

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2024

Juha Koskelainen

# Liikuteltavan laipion parametrise 3D-mallin suunnittelu



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2024 | 25 sivua

Juha Koskelainen

## Liikuteltavan laipion parametrinen 3D-mallin suunnittelu

Opinnäytetyössä perehdytään yleisellä tasolla parametriseen mallintamiseen ja siitä saataviin hyötyihin sekä sen haittoihin. Perehdytään myös käytettyihin ohjelmistoihin, joita olivat SolidWorks ja sen lisäosa Link-It Design Logic. Tutustutaan myös Link-It Design Logicin ohjelmointiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella parametrinen 3D-malli yleisrahtialuksen ruumaa jakavasta laipiosta. Parametrisellä 3D-mallilla on tarkoitus nopeuttaa suunnittelijan työtä ja vähentää käyttäjän tekemiä virheitä suunnittelussa.

Perehdytään myös laipion käyttötarkoitukseen ja sen ominaisuuksiin sekä parametrinen mallin suunnitteluprosessiin ja toteutukseen.

Vaikka joudumme odottamaan kunnollisia tuloksia ensimmäisen projektin päättymiseen asti, saatu palaute ensimmäisen testauskerran jälkeen oli pääsääntöisesti positiivista. Toki muutamia korjauskehotuksiakin tuli, mutta kokonaisuutena tehtyyn työhön oltiin tyytyväisiä.

Asiasanat:

3D-malli, Parametrinen mallintaminen, SolidWorks.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2024 | 25 pages

Juha Koskelainen

## Designing a parametric 3D model of a movable bulkhead

The thesis provides a general overview of parametric modeling, discussing its advantages and disadvantages. The software used was also studied, which was SolidWorks and its add-on Link It Design Logic. We learned about programming Link-It Design Logic.

The aim of the thesis was to design a parametric 3D model of a bulkhead which is used to divide the hold of a general cargo ship. The parametric 3D model is intended to speed up the designer's work and reduce user errors in the design process.

The thesis also discusses the purpose and features of the bulkhead, as well as the design process and implementation of parametric model.

Although we need to wait until the first project is finished for definitive results, the feedback from the first round of testing was mostly positive. There were a few requests for corrections, but overall, the response was encouraging.

Keywords:

3D model, Parametric modelling, SolidWorks.

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Parametrinen suunnittelu</b>	<b>8</b>
2.1 Mitä on parametrinen mallinnus?	8
2.2 Hyödyt	9
2.3 Haitat	9
<b>3 Ohjelmistot</b>	<b>11</b>
3.1 SolidWorks	11
3.2 Link-It® Design Logic	11
3.2.1 Link-It ohjelmointi	12
3.3 Mallin ohjaaminen	13
<b>4 Toimeksianto</b>	<b>15</b>
4.1 Liikuteltava laipio	15
<b>5 Parametrisen 3D-mallin suunnittelu</b>	<b>17</b>
5.1 Rakenne	19
5.2 Haasteet	21
<b>6 Tulokset</b>	<b>23</b>
6.1 Ensimmäisen testauksen palaute	24
<b>Lähteet</b>	<b>25</b>

## Kuvat

Kuva 1. Esimerkki ohjelmasta, jossa on määritettynä muuttujan nimi ja sille annettu arvo.	12
Kuva 2. Esimerkki käyttöliittymän luomiseen liittyvästä ohjelmasta.	13
Kuva 3. Mallinäyte miltä Kuva 2. ohjelmoitu pätkä näyttää käyttöliittymässä.	13

Kuva 4. Laipio jakamassa yleisrahtilaivan ruumaa (Cargotec 2011).	15
Kuva 5. Ventilator komponentti mallinnettuna paikoilleen. Skeleton-malli luotuna päärakenteen äärirajoista.	18
Kuva 6. Ensimmäisten parametrien jälkeen generoitunut malli.	20
Kuva 7. Käyttöliittymä näkymä sivulta, jossa valitaan mallin ominaisuuksia.	20
Kuva 8. 3D-mallin rakenne ryhmiin jaoteltuna.	21
Kuva 9. Automaattisesti luotu 3D-malli.	23

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

2D	Kaksiulotteinen suunnittelu.
3D	Kolmiulotteinen suunnittelu.
ApiGlue	Ohjelmointikieli
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
dLogic	Link-It® Design Logic
Script	Tällä viitataan ohjelmoituun tekstitiedostoon, jolla mallia ohjataan.
.sldprt	Yksittäinen osatiedosto.
.sldasm	Kokoonpanotiedosto.
.slddrw	Piirustustiedosto.

# 1 Johdanto

Parametrisellä 3D-mallilla tarkoitetaan mallia, jota ohjataan parametrien avulla. Parametrit ovat käyttäjän syöttämiä muuttujien arvoja. Parametrisella mallilla pyritään nopeuttamaan suunnitteluprosessia ja vakiinnuttamaan suunnitteluratkaisuja. Parametrinen mallin tulee sisältää ennalta sovitut ominaisuudet sekä valmiit tekniset piirustukset kyseisestä mallista.

