

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2022

Varpu Kiviharju

# Moottorikatos museoidulle W64- moottorille Turun Telakkarantaan



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2022 | 45 sivua

Varpu Kiviharju

## Moottorikatos museoidulle W64-moottorille Turun Telakkarantaan

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Turun Telakkarannassa sijaitsevalle museoidulle W64-moottorille katos. Työssä esitellään moottorikatoksen suunnittelun eri vaiheet ja erityisesti katoksen konseptointiin tutustutaan laajemmin. Lopuksi kerrotaan moottorikatoksen prototyypin tiedot.

Ensin käydään kehitysprojektin lähtökohdat läpi. Niiden perusteella esitetään ensimmäiset konseptoinnit, joita kehitetään eteenpäin työn teossa mukana olleiden henkilöiden kanssa ja heidän antamansa palautteen avulla. Suunnitteluprosessia edistettiin ja konseptia kehitettiin viikottaisissa palavereissa. Työn aikana mallinnettiin kolme eri konseptivaihtoehtoa, joista valittiin voittaja asiantuntijaraadin mielipiteiden perusteella. Lopputuotteeksi saatiin moottorikatoksen prototyyppi, johon sisältyi rakenteen materiaalmäärät ja niiden hinnat. Opinnäytetyö on katosta varten suuntaa-antava suunnitelma, joka mahdollisesti toteutuessaan vaatii vielä tarvittavaa hienosäätöä.

Asiasanat:

Tuotekehitys, projektit, konseptisuunnittelu

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2022 | 45 pages

Varpu Kiviharju

## Engine canopy for the museumed W64 engine in Telakkaranta of Turku

The aim of the thesis was to design a canopy for a museumed W64 engine located in Telakkaranta of Turku. The thesis presents the different stages of the design of an engine canopy and introduces the different phases of concept design. As a final result the prototype of the canopy was presented.

Firstly, the starting points of the development project were reviewed. Based on the starting points the first concepts were presented, which were developed further with the people involved in the thesis and with the help of their feedback. The concept were assessed and the progression of the design process took place in weekly meetings. During the thesis, three different concept options were modeled, from which the winner was selected based on the opinions of an expert panel. The end product was a prototype of an engine canopy, which included the material quantities of the structure and their prices. The thesis was a indicative plan for the canopy, which, if implemented, will still require the necessary fine-tuning.

Keywords:

Product development, projects, concept design

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Tuotekehitysprojektin vaiheet</b>	<b>8</b>
2.1 Tuoteohjelman suunnittelu	8
2.2 Konseptisuunnittelu	9
2.3 Systeemis suunnittelu	10
2.4 Detalijisuunnittelu	10
2.5 Testaus ja parantelu	11
2.6 Tuotanto	11
<b>3 Wärtsilä ja W64-projektin tausta</b>	<b>12</b>
3.1 Historia	12
3.2 Nykytilanne	12
3.3 Moottorimallit	13
3.3.1 Yleisesti	13
3.3.2 Wärtsilä 64	13
3.4 W64-moottoriprojektin tausta	13
<b>4 Konseptit</b>	<b>15</b>
4.1 Valmiiksi olevat konseptit ja lähtökohdat	15
4.2 Uusien konseptien kehittäminen	15
4.2.1 Ideoista luonnoksiksi	16
4.2.2 Konseptoinnin toinen vaihe	17
4.2.3 Kolmas vaihe	18
4.2.4 Neljäs vaihe	19
4.3 Materiaalit	21
4.4 Esittely kaupungille	23
4.4.1 Pukin tiedot esittelyvaiheessa	24
4.4.2 Raadin kommentit pukkiin	25
4.4.3 Laatikon tiedot esittelyvaiheessa	25
4.4.4 Raadin kommentit laatikkoon	25

4.4.5 Spiraali	26
4.4.6 Voittajakonseptin valinta	26
<b>5 Voittajakonseptin tarkennettu rakenne</b>	<b>27</b>
<b>6 Testaus</b>	<b>30</b>
6.1 Simulointiin tarvittavat voimat	30
6.1.1 Lumikuorma	30
6.1.2 Tuulikuorma	31
6.1.3 Rakenteen omat kuormat	32
6.2 FEM-simulaatio	33
6.2.1 Ensimmäinen kierros	33
6.2.2 Parannukset	34
6.2.3 Toinen kierros	35
<b>7 Lopputulos</b>	<b>38</b>
7.1 Renderointi	38
7.2 Materiaalilista ja hintatarjoukset	40
<b>8 Lopuksi</b>	<b>43</b>
<b>Lähteet</b>	<b>44</b>

## **Kaavat**

Kaava 1. Lumikuorman määrittäminen.	30
Kaava 2. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvon määrittäminen.	31
Kaava 3. Tuulikuorman määrittäminen.	32

## Kuvat

Kuva 1. Konseptien alkuvaihe.	16
Kuva 2. Moottori konsepteihin.	18
Kuva 3. Oikea moottorimalli konsepteihin.	19
Kuva 4. Pukin renderointi.	20
Kuva 5. Laatikon renderointi.	21
Kuva 6. Julkisivukasetti (Ruukin nettisivut) ja mallinnettu putkipalkki.	22
Kuva 7. Kolmilanka- ja verkkoaitojen 3D-mallinnukset.	23
Kuva 8. Spiraalin renderointi.	24
Kuva 9. Laatikon tukirakenne.	27
Kuva 10. Laatikon jalkapalkin sisäluuranko.	28
Kuva 11. Katon sisärakenne.	29
Kuva 12. Ensimmäisen simulaatiokierroksen siirtymät.	34
Kuva 13. Ensimmäisen simulaatiokierroksen jännitykset.	34
Kuva 14. Toisen simulaatiokierroksen siirtymät.	35
Kuva 15. Toisen simulaatiokierroksen jännitykset.	36
Kuva 16. Toisen simulaatiokierroksen jännityspiikit.	37
Kuva 17. Lopullinen renderointi edestä Telakkarannan maisemissa.	39
Kuva 18. Lopullinen renderointi sivusta Telakkarannan maisemissa.	40

## Taulukot

Taulukko 1. Konseptien koko (1).....	17
Taulukko 2. Konseptien koko (2).....	18
Taulukko 3. Konseptien koko (3).....	19
Taulukko 4. Konseptien koko (4).....	21
Taulukko 5. Materiaalilistaus ja hinnat. ....	41

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella Wärtsilän museoidulle moottorille moottorikatoksen prototyyppi. Moottori on sijoitettu Turun Telakkarannan jokivarteen lähelle Wärtsilän vanhaa Stålminkadun toimistoa. Katoksen suunnittelussa on huomioitava erilaiset sääolosuhteet, erityisesti lumi ja tuuli, sekä hinta. Lopputuloksena halutaan saavuttaa moottorikatoksen prototyyppi, joka mallinnetaan Siemens NX -ohjelmalla, ja joka on Turun kaupungin edustajista muodostuvan raadin mieleen. Työ tehdään Wärtsilä Finland Oy:lle yhteistyössä Turun kaupungin ja Forum Marinumin kanssa.

Ensin työssä selostetaan tuotekehitysprojektin tiivistetty kulku. Tuotekehitysprojektin kulkuun ja vaiheisiin on monenlaisia eri tapoja ja tyyliä. Tässä työssä esitellään tuotekehityksen kulku kuusivaiheisen Ulrich-Eppinger-mallin mukaan. Vaiheita ovat tuoteohjelman suunnittelu, konseptisuunnittelu, systeemisuunnittelu, detaljisuunnittelu, testaus ja parantelu -vaihe sekä tuotantovaihe.

Työssä esitellään myös Wärtsilää yrityksenä ja sen historiaa, W64-moottoriprojektin tausta, tiivistettynä tuotekehitysprojektin kulku ja moottorikatoksen konseptien kehitys vaiheittain yhdeksi prototyyppiä materiaaleineen ja hintoineen. Lopussa prototyyppiä testataan ja muodostetaan testausta varten vaadittavat laskut.

## 2 Tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehitysprojektin tarkoitus on kehittää yrityksen vanhaa jo olemassa olevaa tuotetta tai vaihtoehtoisesti luoda täysin uusi tuote. Projektityyppinä on olemassa neljä: uuden tuotealustan kehittäminen, olemassa olevien tuotealustojen johdannaisten kehittäminen, inkrementaalinen eli vähittäin kasvava olemassa olevan tuotteen kehittäminen ja täysin uusien tuotteiden kehittäminen. (Ulrich & Eppinger 2012, 55–56.) Tuotekehitysprojekti ei ole koskaan suoraviivainen ja moniin vaiheisiin joudutaan palaamaan uudelleen, joskus jopa täysin alkuun. Eli toisin sanoen se on monivaiheinen kokonaisuus, johon sisältyy paljon väliarviointia ja karsintaa aihekokonaisuuksien välissä.

Tuotekehitysprojektin vaiheet voidaan määritellä monin eri tavoin, mutta pääasiat pysyvät samoina. Projektin kolme tärkeintä elementtiä ovat: markkinointi, suunnittelu ja tuotanto. Markkinointi edustaa yrityksen ja sen asiakkaiden välistä kanssakäymistä, suunnittelu sisältää insinööri- ja teollisuusasiantuntemusta ja tuotannon sujuvuus lopussa on johdanteinen tuotteen suunnittelusta. (Ulrich & Eppinger 2012, 3.) Ongelmat projektin missä tahansa vaiheessa heijastuvat myös muihin vaiheisiin, ja harkitulla suunnittelulla sekä valmistelulla pyritään minimoidaan ne. Aikaisemmin mainitut tuotekehitysprojektin elementit voidaan jakaa tarkemmin seuraaviin vaiheisiin Ulrich-Eppinger-mallin mukaan: tuoteohjelman suunnittelu, konseptisuunnittelu, systeemisuunnittelu, detaljisuunnittelu, testaus ja parantelu -vaihe sekä tuotantovaihe. (Hietikko 2015, 47.)

### 2.1 Tuoteohjelman suunnittelu

Tuoteohjelman suunnittelua kutsutaan yleensä myös ”nollatasoksi”, sillä se tehdään ennen tuotekehitysprojektin käynnistämistä. Vaiheen tarkoitus on selvittää tuotteen markkinat, selvittää tavoitteet ja keskeiset oletukset sekä asettaa reunaehdot. Tuoteohjelman suunnitteluun suositellaan Ulrich & Eppingerin (2012, 57) mukaan viittä vaihetta:



- 1) Mahdollisuuksien havainnointi
- 2) Projektien arviointi ja priorisointi
- 3) Resurssien jakaminen ja ajankäytön suunnittelu
- 4) Projektin valmistelun viimeistely
- 5) Tulosten ja prosessin reflektointi

Ennen itse tuotteen suunnittelun aloitusta onkin tärkeää selvittää lähtökohdat selkeiksi. Lähtökohdat ovat projektiluontaisia, eivätkä täten koskaan samanlaisia. Tarpeen vaatiessa projekti voidaan tässä vaiheessa myös vielä keskeyttää, jos tullaan tulokseen, ettei projektia kannata lähteä toteuttamaan. (Hietikko 2015, 47.)

