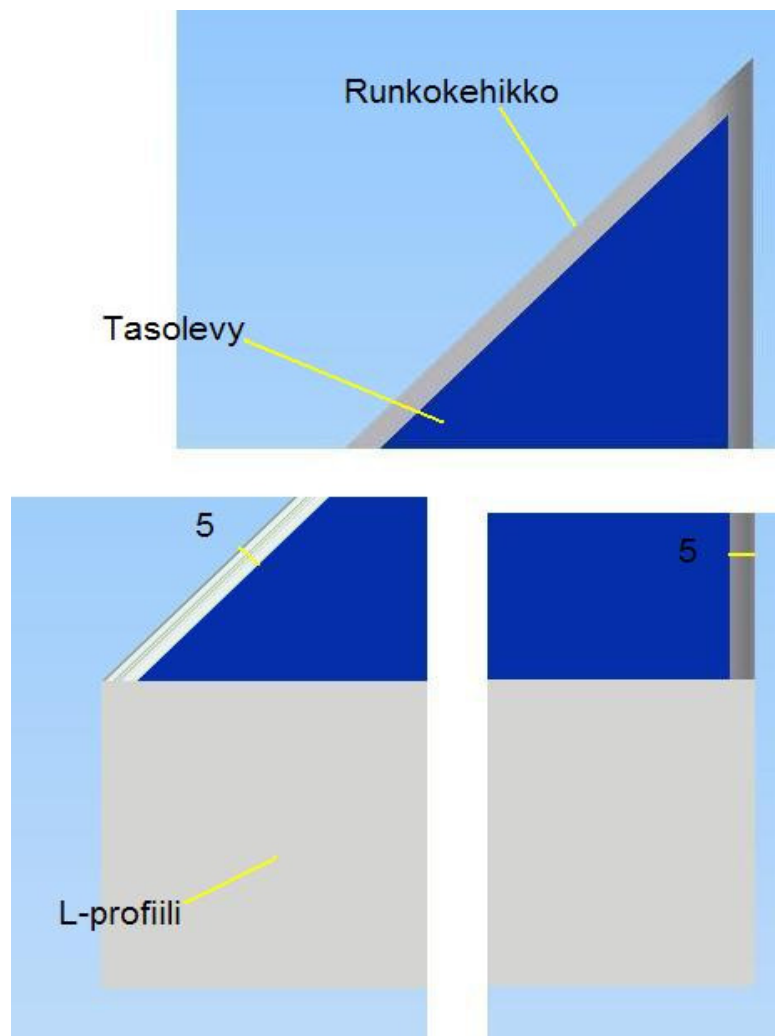
Kaavassa 5 mm oli kyseisten levyjen vahvuus. Itse kannatinputket tuotiin valmiina osina kokoonpanoon noudattaen edelleen sekatekniikkaa. Ensimmäinen paikoitettiin kokoonpanorajoittein ja toinen luotiin pattern-monistuksena. Etäisyyden kaava annettiin samankaltaisesti kuin kannattimien levyille:

$$\text{Monistusetäisyys} = \text{RungonLeveys} - ( 2 * \text{PL5x90x90\_päästä} ) - 0,5 \text{ mm} - 0,5 \text{ mm} - 90 \text{ mm}$$

Kaavassa 0,5 mm merkitsee kannattimen levyn ja kannattimen välistä välystä ja 90 mm kannatinputken leveyttä.

### 5.3 Tasolevyn luonti rungon päälle

Runkokehikon päällä tuli olla sen muotoa noudattava kolmion muotoinen tasolevy. Levyn kantasivun tuli olla L-profiilin sisemmän reunan tasalla, mutta kahdella muulla sivulla sen täytyi olla sisennetty viisi millimetriä (ks. kuvio 17).