Parametrinen mallin on tarkoitus toimia suunnittelijan työkaluna aina projektin alkuvaiheilta siihen pisteeseen saakka, kunnes paneeli on saanut hyväksynnän luokituslaitokselta ja se siirtyy valmistukseen. Tavoitteena on luoda työväline, joka nopeuttaa suunnittelijan työtä ja luo automaattisesti mallin päärakenteen suunnittelijan syöttämien parametrien avulla.

Opinnäytetyössä luodaan parametrinen 3D-malli MacGregor Finland Oy:lle paneelista, jolla jaetaan yleisrahtialuksen ruuma osastoihin. Opinnäytetyössä perehdytään yleisesti parametriseen mallintamiseen sekä sen eri hyötyihin ja haittoihin. Perehdytään myös pinnallisesti käytettyihin ohjelmiin ja laipion parametrinen 3D-mallin suunnitteluprosessiin, sekä ensimmäisen testauksen palautteisiin.

## 2 Parametrinen suunnittelu

Parametrinen 3D-suunnittelu rakentaa 3D-geometrian pala palalta, jossa piirustukselle annetaan piirteitä ja rajoitteita suunnittelijan tarkoituksen mukaisesti (Alba 2018). Parametrisessä suunnittelussa hyödynnetään algoritmeja, parametreja ja riippuvuustekijöitä tehostamaan suunnittelua automatisoimalla mahdollisimman monia muutoksia, joita pitäisi perinteisessä suunnittelutavassa muokata yksityiskohtaisesti.

### 2.1 Mitä on parametrinen mallinnus?

Parametrinen 3D-mallinnus on tietokoneavusteinen suunnittelutapa, jossa käyttäjä syöttää parametreja. Nämä parametrit voivat olla joko numeerisia arvoja tai loogisia lausekkeita. Parametrien avulla malli muodostuu automaattisesti. Osa parametreista vaikuttaa suoraan mallin geometriaan, kun toiset parametrit aktivoivat algoritmeja. Algoritmien lopputuotteena on uusi parametri, joka syötetään mallin geometriaan.

Algoritmit ovat yksiselitteisiä toimintaohjeita, jotka kertovat kuinka jokin tietty ongelma ratkaistaan (Laaksonen 2022). Näiden avulla kuka tahansa, joka suorittaa samaa tehtävää saavuttaa saman ratkaisun. Algoritmeja on kaikkialla maailmassa, joista yksinkertaisia esimerkkejä ovat perinteiset laskukaavat. Toinen hyvä esimerkki voisi olla tuolin suunnittelu, josta on luotu parametrinen 3D-malli. Suunnittelija voi antaa tuolille parametreja, kuten istuinkorkeuden, tuolin jalkojen muodon tai selkänojan kallistuskulman ja näiden perusteella algoritmit luovat uuden 3D-mallin automaattisesti.

Parametrinen mallintaminen on hyödyllistä silloin kun ollaan tekemisissä skaalautuvien tuotteiden parissa, jolloin tiedetään, että myöhemmin halutaan luoda hiukan toisenlainen konfiguraatio. Silloin päästään helposti uuteen lopputulokseen muuttamalla parametreja sen sijaan, että aloitettaisiin aina mallintamaan aivan alusta asti uudelleen. (Alba 2018.)



## 2.2 Hyödyt

Parametrisen suunnittelun suurimpia hyötyjä ovat tarkkuus ja tehokkuus. Tarkkuus ilmenee siten, että mallinnusvaiheessa kaikki mitat ilmoitetaan parametreina, jotka syötetään joko käyttäjän toimesta tai parametrin arvo määrittäen ennalta luodun kaavan avulla. Tällöin päästään siihen, että parhaassa tapauksessa, kun malli on suunniteltu tarkasti yhdenkin parametrin muuttaminen vaikuttaa lukuisiin muihin parametreihin ja siten luo aivan uudenlaisen rakenteen. Käyttäjän tekemät virheet vähenevät, kun kaikkien parametrien takana on algoritmi, jota noudatetaan. (Tara 2024.)

Useasti toistuvien tehtävien takana voi olla algoritmi, joka nopeuttaa suunnittelua. Suunnitellut muutokset on helppo toteuttaa yksinkertaisesti vain muuttamalla parametreja, silloin muutokset tapahtuvat, kuten ne on mallin luomisvaiheessa suunniteltu. (Tara 2024.)

## 2.3 Haitat

Parametrisen suunnittelun on myös todettu omaavan lukuisia haittoja. Vaikka aiemmin mainittiin, että hyötynä on tehokkuus ja suurien muutosten aikaansaaminen pienillä parametrien muutoksilla, niin tällä on kuitenkin olemassa myös kääntöpuolensa, eli jäykkyys. Koska mallia ohjataan parametrien ja algoritmien avulla, niin että ne on sidottu toisiinsa erilaisilla riippuvuustekijöillä. Silloin malliin on todella haastavaa tehdä suunnittelemattomia muutoksia ilman, että mallin toimivuus kärsii merkittävästi.