## 2.2 Konseptisuunnittelu

Asiakastarpeiden tunnistaminen on tärkeää konseptisuunnitteluvaiheen alussa. Asiakastarpeet ohjaavat tuotekehitysprojektin jäsentä/jäseniä tuotespesifikaatioiden asettamisessa, konseptien luomisessa ja jatkokehitykseen päästävien konseptien valinnassa. Asiakastarpeiden tunnistamiseen voidaan Ulrich ja Eppingerin (2012, 75) mukaan käyttää viittä seuraavaa vaihetta:

- 1) Datan kerääminen asiakkailta
- 2) Kerätyn raa'an datan tulkitseminen asiakastarpeiden näkökulmasta
- 3) Tarpeiden järjestäminen hierarkiaksi
- 4) Tarpeiden tärkeyden suhteuttaminen
- 5) Tulosten ja prosessin reflektointi.

Konseptisuunnittelulle keskeistä on myös ideointi. Ideoiden syntyminen on yksilökohtaista eikä se ole johdannainen ahkerasta työnteosta ja ponnistelusta. Vuosien työskentely ideointia koskevan asian parissa saattaakin jopa vaikeuttaa ideoiden keksimistä, sillä useimmiten uudet ideat syntyvät, kun ajatukset eivät ole urautuneet. Usein uudet ideat syntyvät myös silloin, kun vanha teoria haastetaan tai tietoa tarkastellaan uudesta näkökulmasta. Ideoille on myös tyypillistä, että ne iskevät yhtäkkiä. (Jokinen 1987, 32–33.) Ideoiden syntymisen

helpottamiseksi voidaan käyttää joko ulkoisia tai sisäisiä lähteitä. Ulkoisia lähteitä ovat esimerkiksi asiakkaat tai messut, ja sisäisiä lähteitä ovat esimerkiksi ideariihet, aloitteet, erilaiset epäviralliset keskustelut ja neuvottelut, suunnittelukokoukset sekä oma tutkimus- ja kehitystyö. (Jaakkola & Tunkelo 1987,116.)

Ideat muutetaan luonnoksiksi. Ideoinnin sijaan luonnostelussa pidetään jatkuvasti mielessä taloudellisuus ja kustannukset. Luonnoksista valitaan kehityskelpoisimmat testaukseen (katso kohta testaus ja parantelu). Testauksen jälkeen tuotteelle asetetaan lopulliset spesifikaatiot asetetaan, jonka jälkeen suunnitellaan jatkoa. (Hietikko 2012, 61.)

### 2.3 Systeemisuunnittelu

Edellisessä vaiheessa valittu konsepti muodostuu konkreettisemmaksi systeemisuunnitteluvaiheessa. Vaiheen aikana mietitään millaisiin kokoonpanoihin, osiin ja osakokonaisuuksiin tuotteen valmistus jaettaisiin. Tässä vaiheessa pyritään ottamaan kantaa myös tuotteen valmistamiseen eli tarkemmin siihen, mitä voidaan valmistaa itse ja mitä osioita valmistamisesta täytyy ulkoistaa. Kaikkea tätä selkeyttää tuoterakenteen modulointi. Modulointia voidaan suunnitella erilaisilla menetelmillä, joista käytetyin on luultavasti systemaattinen suunnittelujärjestelmä eli MDF (engl. Modular Function Deployment). (Hietikko 2015, 122.)

### 2.4 Detalji-suunnittelu

Detalji-suunnitteluvaiheessa jokainen tuotteen osa ja kokoonpano kehitetään lopulliseen muotoonsa. Vaiheen aikana tuotteelle on tarkoitus saada aikaan sille vaadittava dokumentaatio eli piirustukset. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.) Piirustuksiin sisällytetään Hietikon (2015, 133) mukaan yleensä neljä informaatiota:

- 1) Osien muoto ja mitat

- 2) Materiaalit, joista osat valmistetaan
- 3) Käytettävät valmistusmenetelmät, toleranssit ja pinnanlaadut
- 4) Tuotteen kokoonpanoissa käytettävät menetelmät

## 2.5 Testaus ja parantelu

Testauksen ja parantelun aikana tuotteesta valmistetaan prototyyppi, jota voidaan testata ja testitulosten avulla tehdä tuotteeseen mahdollisia parannuksia. Varhaiset eli alfa-prototyypit ovat ulkomuodoltaan samanlaisia kuin haluttu tuote, joskaan eivät valmistettu samoin menetelmin. (Ulrich & Eppinger, 2012, 15.) Testausmenetelmänä voidaan käyttää myös eri simulaatioita, joita voidaan hyödyntää ensimmäisen kerran jo konseptisuunnitteluvaiheessa, mutta erityisesti detaljisuunnitteluvaiheessa. Simuloinnissa voidaan hyödyntää paljon erilaisia teknologioita, joita esimerkiksi ovat elektromagnetismi, virtausdynamiikka, rakenneanalyysit, väsymis- ja murtumisanalyysit sekä rakenteen optimointi lujuuden tai jäykkyyden puolesta. (Hietikko 2015, 195.)

## 2.6 Tuotanto

Tuotantovaiheessa tuotteelle luodaan markkinointisuunnitelma ja tuotantosuunnitelma. Suunnitelmien ollessa valmiita tuotetta vielä testataan ja sille tehdään koemarkkinointi. Koemarkkinointiin on hyvä idea kytkeä mukaan ainakin osa jakeluketjusta, jotta jakelukanavatkin tulee testattua. Ennen tuotteen julkistamista ja varsinaisen markkinoinnin aloitusta tuotteesta ajetaan koesarja, joka voi tuotteesta riippuen olla esimerkiksi 5, 100 tai 1000 kappaletta. Onnistuneen julkistamisen jälkeen on vielä varauduttava puutteiden korjaamiseen ennen sujuvan ja pitkäkestoisemman tuotannon aloitusta. (Jaakkola & Tunkelo, 1987, 162–163.)

## 3 Wärtsilä ja W64-projektin tausta

Wärtsilä on merenkulku- ja energiamarkkinoiden teknologioiden ja elinkaariratkaisujen valmistaja. Se on kansainvälinen yritys, joka työllistää eri alan osaajia yli kahdessadassa sijainnissa ja noin seitsemässäkymmenessä maassa. Yrityksen kolme markkinoiden päälinjaa ovat laivateho, voimalaitokset ja palvelut. (Wärtsilä 2022)

### 3.1 Historia

Wärtsilällä on pitkä historia ja se on toiminut jo vuodesta 1834. Se perustettiin Karjalassa alunperin sahasi. Wärtsilä kuitenkin kehittyi nopeasti, ja jo vuonna 1851 sahan tilalla oli raudan valmistuslaitos, johon saatiin sähköt omavaraisesti vuonna 1908 avatusta Saarionkosken voimalaitoksesta. 1930-luvulla Wärtsilän laajeneminen jatkui, ja jo vuonna 1938 dieselmoottorit tulivat mukaan yritystoimintaan. Ensimmäinen dieselmoottori valmistui Turussa vuonna 1942. Sen jälkeen moottorien valmistus aloitettiin 1950-luvulla myös Vaasassa, jossa se edelleenkin jatkuu. Moottorien lisäksi Wärtsilä omisti erityisesti alkuvuosinaan paljon osakkeita, tarjosi ja oli mukana erilaisissa yritysyhteistyöissä. Yritys jatkoi laajenemistaan, tehtaita avattiin ulkomaisiin lokaatioihin ja yhteistyökumppanit sekä asiakaskunta kasvoivat. (Wärtsilän intranet 2022)

### 3.2 Nykytilanne

Nykyään Wärtsilä jatkaa kasvuaan ja on maailman johtava merenkulku- ja energiamarkkinoiden innovatiivisten teknologioiden ja elinkaariratkaisujen valmistaja. Jopa joka kolmannella merialuksella on Wärtsilän tuottama ratkaisu. Yrityksen ratkaisujen tavoitteena on myös vähentää toimialan hiilidioksidipäästöjä. Tämä näkyy esimerkiksi LNG-polttoaineen käyttöönotossa. (Wärtsilä 2022)

### 3.3 Moottorimallit

#### 3.3.1 Yleisesti

Wärtsilän moottorimallit voidaan pääosiallisesti jakaa diesel-, dual fuel -, kaasuja tulevaisuuden kaasumoottoreihin. Sylinterit on aseteltu joko suoraan (L-moottorimalli) tai v-mallisesti (V-moottorimalli). Tällä hetkellä markkinoilla olevat mallit vaihtelevat kooltaan pienimmästä 140-millisestä sylinterin halkaisijasta isoimpaan 500-milliseen halkaisijaan. Moottorit noudattavat seuraavia ISO-standartoituja viite-ehtoja: kokonaisbarometrinen paine 1,0 bar, imuilman lämpötila 25°C, ahtoilman jäähdytysveden lämpötila 25°C ja suhteellinen kosteus 30 %. Kaasu- ja monipolttoainemoottoreita kehitetään jatkuvasti, jotta ne sopisivat erilaisiin merisovelluksiin. (Wärtsilän intranet, Marine Power Catalogue, 2020)

#### 3.3.2 Wärtsilä 64

Wärtsilä 64 on 640-millisellä sylinterihalkaisijalla isoin Wärtsilän keskinopeiden moottoreiden sarjassa ollut moottorimalli. Wärtsilä 64:n kaksoismäntäkonsepti mahdollisti typpioksiditason paremman säätämisen eri kuormituksilla ja polttoainelaaduilla. Kaksoismäntäkonseptissa yksi männän heliksi määrittää ruiskutuksen alkamisen ja toinen männänkierre mittaa ruiskutettavan polttoaineen määrän. Järjestelmä mahdollisti myös erinomaisen alhaiseen polttoaineenkulutukseen ja savuttomaan toimintaan keskisuurella ja suurella moottorin kuormituksella. (Wärtsilä 2004)

### 3.4 W64-moottoriprojektin tausta

Moottorimalli valmistettiin Wärtsilän toimesta Turussa vuonna 1996, josta se ajettiin tehtaalle Vaasaan. Uuden moottorimallin tarkoituksena oli tuoda asiakasmarkkinoille uusi tehokkaampi polttomoottori perinteisten dieselmoottoreiden rinnalle. Muutaman vuoden kuluttua moottori kuljetettiin

Vaasasta Italiassa sijaitsevalle tehtaalle Triesteen testauskoneeksi. Moottorimallista tehtiin asiakastilauksia vuoteen 2002 mennessä, mutta vuonna 2008 mallin tuotanto kuitenkin lopetettiin kuin myös kyseisen Turkuun saapuneen moottorin testaus Italiassa.

Vuonna 2012 moottori varastoitiin. Varaston vuokra päättyi vuonna 2017, jonka vuoksi moottori oli romutusuhan alaisena. Wärtsilä otti yhteyttä Forum Marinumiin ja keskustelut moottorin museoinnista käynnistettiin. Moottorin siirto takaisin Suomeen aloitettiin, sopiva rahtikuljetusaikataulu ja moottorin loppusijoituspaikka selvitettiin. Loppusijoituspaikaksi valittiin Turussa Wärtsilän Stålarinkadun toimiston puoleinen jokiranta. Meyer Turku selvitti sopivan teräsalustan, jonka avulla moottori oli mahdollista laskea ja siirtää nykyiselle paikalleen vanhan Wärtsilän nosturin läheisyyteen. (Wärtsilältä saatu sisäinen tieto. Leo Laakso. 20.1.2022.)