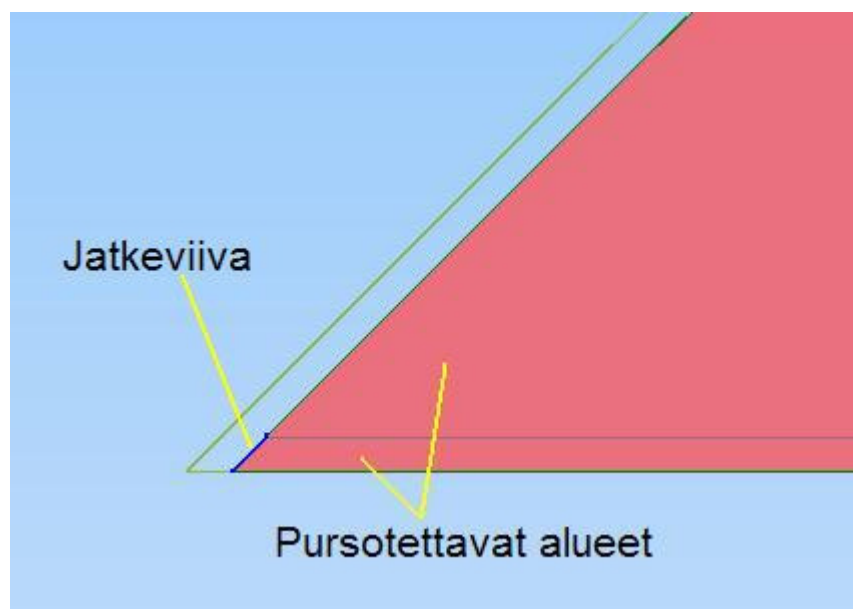


KUVIO 17. Tasolevyn kulmaukset yhteen tuotuina

Levyn tuli muiden osien tavoin noudattaa runkokehikon muotoa sen muuttuessa. Tämä toteutettiin luomalla ohjausmalliin "Tasolevy"-niminen luonnos. Ohjausmallissa x-y-taso sijaitsee runkokehikon päällä. Sijainti oli valittu juuri aja-

tellen, että tasosta voitaisiin luoda runkokehikko alapuolelle ja tasolevy yläpuolelle. Toki nollassoksi olisi ollut mahdollista valita tasolevyn yläpintakin, mikäli asialla olisi ollut muuta merkitystä osien luomisen lisäksi. Tällöin olisi tarvittu aputaso.

Ohjausmallin luonnoksista ainoastaan rungon luonnos valittiin näkyviin. Luotavaan luonnokseen projisoitiin rungon luonnoksen ääriviivat. Niistä sisennettiin viisi millimetriä offset-toiminnolla kolmio, joka tuli toimimaan osana pursotettavaa luonnosta. Kuitenkin sisennetyin alueen alapuolinen alue tuli saada mukaan pursotettavaksi ilman offsetia, joten kylkiviivoista piirrettiin lyhyet viivat jatkeiksi ulottumaan alareunaan (ks. kuvio 18).



KUVIO 18. Tasolevyn luonnoksesta pursotettavat alueet.

Luonnos oli saatu valmiiksi. Aloitettiin tasolevyn luominen taas standardilla osapohjalla käyttäen luonnoksen tuomiseksi Derived Component -toimintoa. Toiminnon alussa valittiin avattavaksi tiedostoksi "Ohjausmalli.ipt". Ohjausmallista valittiin lainattaviksi piirteiksi "Tasolevy"-luonnos ja ulkoistetut parametrit. Luonnoksesta luotiin tilavuusmalli pursottamalla ylöspäin. Levylle annettiin normaaliin tapaan pursotusvahvuus ja lopuksi materiaali.

Levy tuotiin kokoonpanoon sitoen sen nolapisteen kokoonpanon nolapisteseen ja lukiten osan. Tasolevy alkoi noudattaa rungon muotoa reuna-offsetit



säilyttäen. Reuna-offset oli myös muokattavissa ohjausmallin parametreissa. Parametrin sai halutessaan nimetä, mutta selkeyssyistä parametritaulukko pyrittiin pitämään mahdollisimman selkeänä nimeten vain erityisesti tarvittavat parametrit, jolloin myös kaavoihin viittaukseksi lisättävien nimettyjen parametrien määrä pysyi mahdollisimman pienenä. Ohjausmallin hallitsemisen selkeyttä arvioitiin ja pyrittiin kehittämään myöhemmin lisää.