Haittana voidaan pitää myös jyrkkää opettelukäyrää, joka tekee prosessin aloittamisesta hidasta, kun pitää opetella paljon uutta asiaa. Algoritmien monimutkaisuus voi johtaa helppoihiin virheisiin, joiden löytäminen saattaa viedä aikaa. Monimutkaisuus vaikuttaa myös merkittävästi siihen, kuinka nopeasti joku toinen henkilö pystyy jatkamaan mallin kehittämistä tai ylipäätään luomaan muutoksia, joita ei alun perin ollut ajateltu.

Parametrisen mallin aloittaminen vaatii myös suurempaa kuin pinnallista käsitystä siitä mitä ollaan tekemässä ja mitkä asiat vaikuttavat mihinkin, joten on syytä aivan projektin alussa ottaa aikaa mallin suunnitteluun. Vaikka käyttäisi paljon aikaa mallin suunnitteluun, on suuri riski siihen, että mallista tulee erittäin monimutkainen (Tara 2024).

Parametrinen suunnittelu voi myös rajoittaa luovuutta, koska suunnittelija on aina riippuvainen jo luoduista parametreista ja algoritmeista. On siis tärkeää verrata parametrisen suunnittelun hyötyjä ja haittoja ennen sen käyttöönottoa.

### 3 Ohjelmistot

On olemassa paljon erilaisia 3D CAD (3-dimensional computer-aided design) sovelluksia ja konfiguraattoreita. Tämän opinnäyte työn tekoon valikoituivat SolidWorks 3D-Mallinnusohjelma, sekä Link-It® Design Logic lisäosa. Koska ne ovat toimeksiantajalla käytössä olevia ohjelmia.

#### 3.1 SolidWorks

SolidWorks on parametrinen mallinnusohjelma, joka yhdistää piirrepohjaista ja historiapohjaista mallinnusta. Piirrepohjainen mallinnus toimii siten, että ensiksi luodaan 2D Sketch, jolle annetaan ominaisuus, joka antaa sille 3D muodon. Valmiin kappaleen muotoon voidaan vaikuttaa joko vaihtamalla parametrejä sketchistä tai muuttamalla ominaisuuteen liittyviä parametrejä. (Matt 2007.)

Nykyiset CAD-sovellukset käyttävät yleisesti historiapohjaista mallinnusta, eli ohjelma muistaa jokaisen tehdyn toiminnon ja niiden järjestyksen. Tämän seurauksena, kun muokkaat viimeisintä ominaisuutta, tapahtuu muutos nopeasti, mutta kun muokkaat alkupäässä luotua ominaisuutta, joutuu malli tarkastamaan ja mahdollisesti luomaan jokaisen muokatun ominaisuuden jälkeen luodun ominaisuuden uudelleen. (Tornincasa & Di Monaco 2010, s. 6–7.)

SolidWorks on nykyään paljon muutakin kuin vain ohjelma, jolla luodaan 3D-malleja. Sillä voidaan luoda kappaleista tai kokoonpanoista teknisiä piirustuskuvia ja parhaimmat SolidWorks asennuspaketit sisältävät myös erilaisia simulointimahdollisuuksia.

#### 3.2 Link-It® Design Logic

Link-It® Design Logic on konfiguraattorityökalu, jota voidaan käyttää SolidWorks mallinnussovelluksen lisäosana, sillä luodaan käyttöliittymä sekä

algoritmit parametrinen mallin taustalle. (MP Soft 2024.) Konfiguraattoreita käytetään asetusten ja ominaisuuksien hallintaan.

### 3.2.1 Link-It ohjelmointi

Käyttöliittymä ja algoritmit luodaan Link-It Design Logic ohjelmassa dLogic scripteillä. dLogic scriptiä kirjoitetaan ApiGlue nimisellä ohjelmointikielellä. Scriptillä tarkoitetaan ohjelman pätkää, johon on sisällytetty parametreit ja algoritmit, jotka halutaan käydä läpi 3D-mallia ohjattaessa. Ohjelma kirjoitetaan tekstitiedostoon, joka voidaan avata SolidWorksin dLogic lisäosan kautta ja suorittaa.

Ohjelman rakenne on hyvin perinteinen. Ensin luodaan lista muuttujia dLogicInput nimisen taulukon sisälle ja jos muuttujan arvo on tiedossa, voidaan se määrittää tässä kohdassa.

```
1  !=====
2  table dLogicInput
3  !-----
4  !   Dimensions
5  "Panel_Width"           11800
6  "Panel_Height"         7305
7  "Panel_Depth"          350
8  "Typical_Gap"          350
```

Kuva 1. Esimerkki ohjelmasta, jossa on määritetty muuttujan nimi ja sille annettu arvo.