## 4 Konseptit

Konseptoinnin aikana ideointiin saatiin apuja valmiiksi olevista konsepteista ja valmiiksi määritellyistä raja-ehtoista. Ideoista tehtiin konkreettisia luonnosten avulla. Luonnoksista valikoitui kolme konseptivaihtoehtoa jatkokehitykseen. Kehittelyn aikana konseptivaihtoehtoja arviointii ja yksi karsittiin jo alkuvaiheessa pois. Tarkkuutta konsepteihin saatiin koko ajan lisää renderoinnin, materiaalivalintojen ja oikeita mittasuhteita määrittelevien objektien lisäämisen avulla.

### 4.1 Valmiiksi olevat konseptit ja lähtökohdat

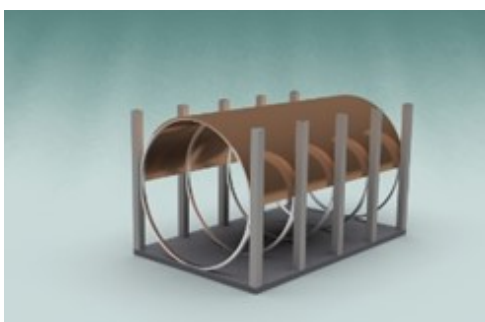
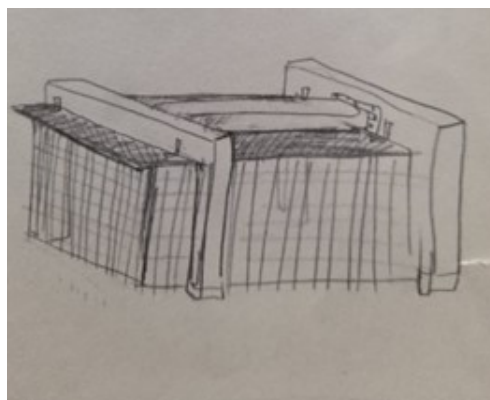
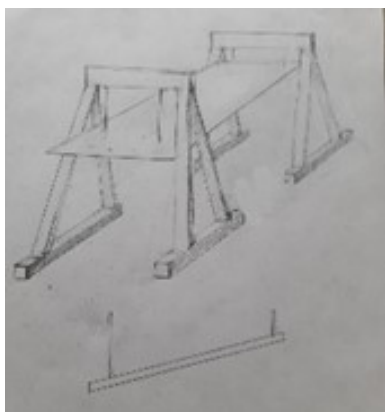
Moottorikatokseen oli valmiiksi olemassa kaksi eri konseptivaihtoehtoa, joista sai suunnittelutyöhön suuntaa, vaikka tarkoituksena oli kuitenkin saada uusia ideoita kehiteltyä. Vanhoista konsepteistakin oli huomattavissa, että molemmat olivat renderoitu Telakkarannan maisemataustalla, sillä yksi tärkeimmistä kriteereistä katokselle olikin sopivuus ympäristöön. Ympäristöön sopivuuden lisäksi moottorikatoksen suunnittelussa oli huomioitava käytössä oleva budjetti, ja tässä opinnäytetyössä esitetyillä konsepteille haettiin näytävyyden lisäksi mahdollisia säästöratkaisuja. Säästämisen mahdollistamiseksi materiaalivalintojen, muotojen valmistettavuus ja rakenteiden koottavuus muodostuivat tärkeiksi kysymyksiksi.

### 4.2 Uusien konseptien kehittäminen

Konseptien kehittelyn alkuvaiheessa mietittiin kaikki mahdolliset kriteerit, joiden avulla konsepteja pystyttäisiin vertailemaan taulukkomuodossa läpi koko projektin. Kriteereiksi muodostuivat; rakenteen edut ja haitat, valmistettavuus, materiaalmäärät, kustannusarvio ja sen tarkkuus, moottorin näkyvyys, ympäristöön sopivuus, suojakuori eli aita tai muu sellainen ja moottorikatoksen tarvittava leveys, korkeus, pituus ja paino.

#### 4.2.1 Ideoista luonnoksiksi

Konseptien kehittäminen alkoi kolmesta vaihtoehdosta, joiden työnimiksi tulivat pukki (Kuva 1, vasemmalla ylhäällä), laatikko (Kuva 1, oikealla ylhäällä) ja spiraali (Kuva 1, alhaalla). Alkuvaiheessa huomattavaa oli se, että pukissa hyvää oli rakenteen toteutettavuus, sillä materiaalit olisi saatavilla suoraan rautakaupoista ja se voitaisiin pystyttää pulttiliitoksilla, mutta haasteeksi huomattiin muodostuvan mahdollisesti mielenkiintoista jakava ulkomuoto. Laatikko puolestaan olisi ulkomuodoltaan turvallisempi ratkaisu, mutta jykävät 800x800 mm palkit tulisi haasteelliseksi toteuttaa. Viimeisenä vertailuun tullut spiraali oli mielenkiintoinen ulkonäöltään, mutta kaarevat isot muodot tulisi vaikeaksi valmistaa.



Kuva 1. Konseptien alkuvaihe.

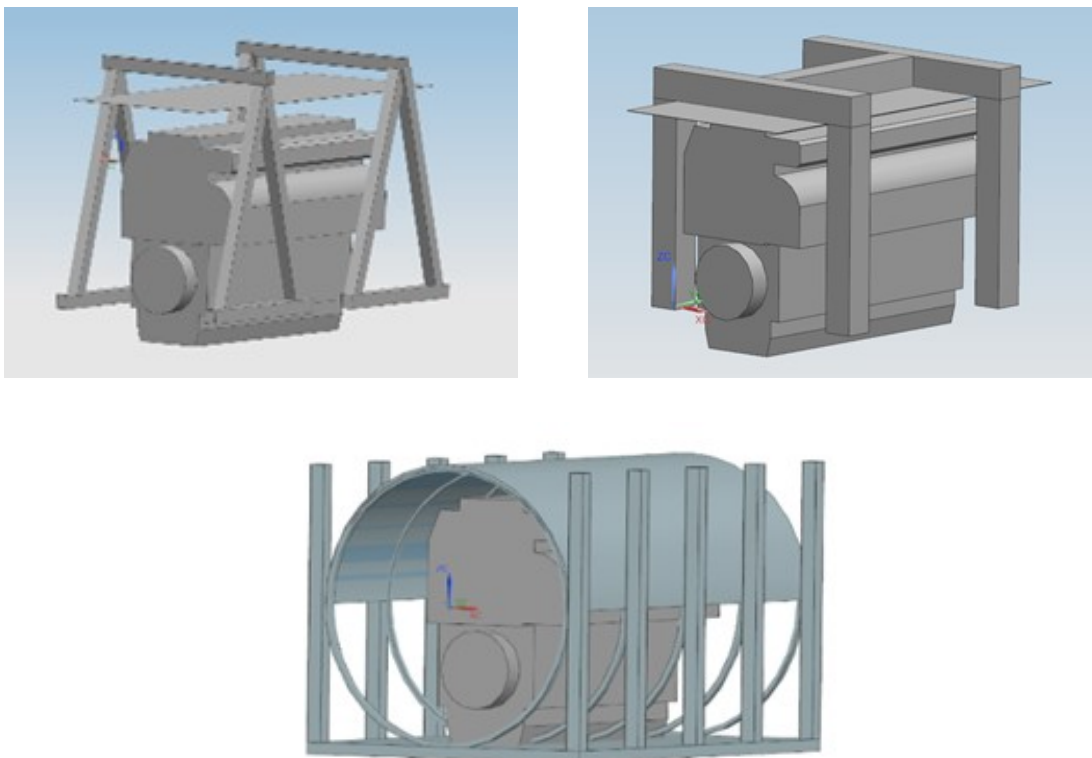


Taulukko 1. Konseptien koko (1).

Konsepti	Korkeus	Leveys	Pituus	Paino
Pukki	noin 10 m	6 m	12 m	-
Laatikko	noin 7 m	7 m	12 m	-
Spiraali	noin 11 m	11 m	12 m	-

#### 4.2.2 Konseptoinnin toinen vaihe

Seuraava vaihe oli mallintaa W64-moottorista karkea ääreismittamalli, joka mallinnettiin piirrustusten mukaan. Ääreismittamallin avulla voitiin jo vähän nähdä, miten konseptit käyttäytyivät, kun moottori olisi niiden sisällä (Kuva 2). Tässä vaiheessa ideana vielä oli se, että moottori upotettaisiin öljypohjan kohdalta, ja siksi pukki sekä laatikko alkoivat korkeutensa puolesta vasta sen kohdalta. Nyt oli huomattavissa, että pukin sekä laatikon rakenteita tulisi laajentaa joka suuntaan, jotta ne eivät näyttäisi ahtailta moottorin kanssa. Pukkiin kokeiltiin suoraa kattoa ensimmäisestä suunnittelupiirrustuksesta poiketen. Spiraalissa moottori puolestaan jäisi liian paljon piiloon, mutta tässä vaiheessa konsepti päätettiin jättää pois kokonaan, sillä kaarien 11-metrinen halkaisija osoittautui liian haasteelliseksi valmistettavuuden, kustannusten ja koottavuuden puolesta.



Kuva 2. Moottori konsepteihin.

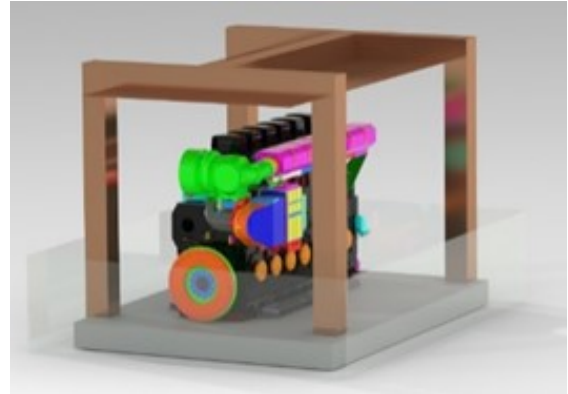
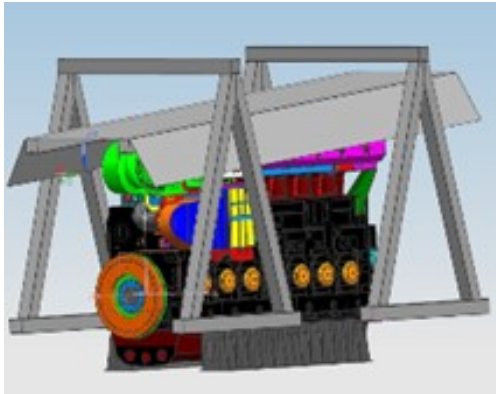
Taulukko 2. Konseptien koko (2).

Konsepti	Korkeus	Leveys	Pituus	Paino
Pukki	8 m (öljypohjasta)	6 m	12 m	-
Laatikko	7 m (öljypohjasta)	7 m	12 m	-
Spiraali	11 m	11 m	12 m	-

#### 4.2.3 Kolmas vaihe

Konseptien tarkkuuden hakemiseksi 3D-kokoonpanoihin lisättiin ääresimittamallaan sijaan moottorin oikea malli (Kuva 3), joka tuotiin kokoonpanoon STEP (eng. Standard for the Product Data Exchange) -tiedostona. Tässä vaiheessa konsepteihin kokeiltiin jo vähän uusia ratkaisuja.