#### 5.4 Piirustusten luonti Top-Down-mallille

Top-Down-mallin piirustukset on yleisesti järkevä luoda monistettavan mallin mukana kopioituviksi. Piirustukset luodaan lähes tavalliseen tapaan. On kuitenkin olemassa muutamia huomion arvoisia seikkoja. Mallista luotu kuvanto saattaa ikään kuin siirtyä paikaltansa, kun sen ulkomitat muuttuvat ohjausarvoilla muutetun mallin mukaan. Tähän voi varautua asettamalla mittasuhteen riittävän pieneksi, mikäli piirustus säilyy luettavuudeltaan vielä hyvänä. Kuvantojen sijaintia täytyy todennäköisesti täsmentää muutosten jälkeen.

Kokeilutapauksessa rungon malliin oli luotu lattiapalkkeja, joita tuotiin esiin tarvittava määrä täyttämään kehikon. Ylimääräiset palkit jäivät piiloon referenssiosiksi. Tästä johtuen rungon piirustuskuvantoja luotaessa kuvannon ominaisuuksista täytyi valita referenssiosien viivatyyppi. Tässä käyttötarkoituksessa referenssiosat ovat tietenkin täysin ylimääräisiä, joten niiden viivatyyppiä valittiin "off".

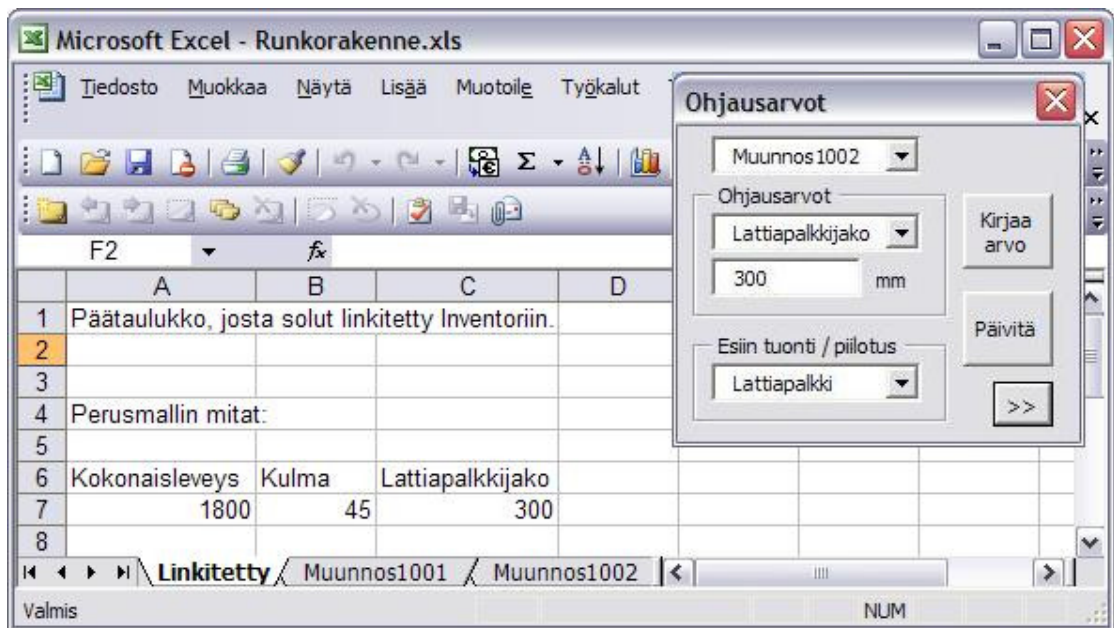
Jos pääkuvannoista ("parent view") tarvitsee luoda detail-kuvantoja, on huomioitava se, että detail-suurennoston ympyrät voivat jäädä väärään paikkaan ja kuvannossa näkyy väärä kohta pääkuvannosta sen jälkeen, kun pääkuvanto on muuttumisen vuoksi siirtynyt. Detail-kuvannon ympyrä täytyy lukita pääkuvantoon, jotta esitettävä kohta säilyy. Inventorissa detail-kuvannon lukitseminen pääkuvannon johonkin pisteeseen, esimerkiksi osan nurkkapisteseen, tapahtuu attach-toiminnolla. Toiminto tehdään hiukan eri tavalla riippuen ohjelmiston versiosta.