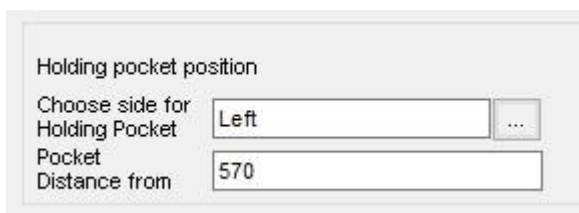
Muuttujien jälkeen ohjelmassa on dLogicFrom niminen funktio. Funktion sisälle kirjoitetaan käyttöliittymään liittyvät tiedot, kuten millä tavalla käyttäjä syöttää tietoja ohjelmaan, minkä niminen muuttuja sisältää käyttäjän syöttämän parametrin ja millaisia ominaisuuksia käyttäjän syöttösarake sisältää.

```

286     frame
287     row
288     label "Holding pocket position"
289     endrow
290     row
291     menu "Pocket_Position" "menu_Pocket_Position" "Choose side for Holding Pocket"
292     endrow
293     row
294     query "Pocket_Distance" "Pocket Distance from MVP"
295     endrow
296     end frame

```

Kuva 2. Esimerkki käyttöliittymän luomiseen liittyvästä ohjelmasta.



Kuva 3. Mallinäyte miltä Kuva 2. ohjelmoitu pätäk näyttää käyttöliittymässä.

Seuraavaksi koodissa on dLogicFromInit niminen funktio, johon luodaan erilaisia algoritmeja, kuten laskukaavoja tai loogisia lausekkeita, joiden halutaan suorittuvan reaaliajassa. Jos taas halutaan, että kyseisen algoritmi tulisi suoritetuksi vasta kun käyttäjä painaa ohjelman suoritusnäppäintä, tulisi algoritmit sijoittaa vasta koodissa myöhemmin esiintyvän DesignLogic nimisen funktion sisälle.

Ohjelmaan voidaan luoda myös omia funktioita, mutta ne tulee sijoittaa valmiiksi luotujen funktioiden väliin, jotta koodi hyväksyy ne. Näitä funktioita pitää kutsua, jotta ne tulevat huomioiduksi koodin suoritusvaiheessa.

### 3.3 Mallin ohjaaminen

Parametrin mallin ohjaaminen onnistuu siten, että valitaan tiedosto, jonka kautta halutaan dLogic-lisäosa käynnistää. Pääkokoontäyttö valikoitui tiedostoksi, josta saa avattua dLogic-lisäosan eli käyttöliittymän, kun käyttäjä on syöttänyt halutut parametrit ja suorittanut ohjelman.

Parametrit tallentuvat scriptiin, jolloin kaikki scriptissä olevat algoritmit suoritetaan. Tiedostojen ollessa samassa kansiossa kuin scriptin sisältävä pääkokoonpano, voidaan scriptissä käskellä ajamaan parametrejä alikokoonpanoihin ja yksittäisiin komponentteihin. Tällöin pystytään ohjaamaan sekä pääkokoonpanoa, että kaikkia komponentteja, jotka se sisältää. Näin ei tarvitse luoda omaa scriptiä jokaiselle komponentille.

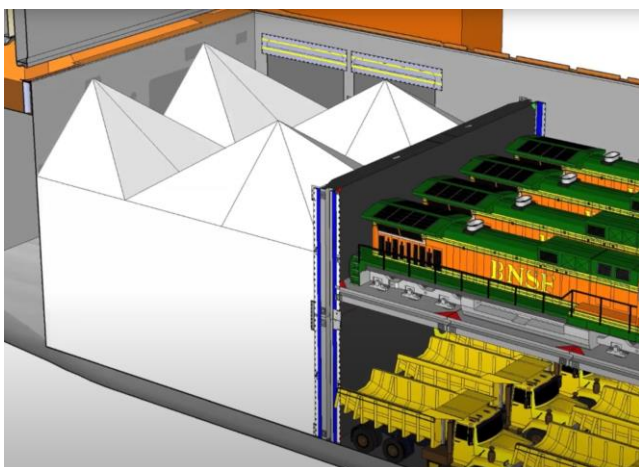
## 4 Toimeksianto

Toimeksianto tehdään MacGregor Oy:lle ja työn tarkoituksena on luoda laipioista parametrinen 3D-malli, jota suunnittelija käyttää suunnitteluvaiheessa työkalunaan.

Toimeksiantajan kanssa käydyssä palaverissa listattiin ominaisuuksia, joita mallin tulee sisältää ja perehdyttiin neljään erilaiseen projektiin, joita käytetään referenssinä tässä projektissa. Jokaisesta referenssiprojektista oli tarkoitus kopioida parhaimmat ratkaisut ja yhdistää ne tähän uuteen työkaluun. Näin saataisiin luotua malli, joka sisältäisi aina uusimmat ja parhaimmat rakenteelliset ratkaisut ja tämän avulla saataisiin yhtenäistettyä suunnittelijoiden ratkaisuja.

### 4.1 Liikuteltava laipio

Laipio on liikuteltava osa laivan ruumassa, joka toimii rajana ja jakaa ruuman pienempiin osiin. Tämä mahdollistaa kuorman painopisteen hallinnan ja erilaisten tuotteiden kuljetuksen samassa tilassa. Laipiot voidaan suunnitella myös siten, että niitä pystytään käyttämään välikantena rajaamaan ruuma myös eri kerroksiin.