Pukkiin kokeiltiin suoran katon sijasta kattoa, joka mahdollistaisi paremman sääsuojan kuin suora. Laatikkokonseptin ympärille kokeiltiin jo mahdollista ratkaisua ympäröiväksi aidaksi. Laatikkokonseptiin uutena tuli tässä vaiheessa mukaan myös palkkien verhoiluun liittyvä idea, jossa palkkien verhoilu toteutettaisiin levyn sijasta useammalla julkisivukasetilla. Molemmat konseptit alkoivat vielä öljypohjan kohdalta.



Kuva 3. Oikea moottorimalli konsepteihin.

Taulukko 3. Konseptien koko (3).

Konsepti	Korkeus	Leveys	Pituus	Paino
Pukki	8,3 m (öljypohjasta)	7 m	13 m	18705 kg
Laatikko	7,5 m (öljypohjasta)	8 m	13 m	-

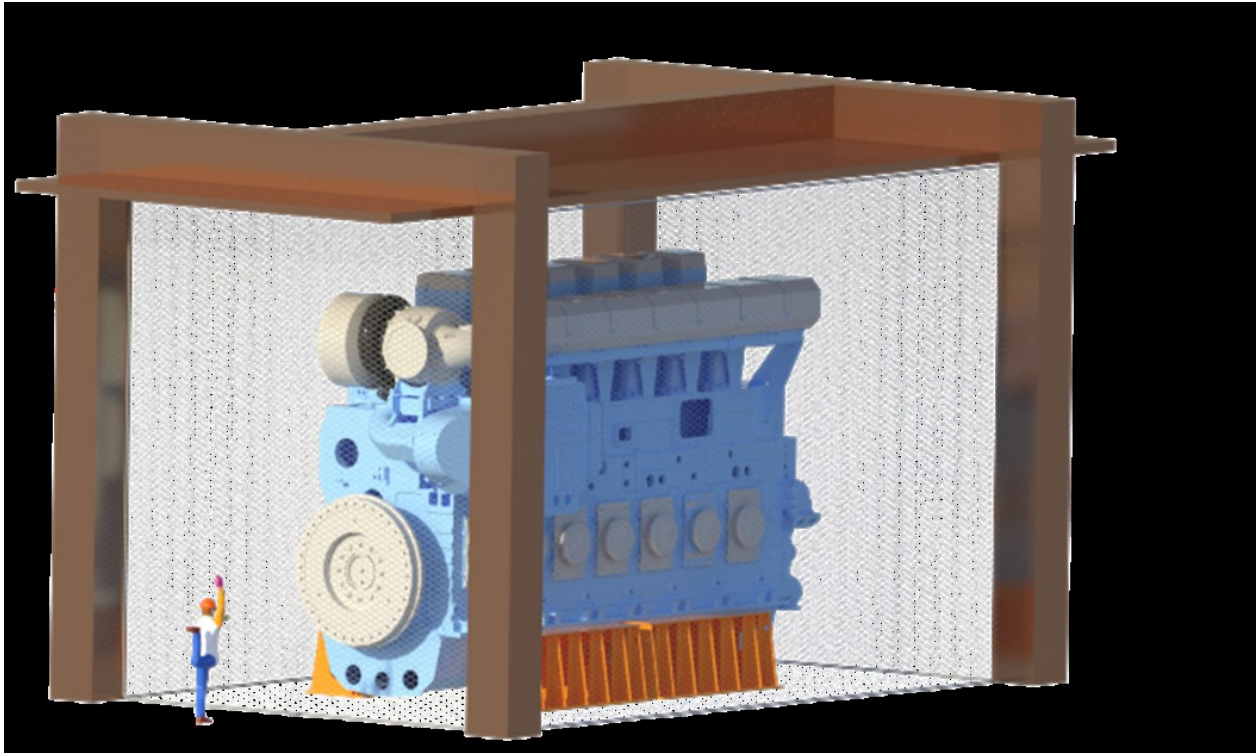
#### 4.2.4 Neljäs vaihe

Moottorikatoksen konseptit renderoitiin siten, että ne vastaisivat mahdollisimman paljon viimeisintä lopputulosta. Konsepteihin lisättiin ihmisen 3D-malli katoksen koon hahmottamiseksi. Niihin lisättiin myös erilaiset aitausvaihtoehdot. Pukkiin (Kuva 4) lisättiin kolmilanka-aita ja laatikkoon Forum Marimumin venekatoksen inspiroima punottu verkkoaita. Laatikkoon (Kuva 5)

tuotiin myös tarkkuutta miettimällä julkisivukasettiverhoilun (Kuva 6) sisällä olevaa sisärunkorakennetta, joka rakenteen keventämisen vuoksi tehtäisiin 400x400-palkeista eli puolet pienemmästä kuin 800x800 verhoilupalkit. Sisärunko kiinnitettäisiin I-palkin avulla pultein kiinni verhoiluun. Pukin rakenne olisi yksinkertaisempi ja malliin ei tarvinnut tässä vaiheessa lisätä muuta kuin laipat palkkien väliin.



Kuva 4. Pukin renderointi.



Kuva 5. Laatikon renderointi.

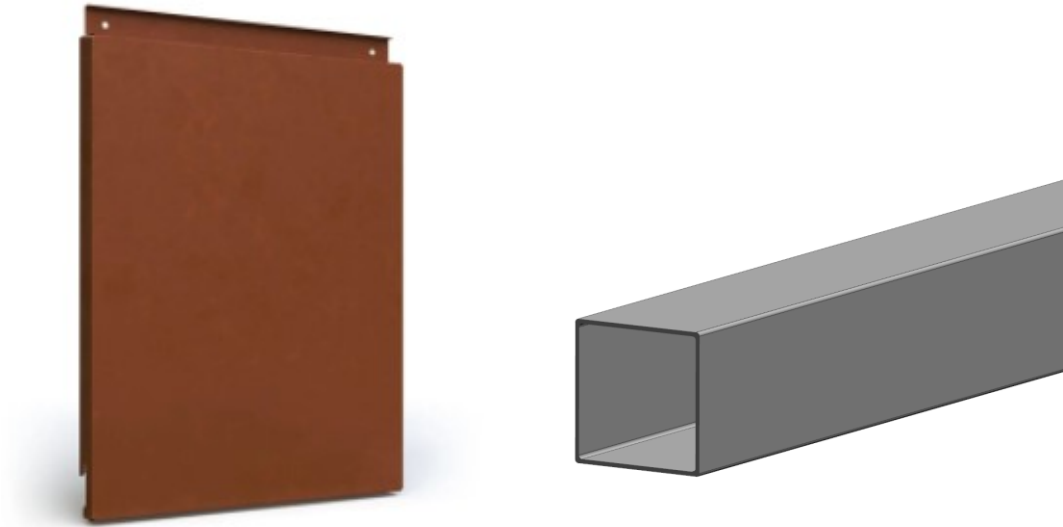
Taulukko 4. Konseptien koko (4).

Konsepti	Korkeus	Leveys	Pituus	Paino
Pukki	10 m	8,5 m	15,6 m	29 500 kg
Laatikko	8,8 m	8,8 m	13,5 m	17 000 kg

#### 4.3 Materiaalit

Jo alusta asti oli selvää, että konsepteihin tulisi jotenkin integroida Cor-Ten-materiaalia, sillä sitä käyttämällä moottorikatosis yhdistyisi ulkonäöllisesti paremmin Turun kaupungin muihin lähivuosina tehtyihin rakenteisiin. Cor-Ten on säänkestävä teräsmateriaali, joka ajan kuluessa patinoituu oranssiksi sidosaineiden, kupari, kromi, nikkeli ja fosfori, ansiosta. Se on hyvinkin puhdasta terästä, joka mahdollistaa materiaalin korkean suorituskyvyn rakentamisessa. Tämän projektin kannalta Cor-Tenin huonoin puoli oli sen

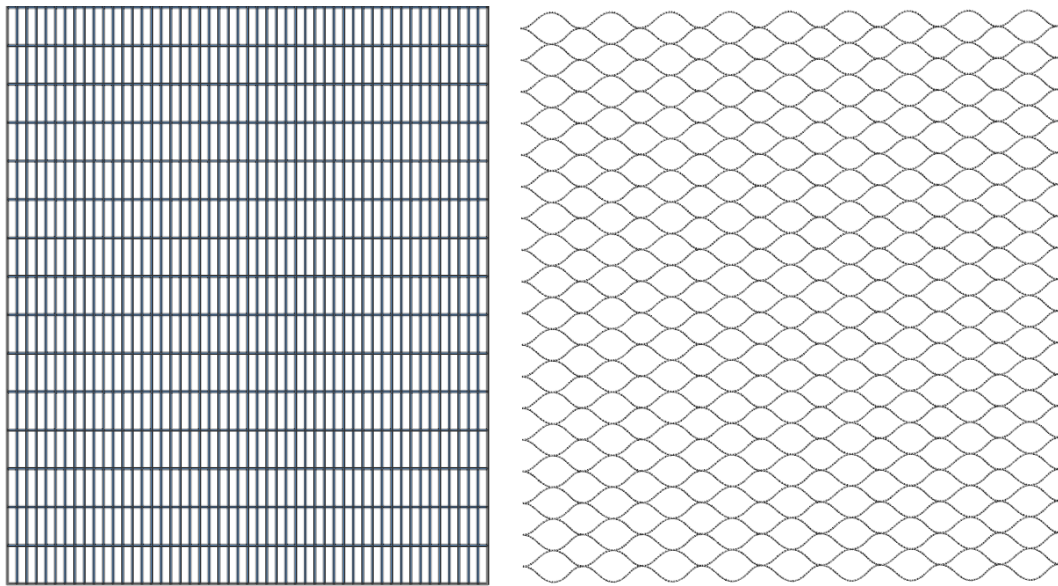
suhteellisen korkea hintaluokka. Cor-Tenia pyrittiinkin käyttämään vaan ohuella pinoissa.



Kuva 6. Julkisivukasetti (Rautaruukki Corporation 2022) ja mallinnettu putkipalkki.

Cor-Tenin lisäksi materiaalit pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisina kustannusten laskemiseksi. Suuriin rakenteisiin käytettiin suoraan rautakaupasta saatavia materiaaleja, kuten rakenneteräksestä valmistettua kylmämuovattua putkipalkkia S355J2H (Kuva 6). Kokonaiskustannukset pyrittiin pitämään alhaalla myös välttämällä lopputuotteessa kustannuksiltaan korkeita materiaaleja, kuten lasia.

Kun lasia ei siis ollut mahdollista käyttää katoksen seininä, seiniksi oli vaihtoehtoisesti valittava mahdollisimman läpinäkyvä verkkoaita, jossa kuitenkin silmukan koko on sen verran pieni, ettei siinä voi kiipeillä. Aitavaihtoehtoja valitessa kuultiin asiantuntijamielipiteitä Turun kaupungin puolelta ja tehtiin vierailu Forun Marinum -museoon, jonka venekatoksen ympärillä oli varteenotettavaa verkkovaihtoehtoa. Kahdeksi parhaaksi vaihtoehdoksi muodostuivat jo edellä mainitut kolmilanka-aita ja punottu verkkoaita (Kuva 7).