## 6 TOP-DOWN-MALLIEN KÄYTTÖLIITTYMÄT

### 6.1 Kehittäjien laatimien käyttöliittymien pohjaisuus yleensä

Top-Down-mallin ohjausarvoja voidaan muuttaa suoraan ohjausmallin parametritaulukosta, ohjausmallin mitoituksista tai tuomalla halutut parametrit erilliseen käyttöliittymään. Parametritaulukossa olevia nimettyjä parametreja voidaan muuttaa, mutta mikäli loppukäyttäjä on muu kuin mallin laatija, parametrien muuttaminen voi olla hankalaa huonon tunnistettavuuden vuoksi. Joissakin tapauksissa käyttöliittymällä on helpotettu asiaa. Käyttöliittymä tuo lisäksi muita mahdollisuuksia kuten esimerkiksi optiot. Optioina voivat olla osien tai alikokoonpanojen mukaan valitseminen. Muunneltavasta tuotteesta voi myös olla hyödyllistä laatia karkea graafinen kuva, johon ohjausarvot sijoitellaan. Tällöin arvojen tunnistaminen on helppoa mahdollisesta suuremmasta määrästä huolimatta.

Suunnittelukonfiguraattorien tai suunnitteluautomaattien, kuinka niitä halutaankin nimittää, käyttöliittymiä on laadittu yleisesti MS Excel -ohjelmistolla. Tällöin eri versioiden luomisessa voidaan luontevasti hyödyntää välilehtiominaisuutta ja parametrien välisiä riippuvuuksia voidaan laatia monipuolisin laskennoin. Käyttöliittymä voidaan myös laatia ohjelmakehittimellä tai CAD-järjestelmän ohjelmointirajapinnalla. On voitu soveltaa myös yhdistelmiä, jolloin Excelin välilehtitaulukoilla hallitaan versiointia ja ohjausarvot annetaan ohjelmoidusta lomakkeesta, jossa kontrolloidaan syötettyjen arvojen oikeellisuus. (Ks. kuvio 19.)



KUVIO 19. Excelin ja ohjelmoidun lomakkeen yhdistelmä

## 6.2 Toteutetun käyttöliittymän ohjelmoidut ominaisuudet

Kolmiomaisen rungon ohjausarvojen määrän ollessa pieni päädyttiin laatimaan käyttöliittymä Inventor-ohjelmiston MS VBA -ominaisuudella ohjelmoiden. Käyttöliittymä tuli olemaan kokoonpanotilassa ylätyökaluissa painikkeena. Käyttöliittymää päädyttiin käyttämään myös muiden luotujen Top-Down-mallien muunteluun, joten parametriarvojen linkittyminen ohjelmoitiin tapahtumaan kulloinkin avattuna ja aktiivisena olevaan malliin.

Lomakkeelle tuotiin ohjausarvot valittaviksi ja muutettaviksi. Mikäli mallissa oli ryhmä keskenään toisistaan poikkeavia osia, joiden esillä olevaa määrää tarvitsi ohjata, tällaisen osaryhmän jäsenten ”esiin tuonti / piilotus” -toiminto oli mahdollista valita tapahtuvaksi. Rungossa lattiapalkit muodostivat tällaisen ryhmän. Myös tiedostojen yksilöinti numeroetuliitteellä oli toimintona. Se mahdollisti muunneltujen mallien tuomisen yhteiseen kokoonpanoon, esimerkiksi layoutiin.