Kuva 4. Laipio jakamassa yleisrahtilaivan ruumaa (Cargotec 2011).

Päämuuttujat tällaisessa laipiossa ovat korkeus, leveys ja paksuus. Korkeus ja leveys määräytyvät laivan ruuman mukaan, mutta paksuuden määrittämiseen tarvitaan lisätietoja kuljetettavasta kuormasta. Sitä kautta voidaan erilaisilla laskukaavoilla selvittää kestävyden kannalta tarvittava paneelin paksuus. Paneelin sisällä on vaihtelevia tukirakenneratkaisuja, jotka määräytyvät lujuuslaskijalta saadun raportin perusteella.

Mittojen lisäksi laipiossa voi olla muitakin muuttujia kuten ovi, josta pääsee kulkemaan paneelin läpi, ilmanvaihtoaukot, paneelin lukitsemistyylit voi vaihdella ja sen mukaan jotkin paneelit tarvitsevat tikapuut, jotta päästään käsiksi paneelin ylälaidassa olevaan lukituspinniin. Kaikki muutokset vaikuttavat siihen millainen paneelista tulee, siksi monet paneelit ovat yksilöllisiä.



## 5 Parametrisen 3D-mallin suunnittelu

Työn tarkoituksena oli luoda suunnittelijalle työkalu, johon voidaan projektin alkuvaiheilla syöttää projektin aloitusraportin perusteella lähtöarvoja. Työkalu generoi automaattisesti 3D-mallin, jota voidaan tarvittaessa muokata, jos alkuperäisiin lähtöarvoihin tulee muutoksia.

Suunnittelu lähti siitä, että perehdyin saatuihin referenssiprojekteihin mahdollisimman kattavasti ja poimin jokaisesta projektista ne parhaat ratkaisut, jotka valittiin ohjaajan kanssa.

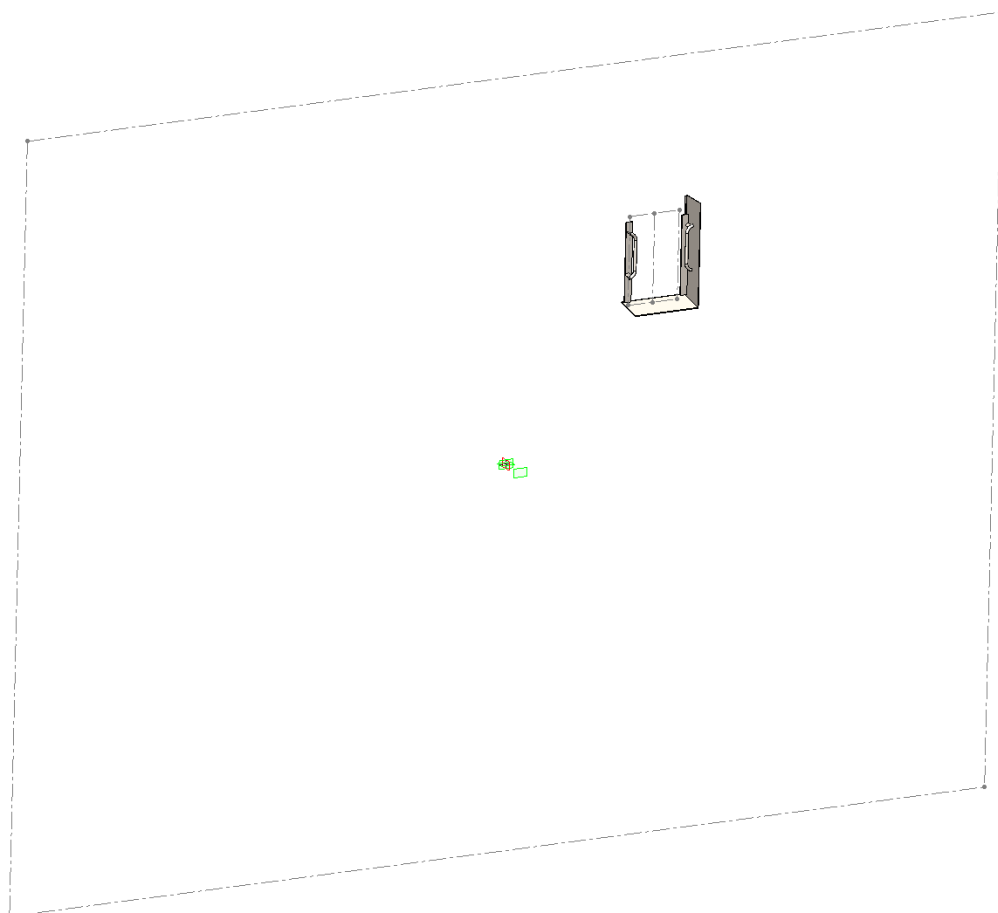
Tässä opinnäytetyössä päädyin rakentamaan pääkoonpanon useista alikoonpanoista tai komponenteista, jotka paikoittuivat suoraan oikeille paikoilleen.