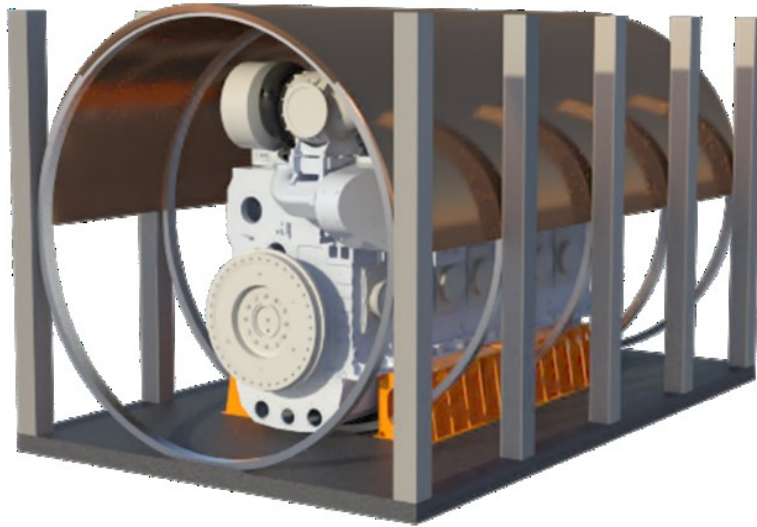


Kuva 7. Kolmilanka- ja verkkoaitojen 3D-mallinnukset.

#### 4.4 Esittely kaupungille

Konseptit esiteltiin kaupungin työntekijöistä muodostuvalle raadille. Kaikista alusta alkaen mukana olleista konsepteista tehtiin oma dia Powerpoint-esitykseen. Myös spiraalista tehtiin renderoitu versio, joka esitettiin kaupungille vertailun ja uusien ideoiden vuoksi, vaikka sitä ei oltu kehitetty eteenpäin niin paljon kuin pukkia ja laatikkoa. Esityksen jälkeen raadin jäsenet saivat vapaasti kertoa mielipiteensä, jotka otettiin ylös konseptivoittajan selvittämiseksi.





Kuva 8. Spiraalin renderointi.

#### 4.4.1 Pukin tiedot esittelyvaiheessa

Pukki koottaisiin 400x400-palkeista ja kasattaisiin pulttiliitoksin laippapaikoituksella. Se olisi 10 metriä korkea, 8,5 metriä leveä, pituutta sillä olisi 15,6 m ja painoa 29 500 kg. Näissä mitoissa ei ollut vielä huomioitu kattoa, mutta alustavasti sen pinta-ala olisi 97,2 m<sup>2</sup> ja rakenne muodostuisi kerroksista, joissa päällä ja alla olisi Cor-Ten-levyä. Katon rakenne roikkuisi neljän vaarnan varassa siten, että moottorin ajopään puolella katto olisi hieman korkeammalla kuin toisessa päässä. Pukkien rakenteissa olevat palkit voitaisiin jättää joko sellaisekseen tai maalata pinnoituksella, jos haluttaisiin tavoitella esimerkiksi täysvaltaista Cor-Ten-ilmettä. Pukin ympärillä tulisi olemaan aitaa tai verkkoa, kuten esimerkiksi aikaisemmin mainittu kolmilanka-aita, jota yleensä näkee urheilukenttien reunalla. Aidasta mainittiin, että sen korkeus voitaisiin mahdollisesti myös puolittaa.



#### 4.4.2 Raadin kommentit pukkiin

Pukin katon rakenteen lujuus mietitytti ja lumiasteet täytyisi lisätä reunoille. Verkko haluttiin kiinni ylös asti kattoon, jotta mahdollinen kiipeily aidan sisäpuolelle estettäisiin. Roikkuvat rakenteet herättivät epäluottamusta ja ehdotettiin, että kattoa voitaisiin laskea sen verran, että moottori voisi kannatella sitä keskisynteristä rakennettavalla tuennalla. Epäluottamusta herätti myös ulkonäkö, jota kuvailtiin levottomaksi. Levoton ulkonäkö jättäisi moottorin varjoonsa, joka kuitenkin haluttaisiin pitää pääosassa. Paino nostattaisi kokonaiskustannuksia, joka ei olisi suotavaa. Moottorin tarkasteltavuutta sanottiin kuitenkin hyväksi.

#### 4.4.3 Laatikon tiedot esittelyvaiheessa

Laatikko olisi konttimainen rakenne, jossa isot 800x800-putkipalkeilta näyttävät rakenteet olisi pintapuolisesti koottu Cor-Ten-julkisivukaseteista ja niiden sisällä olisi 400x400-putkipalkeista ja kiinnikkeistä muodostuva sisäluuranko. Se olisi 8,8 metriä korkea sekä leveä. Pituutta rakennelmalla olisi 13,5 metriä ja painoa noin 17 000 kg. Kattoa ei ollut laatikossakaan tässä vaiheessa vielä huomioitu, mutta se tulisi olemaan jotain hyvin samantyyppistä rakenteltaan kuin edellä mainitussa pukissa, erona kuitenkin katon pinta-ala, joka tulisi olemaan noin 126 neliometriä. Moottoria ympäröisi myös aita, mutta tässä esitetty verkko olisi vaihtoehtona pukissa esitetylle kolmilanka-aidalle. Verkko voisi olla esimerkiksi panssariverkkoa tai lankamaisempaa vaihtoehtona, kuten Forun Marinumin venekatoksen ympärillä. Laatikossa voisi olla mahdollista saada lisää näyttävyyttä paneelien perforoinnilla.

#### 4.4.4 Raadin kommentit laatikkoon

Laatikon ympärillä esitettyä verkkovaihtoehtoa pidettiin turvattomana vaihtoehtona niin kestäväydensä kuin myös kiipeilyn ja muun vandaloimisen puolesta. Laatikko nähtiin ulkonäöllisesti yksinkertaisempaan kuin pukki ja

moottori olisi pääosassa. Rakenne mahdollistaisi valaistuksen upottamisen rakenteisiin ja vedenjohtamisen alas pylväiden sisäpuolelta. Katon korkeutta myös kyseenalaistettiin ja mietittiin olisiko sitä mahdollista laskea hieman. Julkisivukasettien perforointia ei nähty tarpeellisena budjetin kannalta.

#### 4.4.5 Spiraali

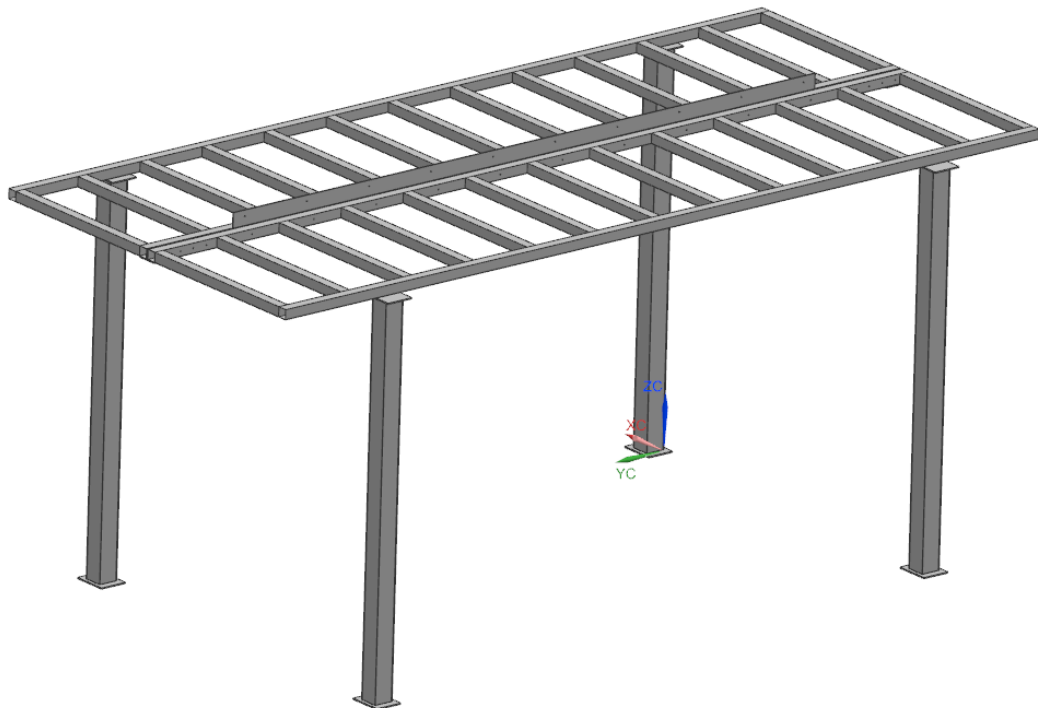
Spiraalin (Kuva 8) ulkonäöstä pidettiin ja se nähtiin Telakkarannan ympäristöön sopivana, sillä se muistuttaisi ympärillä olevia rakennuksia. Rakennetta pidettiin keksiliäänä. Rakenteen varjopuoli olisi kuitenkin se, että moottori jäisi liian paljon piiloon.

#### 4.4.6 Voittajakonseptin valinta

Kommentoinnin jälkeen kaikki raadin jäsenet äänestivät voittajasuosikkia lähinnä pukin ja laatikon välillä. Voittajaksi selviytyi laatikko sen yksinkertaisen ulkonäön ja kevyemmän painon vuoksi. Laatikon ympärillä ollut aitavaihtoehto vaihdettaisiin voittajakonseptiin pukissa olleeseen kolmilanka-aitaan, sillä se sai enemmän kannatusta. Seuraavaksi laatikkoa kehitettäisiin eteenpäin.