Toimeksiantaja oli määritellyt propertytiedot (attribuutit, jotka sisältävät yleistä informaatiota osasta tai kokoonpanosta, kuten esimerkiksi materiaalitieto), jotka tuli olla muunnetun kokoonpanon osissa. Nämä tulivat näkymään tuot-

teen piirustusten otsikkotauluissa ja osaluetteloissa. Aihiomalliin täytettiin kaikki tieto, mikä oli mahdollista olla valmiina. Projektietuliite ohjelmoitiin kirjattavaksi ohjausarvolomakkeelta syötettynä osien tiedostonimiin ja haluttuihin propertyihin. Näin toteutettuna käyttöliittymällä muunnettuun tuoteyksilöön, sen kokoonpano- ja piirustustiedostoon, täytyi merkitä jälkikäteen vain muutamia tietoja manuaalisesti.

### **6.3 Mallin muuntaminen käyttöliittymää hyödyntäen**

Käyttöliittymää käytetään kokoonpanon muokkaamiseen. Tapaukseen laadittua käyttöliittymää käytettäessä ei tarvitse avata ohjausmallia erikseen. Avataan kokoonpano ja käyttöliittymälomake (ks. kuvio 20). Valitaan ohjausarvo ja korvataan sen vanha arvo uudella arvolla. Rungon ohjausarvoja ovat kulma, lattiapalkkijako ja kokonaisleveys. Muokattu arvo kirjataan. Tarvittavat ohjausarvot muutettua päivitetään tarvittavat Design View -näkyvät kokoonpanosta kunkin ensin aktivoiden ja sitten painaen käyttöliittymälomakkeen päivitäpainiketta. Näin linkitettyinä olevan piirustuksen kuvantoihin tulee esiin tuotavia ja piilotettavia osia oikea määrä näkyviin. Design View -näkyviä hyödynnetään tässä tapauksessa siksi, että kokoonpano eri vaiheissaan saadaan esitetyksi piirustuslehdillä.



KUVIO 20. Käyttöliittymälomake

## 7 TULOKSET JA MENETELMÄN ARVIOINTI

### 7.1 Menetelmän soveltuminen rungon suunnitteluun

Top-Down-menetelmä sovellettuna edellä esitetyllä tavalla rungon suunnitteluun on sekä tehokas että muutamilta osin myös työläs toteuttamistapa. Lopputuotos, rungon muunneltava malli ja käyttöliittymä, tehostavat totaalisesti tuotteen suunnittelua. Toimeksiantajayrityksen edustajan mukaan rungon muuntamisessa uudeksi tapaukseksi päästään aikaisemman reilun seitsemän tunnin työskentelyn sijasta noin viidentoista minuutin työllä. Tässä ovat huomioituna kaikki toimenpiteet: tiedostojen kopiointi, projektin perustaminen, tiedostojen yksilöiminen projektin mukaan, tarvittavien propertiteettien muutokset otsikkotaulujen ja osaluetteloiden saamiseksi ajan tasalle sekä mallin ja piirustusten muuntaminen tapauksen vaatimusten mukaisiksi. Raportin julkaistavan version, menetelmädokumentin, arvioidaan tuovan perusteellisen näkökulman menetelmän soveltamistilanteisiin ja soveltamista harkitsevien selvitysvaiheeseen.

Onko tapaus sitten hyvä esimerkki mallinnusmenetelmän arvioimisen kannalta? Työ mallin luomiseksi ja käyttöliittymän kehittämiseksi ei ollut pieni. Erityisesti lattiapalkkien määrän hallinta vaati kovan kehitystyön. Kun monistetaan osaa, esimerkiksi palkkia, siten että osan kopiot ovat todella kopioita eli samanpituisia, määrää hallitaan yhdellä ainoalla parametrilla: pattern-toiminnon määrä-arvolla. Arvo on helppo sitoa kaavalla ja kokonaislukufunktiolla muuttuvaan ympäristöön. Tapauksessa kolmiomaisen rungon ”ylä- ja alajuoksut” loitonevat toisistaan, jolloin välipalkit ovat eripituisia yksilöitä ja näin ollen epäkelpoja pattern-monistamiseen. Kyseisenlainen tarve ei liene kovin yleinen suunnittelukonfiguraattoreita kehitettäessä. Esiin tuonnin ja piilottamisen toteuttaminen ohjelmoimalla vaati syventymistä Inventorin API:n (application programming interface) toimintoihin ja mahdollisuuksiin.