Tämä toteutettiin seuraavanlaisella tavalla:

1. Osatiedostot luotiin ilman riippuvaisuustekijöitä toisiin tiedostoihin.
2. Osatiedostot mallinnettiin ja sijoitettiin pääkoonpanon koordinaatiston mukaisesti.
3. Osatiedostoihin luotiin skeleton-malleja helpottamaan rakenteen hahmottamista.

Näiden toimenpiteiden avulla pystytään luomaan pääkoonpano, jossa ei tarvitse käyttää sidoksia komponenttien välillä.

Skeleton-malleilla tarkoitetaan oman hahmotuskyvyn tai mitoittamisen avuksi luotuja malleja. Koska koko pääkoonpano ja kaikki sen komponentit ohjautuvat parametrisesti, on helppoa luoda tällaisia skeleton-malleja.



Kuva 5. Ventilator komponentti mallinnettuna paikoilleen. Skeleton-malli luotuna päärakenteen ääri rajoista.

Parametrisen mallin tekemisessä on syytä alkuun tutustua mahdollisimman kattavasti tuotteeseen, jota ollaan mallintamassa. Tällöin voidaan visioida miltä valmis malli tulisi näyttämään, millaisia ominaisuuksia parametriseltä mallilta odotetaan ja miltä käyttöliittymän halutaan näyttävän. Näiden pohdintojen perusteella päädyin seuraavanlaiseen rakenneratkaisuun.

## 5.1 Rakenne

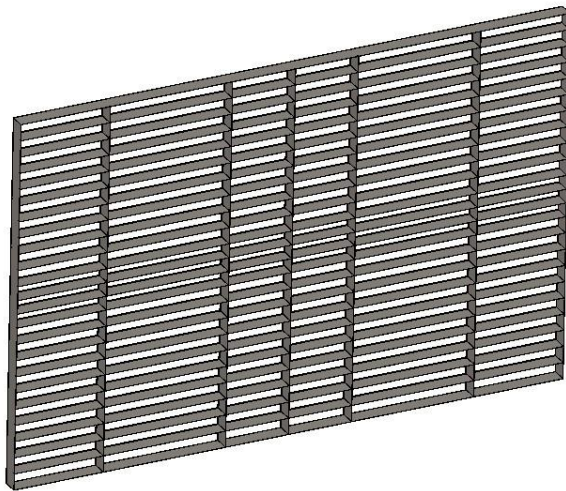
Mallin rakenne on jaoteltu kolmeen erilaiseen kategoriaan. ALWAYS ON, OPTIONAL ja SELECT kategorioihin. Jokainen kategoria sisältää omia komponentteja, joita ohjataan luodun käyttöliittymän kautta.

ALWAYS ON ryhmään jaetuilla komponenteilla tarkoitetaan aina mallissa mukana olevia komponentteja.

OPTIONAL ryhmään jaetut komponentit voidaan tarvittaessa lisätä malliin käyttöliittymän kautta. Esimerkiksi, jos malliin halutaan lisätä ovi, niin se onnistuu yksinkertaisesti vain laittamalla rasti ruutuun ja malli generoituu automaattisesti.

SELECT ryhmään jaetuilla komponentilla on useita variaatioita ja niistä yksi variaatio on aina valittava malliin. Tässä esimerkkinä on "Locking Detail", jossa toisessa variaatiossa lukitus pinni menee laipiosta ruuman seinässä olevaan reikään ja toisessa variaatiossa toisinpäin.

Ensimmäisenä käyttöliittymään syötetään paneelin kokoon ja muotoon merkittävimmät parametrit eli korkeus, leveys, paksuus ja poikittaissuuntaisen tukipalkkien maksimietäisyys toisistaan. Näiden parametrien avulla muodostuu suurin osa mallin rakenteesta. Seuraavaksi määritetään pystysuuntaisten tukipalkkien sijainnit, joita on yleensä 4 tai 5 kappaletta. Näiden parametrien jälkeen ALWAYS ON ryhmään jaettujen komponenttien pääpiirteet ovat generoituneet.



Kuva 6. Ensimmäisten parametrien jälkeen generoitunut malli.

Seuraavassa vaiheessa mallin rakenteessa saadaan valita OPTIONAL kategoriasta löytyviä komponentteja. Komponenttien lisääminen malliin tapahtuu perinteisen rasti ruutuun tavan avulla. Samalla saadaan myös valita SELECT kategoriasta löytyvien komponenttien jokin variaatio.

Main Information | Additional Information | Dimensions for Addons | Measures for checking

Fill in the values according to the instructions of Bulkhead configur

Choose Lifting Style  Selected Lifting Style

Lifting Eye Distance from MVP

Ventilation Openings

Fill in dimensions for Ventilations

Is there Ventilator 1?

Is there Ventilator 2?

Is there Ventilator 3?

Key dimensions of Ventilator 3

Height of Ventilator 3

Width of Ventilator 3

Distance of Ventilator 3 from Panel Bottom Level

Is there a Door?