## 5 Voittajakonseptin tarkennettu rakenne

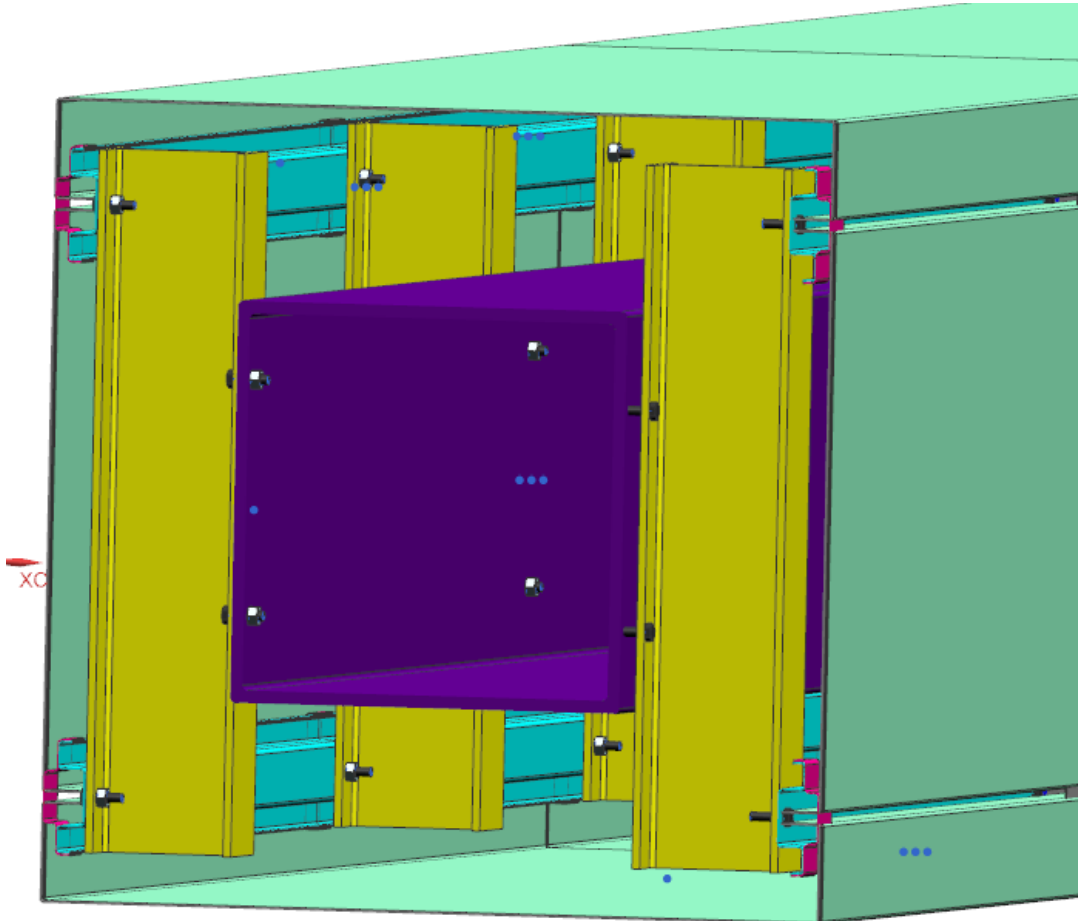
Koska laatikko vaati tukirakenteita, joiden suunnitteluun ei ollut järkevää käyttää aikaa ennen tietoa voittajasta, suunniteltiin ne tarkemmiksi vasta kaupungille pidetyn esittelyn jälkeen. Tarkennettuun rakenteeseen sisältyi niin sanottu sisäluuranko julkisivukasettien tukemiseksi, julkisivukasettien mukana tulleet rangat ja kiinnikkeet ja kattorakenteen suunnittelu. Kantava rakenne pyrittiin suunnittelemaan siten, että sisäluurangon ja katon rakenne yhdistyisivät toisiinsa niin, että luuranko tukisi kattoa alhaalta päin, vaikka ulkoisesti katto näyttäisi roikkuvan yläpuolisista palkeista (Kuva 9).



Kuva 9. Laatikon tukirakenne.

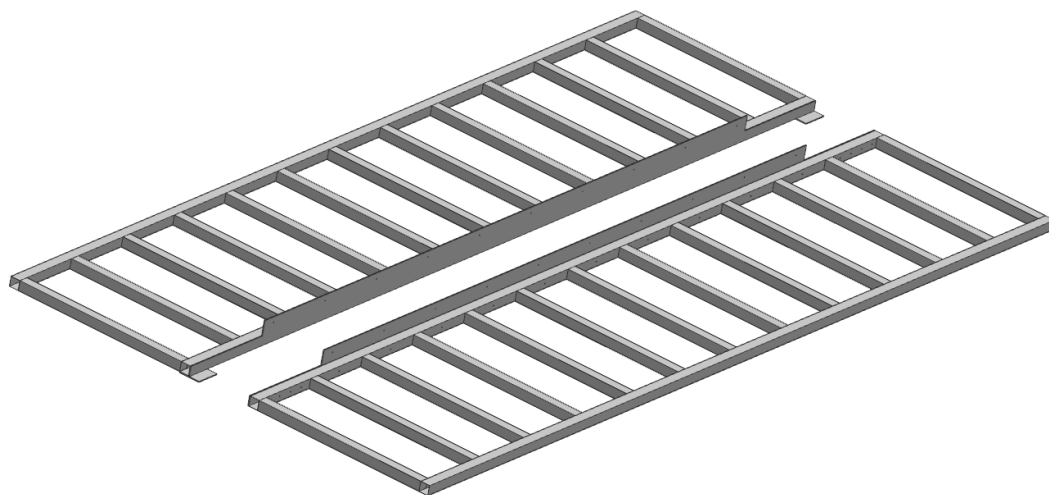
Jalkapalkin sisäluuranko (Kuva 10) koostuu 400x400-palkeista, jotka liitetään kattorakenteeseen laippa-pultti-liitoksien. Palkin ja julkisivukasettipaketin eli julkisivukasettin, kiinnikkeen ja koolausrungon (mintunvihreä, pinkki ja turkoosi kuvassa) väliin tulee tasaisilla kolmen metrin välimatkoilla I-palkin pätkiä

(keltainen kuvassa), jotka kiinnitetään pulttiliitoksiin molemmilta puolilta. Yksinkertaistettuna rakenne muodostuu seuraavanlaisesti: julkisivukasetti → erotusnauha → kiinnike → koolausranka → erotusnauha → I-palkki → putkipalkki.



Kuva 10. Laatikon jalkapalkin sisäluuranko.

Katon rakenne muodostettiin kahdesta tikapuita muistuttavasta kokoonpanosta, jotka yhdistettiin toisiinsa täysmittaisella laipalla (Kuva 11). Katon rakennetta mietittiin erityisesti paikanpäällä kokoamisen kannalta. Kaksi identtistä kuljetukseen mahtuvaa osaa voitaisiin valmistaa sisätiloissa valmiiksi ja ne voitaisiin paikan päällä liittää yhteen pulttiliitoksin.



Kuva 11. Katon sisärakenne.

## 6 Testaus

Laatikon rakennetta testattiin Siemens NX -ohjelman FEM (Finite Element Method) -simulaatiolla. Simulaation tarkoituksena oli selvittää erityisesti kattorakenteen kantavuus siihen kohdistuvien voimien mukaan.

### 6.1 Simulointiin tarvittavat voimat

Ennen simulaation aloittamista oli selvitettävä rakenteeseen kohdistuvat voimat. Kohdistuvina voimina huomioitiin lumikuorma, tuulikuorma ja rakenteen omasta painosta muodostuvat kuormat.

#### 6.1.1 Lumikuorma

Lumikuorman mitoituksessa tulee ottaa huomioon, että lumi voi kinostua katolla moniin erilaisiin muotoihin. Katon ominaisuuksia tai muita tekijöitä, jotka aiheuttavat erilaista kinostumista voivat olla:

- 1) Katon muoto
- 2) Sen lämpöominaisuudet
- 3) Pinnan karheus
- 4) Katon alla syntyvä lämpö määrä
- 5) Viereisten rakennusten läheisyys
- 6) Ympäröivä maasto
- 7) Paikallinen ilmasto, erityisesti sen tuulisuus, lämpötilan vaihtelu ja sateiden todennäköisyys (joko vetenä tai lumena)

Katolle muodostuva lumikuorma voidaan määrittellä seuraavalla kaavalla:

$$s = \mu_i C_e C_t S_k$$

Kaava 1. Lumikuorman määrittäminen.

$\mu_i$  = lumikuorman muotokerroin

$s_k$  = maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

$C_e$  = tuulensuojauskerroin

$C_t$  = lämpökerroin

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  täytyi vielä laskea kaavalla:

$$s_k = (0,790Z + 0,375) + \frac{A}{336}$$

Kaava 2. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvon määrittäminen.

$A$  = kohteen sijaintikorkeus merenpinnasta m

$Z$  = kartassa esitetty vyöhykenumero

Tarvittavat arvot lumikuorman kaavaan ovat tässä tapauksessa:

$\mu_i = 0,8$  ( $\mu_1$ )

$C_e = 1$

$C_t = 1$

$A = 10$  m

$Z = 3$

Arvojen sijoittamisen jälkeen lumikuormaksi  $s = 2,3$  kN/m<sup>2</sup>.

(SFS-standardi SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1: 2016, 28–40, 62–74 )

### 6.1.2 Tuulikuorma

Koska simuloinnissa oli tarkoitus testata rakenteen kestävyyttä sen ollessa maksimikuormitettuna, käytettiin tuulikuormituksen laskemiseen Ilmatieteen laitoksen (2022) määrittelemää kovan tuulen nopeutta 20 m/s, vaikka keskimääräinen tuulennopeus on Ilmatieteen laitoksen (2009) mukaan Turun alueella 8 m/s. Tuulikuorman laskemiseen käytettiin kaavaa:

$$F_w = \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

Kaava 3. Tuulikuorman määrittäminen.

$\rho$  = ilman tiheys (tässä käytetty 1,25 kg/m<sup>3</sup> SFS-EN 1991-1-4 (2011) - standardin suosituksen mukaan)

$v$  = 20 m/s

$A$  = 64 m<sup>2</sup> (tuulelle eniten altistuva katoksen katon sisärakenteen pinta-ala)

Näin ollen tuulikuormalle saatiin arvo 2560 N.

(Engineerin Toolbox 2011)

Tuulikuorman laskemiseksi ei käytetty standardin mukaista ohjetta, sillä suurpiirteisempi tuulikuorman arvo oli riittävä tässä opinnäytetyössä. Tämä johtui siitä, että tuulen vaikutus tulisi olemaan vähäinen testattavan rakenteen kestävyYTEEN.

### 6.1.3 Rakenteen omat kuormat

Rakenteeseen kohdistuvat omat kuormat eriteltiin jalkoihin kohdistuvaan kuormaan, katon pinta-alaan kohdistuvaan kuormaan ja kattorakenteen kokopitkään laippaan kohdistuvaan kuormaan. Jalkoihin kohdistuva kuorma muodostui sisäluurankorakenteesta ja julkisivukasettien painosta. Katon pinta-alaan kuormaksi asetettiin edellä laskettu lumikuorma ja poikkileikkauksen pinta-alaan myös edellä laskettu tuulikuorma. Kokopitkään laippaan kohdistuva kuorma puolestaan koostui koko kattorakenteen painosta. Tämä kuorma oli eri ensimmäisellä kierroksella verrattuna toiseen kierrokseen, sillä niiden välissä kattorakenteeseen tehtiin tarvittavia parannuksia.