Rungossa sovellettiin Frame Generator -toimintoa palkkirakenteen luomiseen. Palkkien liitokset päivittyvät luotettavasti muutoksiin ja rakenteen luominen oli sujuvaa. Sinällään rakenne olisi ollut ratkaistavissa normaalilla osamallinnuk-

sellakin kohtuullisessa ajassa. Top-Down-malli olisi syntynyt kokonaisuudessaan pienemmällä kehittelytyöllä. Olisi ollut samantekevää, kuinka pitkä aika olisi kulunut yksittäisen rakenteen mallintamiseen, jos kokonaisaika eri ongelmien ratkaisemiseksi olisi ollut lyhyempi. Frame Generatorin soveltaminen aiheutti tarpeen hieman perusteellisemmalle ohjelmointityölle ja ohjasi osaltansa päätymistä saavutetunlaiseen lopputulokseen. Esiintymien käsitteleminen tapahtui varmemmin ja perusteellisemmin poikkeustilanteita seuranneiden ongelmien takia. Käyttöliittymä on siksi jatkokäyttöä ajatellen varmatoimisempi.

## **7.2 Menetelmän soveltuminen suunnitteluun yleisesti**

Menetelmä tuo etua sekä yksittäisprojektin että pitemmällä ajalla muunneltavan tuoteperheen toteuttamisessa. Yksittäisprojektissa hyöty tulee siitä, että tuotteen rakennetta muutetaan, kun haetaan lopullisia ratkaisuja eri ongelmiin. Tällöin muutoksen vaatima päivitystyö on huomattavasti pienempi, koska kaikki osat noudattavat ohjausmallia ja päivittyvät mukana. Etu on sitä suurempi, mitä mutkikkaampi ja monitahoisempi rakenne on. Useaan kertaan hyödynnettävän tuotteen mallintamisessa hyödytään vielä enemmän, koska mallien muuttaminen ohjausarvoilla poistaa jo periaatteellisesti kerran suunnitellun uudestaan suunnittelemisen ja mallintamisen.

Mutkikkaan kokoonpanon mallintaminen Top-Down-periaatteella sen sijaan vaatii systemaattisuutta ohjausmallin suunnittelussa, jotta mallin muuttaminen eri tuotekehityskäänteiden tullen olisi selkeää. Onhan tehtävä ohjausarvomuu-  
tosten lisäksi perustavaa laatua olevia muutoksia ohjausmalliin. Ohjausmallista tulee hyvin helposti sekava. Selkeyden vuoksi mallin luonnokset tulisi nimetä ja mallin perusrakenne laatia harkiten. Rakenteessa on usein hyödyllistä käyttää tilavuusobjekteja. Alikokoonpanot voivat olla ali-Top-Down-mallien sijasta iAssemblyjä (Inventorin ollessa kyseessä) tai konfiguraatioita, joiden versioita hallitaan käyttöliittymästä. On huomioitava seikka, että Top-Down-mallin muuttamisen jälkeen on varmistettava, että kaikki muuttuneet osat ovat valmistettavissa olevia.

Top-Down-mallinnus toteutuu tehokkaasti, jos mallinnetaan olemassa olevasta suunnitelmasta uusi malli. Tällöin tiedetään mikä on tarve. Voidaan myös helposti selvittää ratkaisevat tekijät rakenteessa ja tarvittavat ohjausarvot (muuttuvat asiat) tuotekehityksen ollessa tehtynä. Jos koko suunnitteluprosessi alkaa alusta ja tuotetta aletaan vasta kehittää, mallinnustavan hyödyntäminen on eriluonteista. Työhön liittyy enemmän pohtimista siitä, mitkä asiat valitaan rakenteessa määrääviksi, vaikka manuaalinen yksittäisten osien aukominen ja päivittäminen jää pois työmäärästä. Pohtimisessa on tosin runsaasti yhtymäkohtia tuotteen kehittämiseen.