Choose Door  Selected Door

Height of door

Width of door

Distance of Door from MVP

Vertical wall thickness

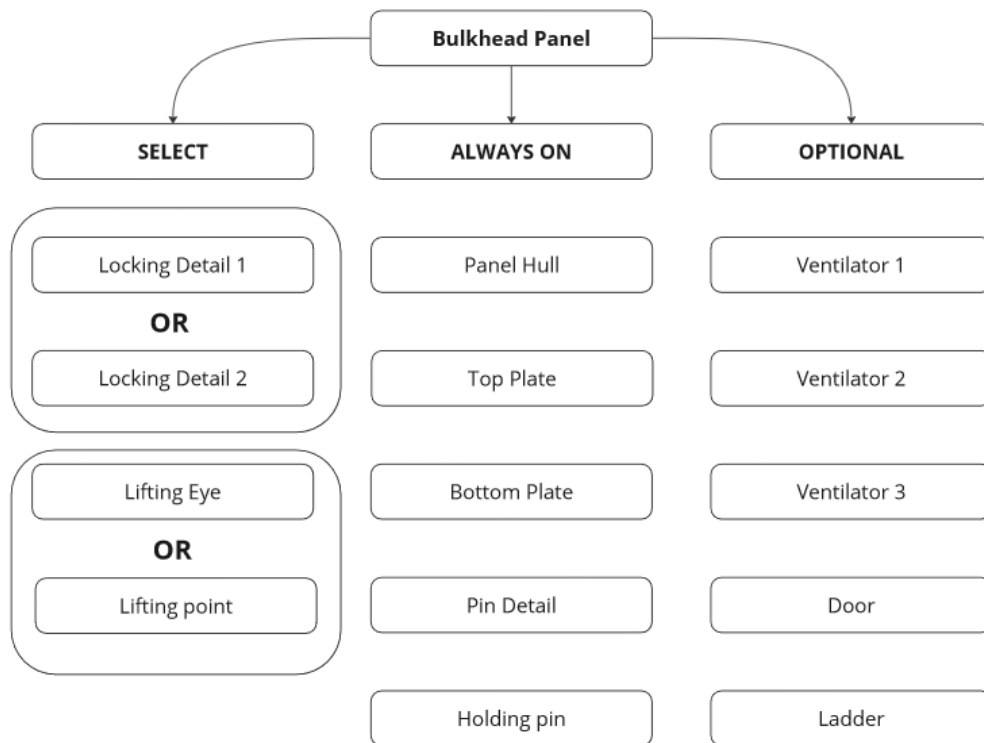
Is the Ladders?

Modify Ladder Midpoints Sketch in Bulkhead\_Assembly to determine Ladder positions

Ladder distance from MVP

Switch Door and Ventilator 3 to Opposite sides

Kuva 7. Käyttöliittymä näkymä sivulta, jossa valitaan mallin ominaisuuksia.



Kuva 8. 3D-mallin rakenne ryhmiin jaoteltuna.

## 5.2 Haasteet

Koodin kirjoittaminen osoittautui oletettua hankalammaksi. Aiempi kokemus koodin kirjoittamisesta oli vähäistä ja tämä käytetty koodikieli oli monilta osin todella yksinkertaistettu. Tämä tarkoittaa sitä, ettei se juurikaan sisällä mitään valmisfunktioita.

Suurimpana haasteena rakenteeseen liittyen oli luoda eräänlainen laskuri. Laskuri vaikuttaisi poikittaissuuntaisiin tukipalkkeihin ja niiden etäisyyteen toisistaan, mikäli paneelin korkeus ei jakautuisi tasan annetun poikittaispalkkien maksimietäisyyden kanssa.

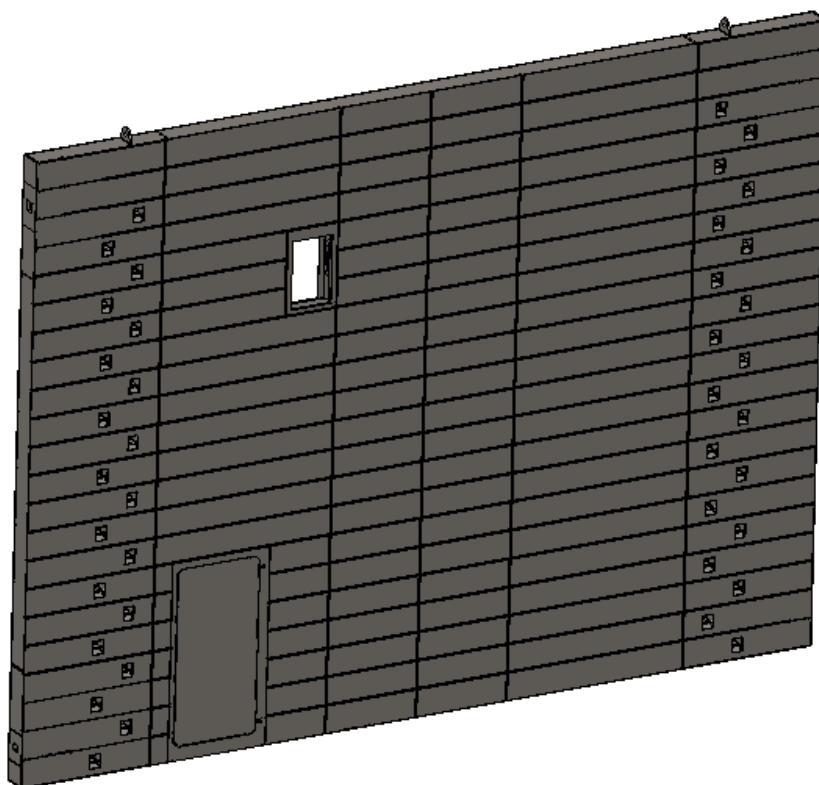
Otetaan esimerkkitilanne, jossa suunnittelija määrittää paneelin korkeudeksi 8800 mm ja lujuuslaskennasta on tullut raportti, jossa poikittaissuuntaisesti olevien palkkien suurin sallittu etäisyys on 350 mm. Tällaisessa tilanteessa