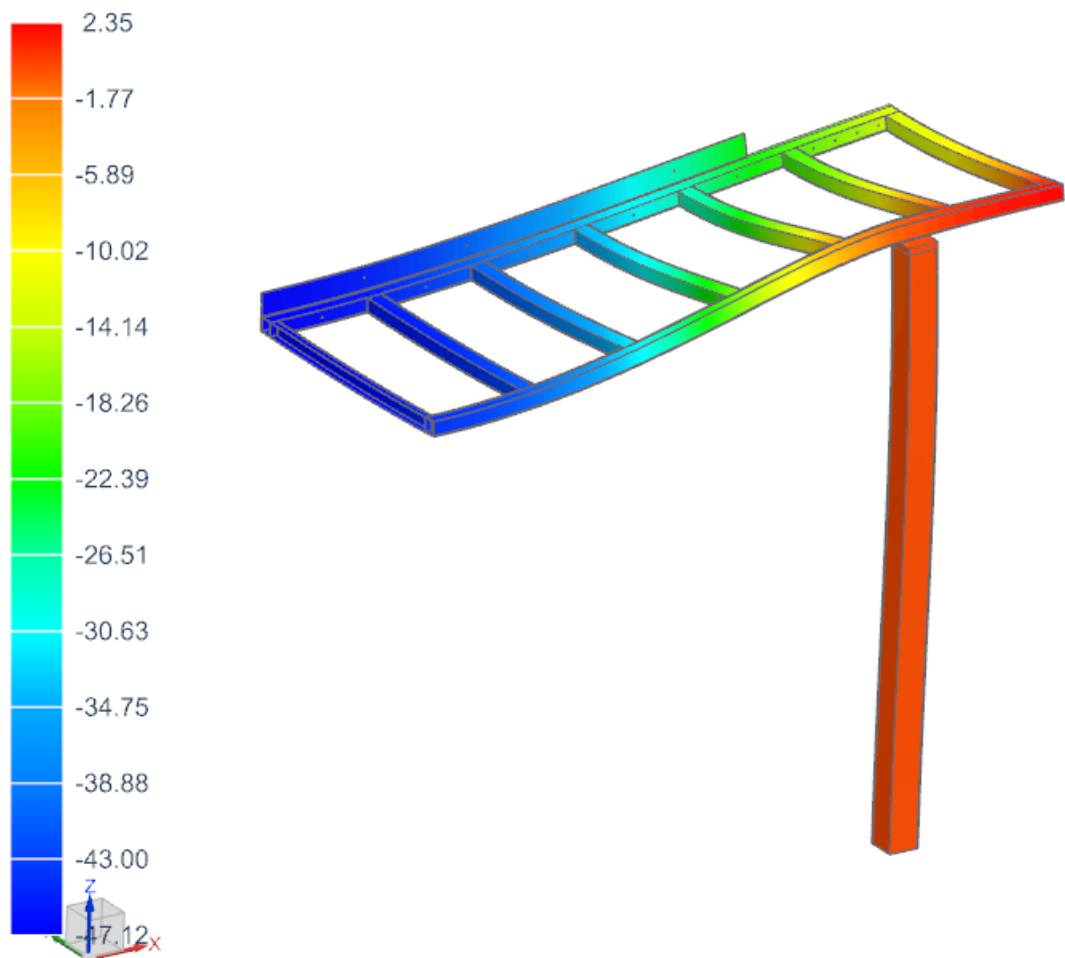


## 6.2 FEM-simulaatio

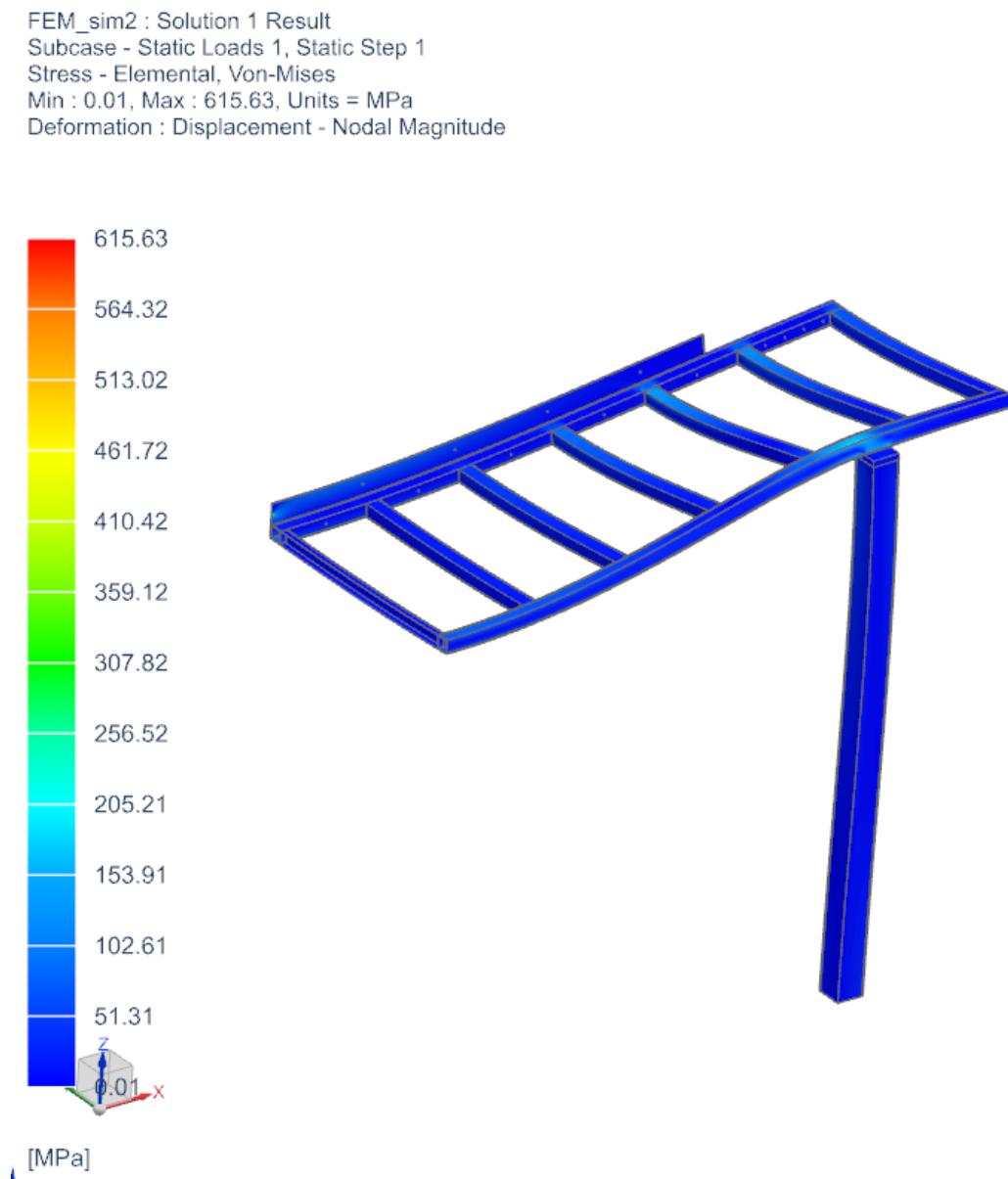
### 6.2.1 Ensimmäinen kierros

Ensimmäisellä FEM-simulaatiokierroksella kattorakenne jaettiin neljään osaan simuloinnin nopeuttamiseksi. Loput katon rakenteesta huomioitiin symmetria-asetuksilla. Simulaatiosta huomattiin, että rakenne pyrkii niijamaan keskeltä. Ensimmäisen kierroksen siirtymät olivat hallittavissa olevia (Kuva 12), mutta jännitykset olivat turhan isoja suurilla alueilla (Kuva 13). Katon rakennetta täytyi täten parannella.

FEM\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Z  
Min : -47.12, Max : 2.35, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Kuva 12. Ensimmäisen simulaatiokierroksen siirtymät.



Kuva 13. Ensimmäisen simulaatiokierroksen jännitykset.

### 6.2.2 Parannukset

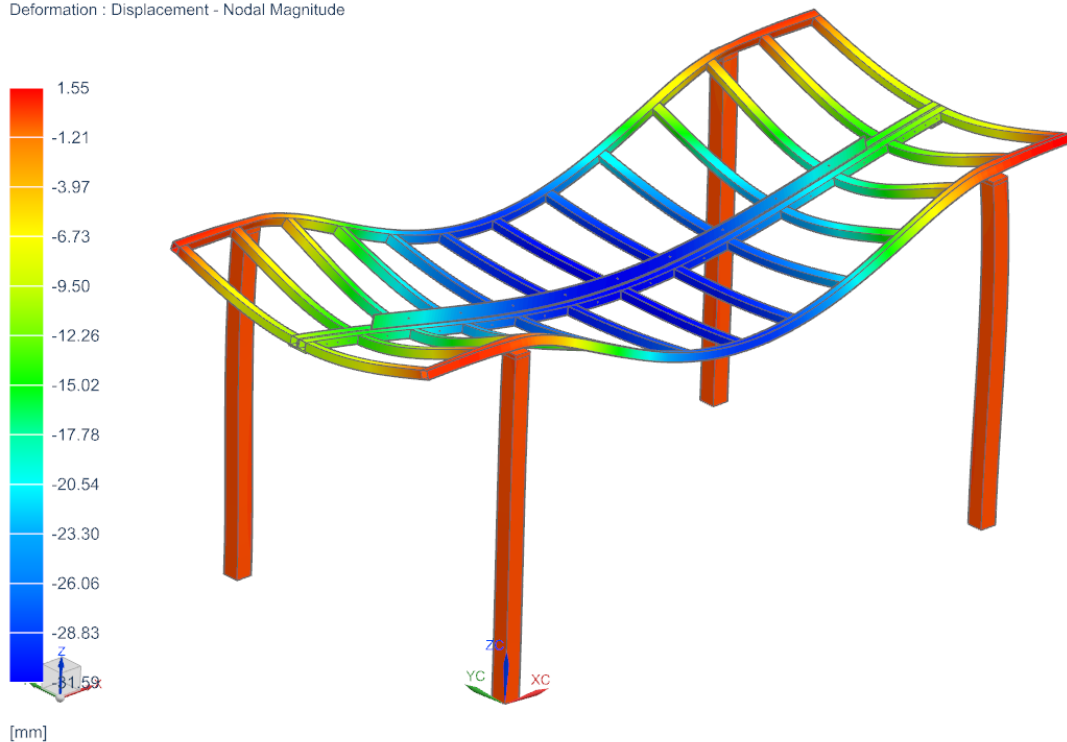
Ensimmäisestä simulaatiokierroksen aikana huomattavat suuret jännitysalueet johtuivat siitä, että katon putkiprofiilin vahvuus ei ollut riittävä. Tikapuurakenteen pitkät putkipalkit vaihdettiin vahvuuteen 12 mm ja lyhyemmät vahvuuteen 8 mm.

Rakenne myös päätettiin simuloida kokonaan, jotta pystyttiin varmistumaan simuloinnin toimivuudesta.