## 8 POHDINTA JA YHTEENVETO

Projektissa tuotettiin ohjattava malli toimeksiantajalle. Toimeksiantajaa ja tuotetta ei julkistettu. Lisäksi ohjelmoitiin päivitystoiminnollinen käyttöliittymä, joka haluttiin esitellä vain toiminnallisesti julkaisematta kaikkea sen sisältämää tietoa. Näistä seikoista johtuen kolmas tuotos, julkaistava Top-Down-menetelmää käsittelevä raportti, on tiivis ja pääasiassa menetelmän taustoihin ja soveltamiseen keskittyvä. Julkaistavasta raportista puuttuu tekstiä, joka käsittelee ohjelmointiosuutta tarkemmin. Tämän lisäksi toimeksiantajayritykselle laaditut ohjeistukset ja käyttöliittymän ohjelmakoodi eivät ole liitteinä mukana.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus tehdä kokeita, jossa olisi verrattu työskentelyä Top-Down-menetelmällä ja tavanomaisella menetelmällä. Kokeita olisi tehty sekä ensimmäisen tuoteversion suunnittelu-aikaa että tuoteversion tarjousta varten muuntamisaikaa mitaten. Kokeiden suorittaminen ja tulosten sekä niiden vertailukelpoisuuden arviointi päätettiin kuitenkin jättää pois aikataulullisista syistä.

Opinnäytetyöprojektille asetettu tavoite toteutui. Tuotteen muuntaminen ja palkiston määrän hallinta tulivat mahdollisiksi huolimatta eri tahojen runsaista epäilyistä projektin aikana. Tuoteversion muuntaminen tapahtuu noin viidessätoista minuutissa noin seitsemän tunnin sijaan. Toimeksiantajayritys kykenee toimittamaan samana iltapäivänä tuotekokonaisuuteen liittyvän dokumentin saatuaan loppuasiakkaan määritelmän. Tämä on aikaisemmin vaatinut useimmiten yhden välipäivän, jonka perästä dokumentti on saatu lähtemään loppuasiakkaalle. Nämä seikat kuvaavat hyvin mallin ja käyttöliittymän mahdollistamaa loppukäytön tehostumista.

Työ esiteltiin toimeksiantajayrityksen johdolle. Työ sai kiinnostusta ja toimintaperiaate nähtiin mahdollisena soveltaa muihinkin tuotteisiin. Henkilökohtaisesti pidän Top-Down-menetelmää tehokkaampana ja tietokoneavusteista suunnittelua todelliseen suunnittelutyöhön lähemmin liittyvänä verrattuna tavanomai-

seen mallintamistapaan. Toteuttamiskeinot luonnollisesti vaihtelevat eri CAD-ohjelmistoilla toimittaessa, mutta useat peruspiirteet ovat yhteisiä.

## LÄHTEET

Autodesk Inventor 4 - Getting Started. 2000. Autodesk Inc. Toimitetaan ohjelmiston mukana.

Demonstraatioita Top-Down-menetelmän soveltamisesta.  
[www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2008. Tutki ja kirjoita.  
Helsinki: Tammi.

Liukko, S. & Perttula, S. 2007. Opinnäytetyön raportointi. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Nevala, Rami, koulutuskonsultti, CADpower Oy. Opinnäytetyöprojektin ideointipalaveri 24.11.2008, koulutuspäivä 10.2.2009, puhelinkeskusteluja.

Pere, A. 1987. Koneenpiirustus 1. 4.painos. Helsinki, Offsetpiste Ky.  
ISBN 951-99334-1-7.

Sean Dotson. 12.7.2005. Muscular Modeling. Autodesk Inventor tukimateriaali. <http://www.sdotson.com/freetut/muscularmodeling.pdf>

Skeletonmallinnus ja parametrilinkitys, ohjeaineisto, Future CAD Oy. n.d.

Tekninen tukihenkilö, CadWorks Oy. Puhelinkeskustelu 7.4.2009.

Top-Down-suunnittelun perusteet, ohjeaineisto, Future CAD Oy. n.d.