jossakin kohtaa paneelia tarvitsee olla väli, jonka mitat muuttuvat. Yleisesti valmistettavuuden kannalta pyritään siihen, että mahdollisimman moni väli olisi samansuuruinen. Lisäksi, jos käyttäjä valitsisi lisätä malliin tikapuut tulisi, niiden aina mahtua poikittaispalkkien väliin. Tästä tuli uusi muuttuja lopulliseen algoritmiin.

## 6 Tulokset

Opinnäytetyön lopputuote oli odotetun kaltainen. Käyttöliittymän kautta voidaan muuttaa kaikkia haluttuja parametrejä ja vaikuttaa mallissa oleviin komponentteihin hyvinkin yksinkertaisesti.

Jotkut komponentit määritellään ohjelmoitujen algoritmien avulla, mutta pääsuunnittelijan on silti tarkastettava komponentit ja tehdä joitain manuaalisia muutoksia. Tämä johtuu siitä, että variaatioiden määrä olisi ollut valtava, eikä niiden ennakovalmistelu olisi ollut järkevää tässä vaiheessa.



Kuva 9. Automaattisesti luotu 3D-malli.

Seuraavan projektin alkaessa, jossa päästään kokeilemaan opinnäytetyön työkalua aidossa työympäristössä, saadaan selville millaisia muutoksia malliin pitää tehdä, jotta se palvelee käyttötarkoitusta mahdollisimman hyvin. Työkalu varmasti kehittyy muutamien projektien aikana. Jos huomataan joidenkin ratkaisuiden toistuvan useasti, voidaan sen jälkeen lisätä tarvittavat automatisoinnit, jotta työkalusta saadaan mahdollisimman suuri hyöty.

### 6.1 Ensimmäisen testauksen palaute

Palautteen perusteella työhön oltiin hyvin tyytyväisiä. Sain toki kehotuksia käyttöliittymän selkeyttämiseen sekä kuinka voisin parantaa ohjeistusta mallin käyttämiseen ja nopeuttaa työkalun käyttöönottoa. Varovaisimpien arvioiden mukaan tällä saatetaan saavuttaa jopa 20 % ajansäästöä aiempiin projekteihin verrattuna, mutta se on toki vain alustava arvio.

Päätimme irrottaa muutaman sketchin ohjelmoinnista, koska palautteen perusteella ne jäykistivät mallia liikaa. Näihin sketcheihin piti alkuperäisenkin suunnitelman mukaan käydä tekemässä osa muutoksista käsin, sillä ne olivat vain osittain automatisoituja. Päädyimme lopputulokseen, jossa on helpointa ohjata koko sketchiä vain käsin.



## Lähteet

Alba, M. 2018. What's the Difference Between Parametric and Direct Modeling?

Viitattu 01.03.2024 <https://www.engineering.com/story/whats-the-difference-between-parametric-and-direct-modeling>

Cargotec. 2011. Bulkhead sealing gear. Youtube-videopalvelu. Julkaistu

09.12.2011. Viitattu 10.03.2024 <https://www.youtube.com/watch?v=WDJvF-Xi4Jg&t=61s>

Laaksonen, A. 2022. Tietorakenteet ja algoritmit. Helsingin yliopisto. Viitattu

01.03.2024. <https://www.cs.helsinki.fi/u/ahslaaks/tirakirja/>

Lammi, K. 2017. Suoramallinnus CAD-järjestelmissä. Kandidaatintyö.

Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu

01.03.2024.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25348/Lammi.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Matt. 2007. Stepping outside of the parametric feature-based paradigm in

SolidWorks. Viitattu 02.03.2024 <https://dezinstuff.com/12/>

MP Soft, Link-It® Logic, 2024. <https://mpsoft.fi/solutions/link-it-logic/>

Tara, R. 2024. What is parametric modeling? Viitattu 01.03.2024.

<https://www.engineering.com/story/what-is-parametric-modeling>

Tornincasa, S. & Di Monaco, F. 2010. The Future and the Evolution of CAD.

14<sup>th</sup> International Research/ Exper Conference. Viitattu 01.03.2024.

<http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/Keynote-Tornincasa.pdf>