### 6.2.3 Toinen kierros

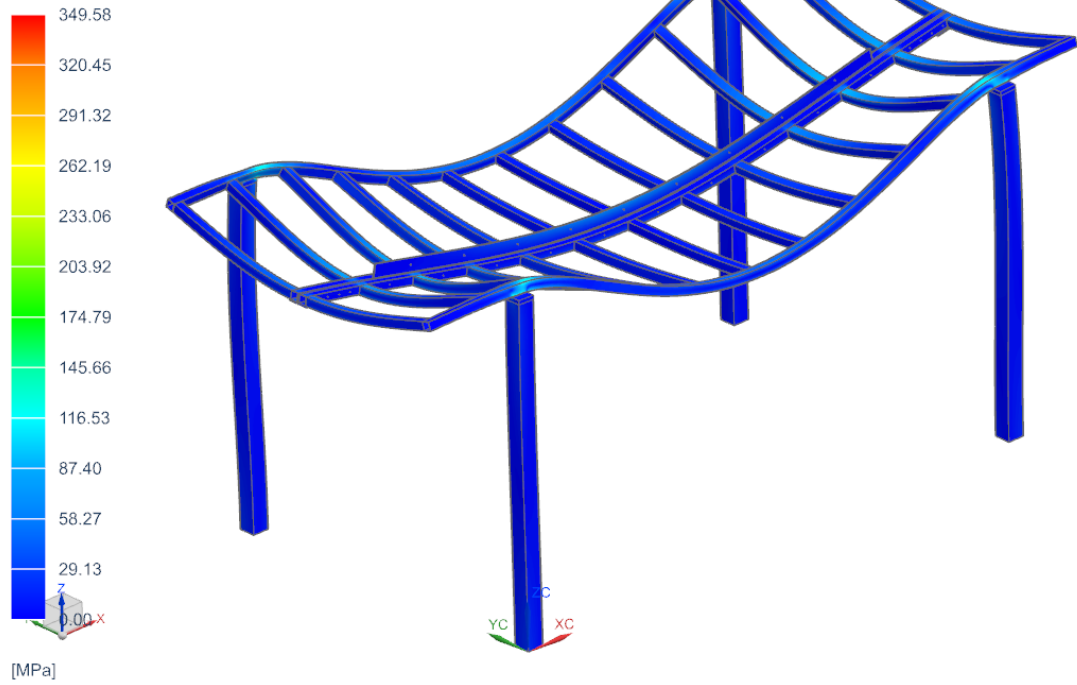
Toisella kierrokselle tuloksista oli huomattavissa, että siirtymät pysyivät jälleen maltillisina (Kuva 14), mutta jännitykset olivat jo selkeästi materiaalin S355JH2 (myötöraja 355 Mpa) myötörajojen paremmalla puolella (Kuva 15). Suurimmat jännityspiikit kohdistuivat alapalkin ja katon liitännäkohtaan (Kuva 16). Alueet olivat kuitenkin niin pieniä, etteivät ne vaikuta koko rakenteen kestävyysmerkkittävästi.

FEM 2\_sim5 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Z  
Min : -31.59, Max : 1.55, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

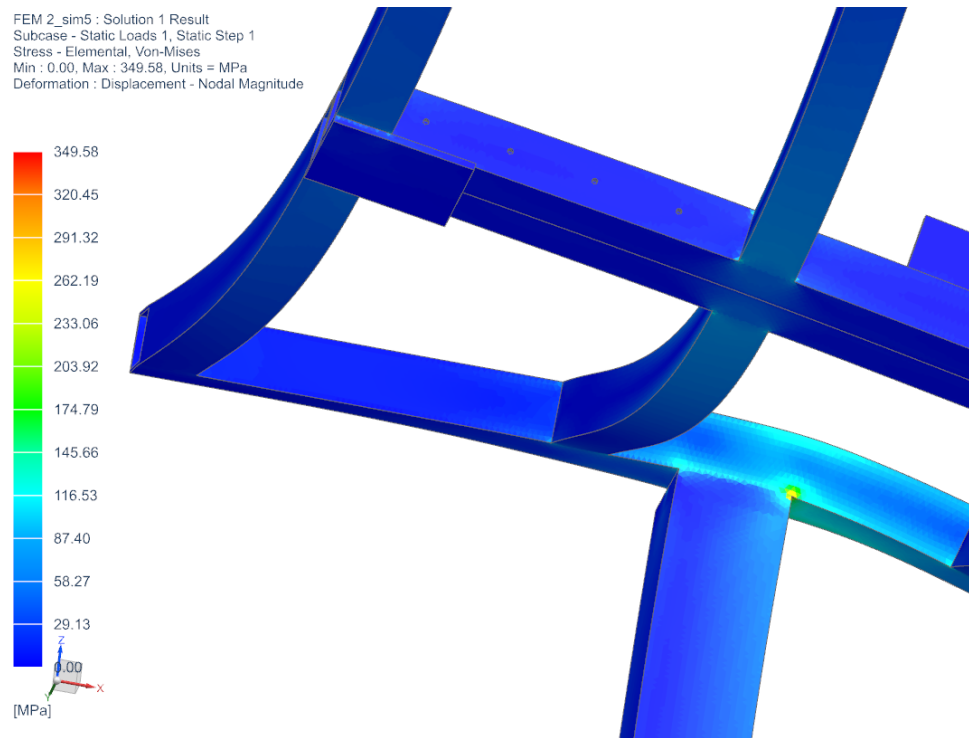


Kuva 14. Toisen simulaatiokierroksen siirtymät.

FEM 2\_sim5 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Elemental, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 349.58, Units = MPa  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Kuva 15. Toisen simulaatiokierroksen jännitykset.



Kuva 16. Toisen simulaatiokierroksen jännityspiikit.

## 7 Lopputulos

Rakenteen tarkentamisen ja sen testaamisen jälkeen katoksen prototyyppi viimeisteltiin lisäämällä siihen julkisivukasettiverhoilun- ja kolmilanka-aitamallinnukset. Lopputulokseksi saatiin renderoitu 3D-mallinnus materiaalilistauksineen ja hintoineen.

### 7.1 Renderointi

Kun tarkempi rakenne laatikkoon oli selvillä, tehtiin laatikosta vielä uusi renderointi. Tällä kertaa renderointiin lisättiin myös havainnollistamiseksi Telakkarannasta otettu kuva taustalle ja julkisivukasettien mallinnukset (Kuva 17, Kuva 18). Renderoinnista näkee, miten julkisivukasetit asettuvat sisärakenteen ympärille ja, miltä raadin puoltama kolmilanka-aita näyttää sen ympärillä. Varsinkin viimeisestä kuvasta on huomattavissa, että massiivisen tuntuinen katos ei näytä nosturin vierellä yhtään niin suurelta kuin yksinään. Myös katokseen myöhemmin suunniteltavaa valaistuksen vaikutusta ulkonäköön on testattu.



Kuva 17. Lopullinen renderointi edestä Telakkarannan maisemissa.



Kuva 18. Lopullinen renderointi sivusta Telakkarannan maisemissa.

## 7.2 Materiaalilista ja hintatarjoukset

Katosta varten tarvittavat materiaalit listattiin taulukkoon painoineen ja hintoineen. Hintatarjouksia kysyttiin BE Groupilta, Ruukilta ja SSAB:lta. Hintatarjoukset kysyttiin sitä varten, että suuntaa-antava hinta olisi nähtävillä. Myös materiaalilistaus on suuntaa-antava, sillä siitä puuttuu melkein kaikkien



materiaalien työstöhinnat, poikkeuksena julkisivukasetit ja niiden mukana tulevat kiinnitystarvikkeet.

Taulukko 5. Materiaalilistaus ja hinnat.

MATERIAALI	MÄÄRÄ	HINTA (ALV 0 %)	PAINO	KUSTAN NUS	MIHIN
<b>IPE 140</b> (S355J2)	50 m	24 € / m	12,9 kg/m	1 200 €	Sisäluuranko
<b>Putkipalkki 400x400x12 mm</b> (S355J2H)	31,2 m	314,20 € / m	151 kg/m	9 804 €	Sisäluuranko
<b>Putkipalkki 200x200x8m m</b> (S355J2H/42 OMH)	94 m	95 € / m	46,50 kg/m	8 930 €	Kattorakenne
<b>Putkipalkki 200x200x12 mm</b> (S355J2H/42 OMH)	70 m	142,07 € / m	68,3 kg/m	10 086 €	Kattorakenne
<b>Laipat 20mm</b> (S355J2+N+UST)	5,5 m <sup>2</sup> ; 2350mm x 2350mm 15,2 m <sup>2</sup> ; 1200x13520m m yleensä myydään varastolevyinä, eli pitäisi saada mukaan toiseen tilaukseen	2,47 €/kg	3250 kg	8 125 €	Rakenteiden kiinnityksiin

<b>Julkisivu- kasetit Liberta 800 (Cor-Ten)</b>	6 x (Tavallista paneelia 8 mitoissa A=580, B=1980 ja U-paneelia 8 mitoissa A1=100, A2=800, A3=100, B=1980) Kiinnikkeitä (CA1SB02) noin 288 kappaletta ja koolausrankaa + erotusnauhaa (CA1SS3+CA3S E420) noin 192 m	16800 € TYÖSTÖ HUOMIOITU	n. 2489 kg	16 800 €	Verhoilu 800x800 palkkirakenne lmiin
<b>Kuumavals- sattu nauhalevy 3mm (COR- TEN® A)</b>	280,4 m <sup>2</sup> ; (36 x 1464 mm leveä 6431 mm levyä) yleensä minimimäärä 26 tn tilauksissa eli pitäisi saada mukaan toiseen tilaukseen	1647 € / tn	n. 8 tn	13 200 €	Kattolevyihin ja viimeistelyyn
			Yht. n. 28,5 tn	<b>Yht. 68 145 €</b>	

Taulukon mukaan laskettavaksi loppukustannukseksi saatiin 68 145 euroa (alv 0%). Loppusumma kasvaa vielä erityisesti rakenteen jatkokehityksen, materiaalien työstöjen ja koottavuuden huomioimisen myötä. Pystytystä varten tarvittaviin kustannuksiin on myös huomioitava kolmilanka-aita, jonka tarkempaan hintaan ei tässä otettu kantaa, mutta arviolta sen hinta voi nousta 10 000 euroon.

## 8 Lopuksi

Opinnäytetyön lopputuotteena tavoiteltiin toteutettavissa olevaa moottorikatoksen prototyyppiä. Tavoite saavutettiin siltä osin, että toteuttamista varten tarvittavien raakamateriaalien kustannukset laskettiin ja rakenne suunniteltiin valmistuksen ja kokoamisen suhteen järkeväksi.

Projektin aikana huomasin, miten kaikki suunnitteluprosessin vaiheet limittyivät keskenään ja että hetkittäin montaa eri suunnitteluprosessin vaihetta täytyy työstää samanaikaisesti. Mielenkiintoista oli huomata, miten katoksen mitat ja siihen tarvittavien materiaalien määrät pysyvät pitkään hyvin suurpiirteisenä ja että ne tarkentuivat vasta loppua kohden. Tärkeäksi huomioksi muodostui myös se, että aina rakenteen tarkentuessa oli huomattavissa, että myös kustannukset nousivat. Suunnittelun aikana oppi sietämään epävarmuutta lopputuloksesta ja kokeilemaan asioita, jotka eivät välttämättä johtaneet mihinkään konkreettiseen. Myöskään liiallinen perustelujen etsintä konsepteille alussa voi olla aikaa vievää, ja parasta on vaan aloittaa, jolloin on jotain mitä kehittää ja projekti etenee sujuvammin seuraavaan vaiheeseen.

Kehitetty prototyyppi tarvitsee ennen valmistusta vielä tarkennusta työvoimasta, materiaalien työstöstä, kuljetuksesta ja kokoamisesta. Lisää tietoa tarvittaisiin myös pystytykseen vaadittavista rakenteista, huolto-ohjeista ja senhetkisistä materiaalien hintatiedoista, sillä ne eivät pysy stabiilina ja kysytyt hintatarjoukset ovat voimassa vain opinnäytetyön tekohetkellä. Moottorikatoksen rakennetta täytyisi myös käydä tarkemmin läpi, että se on varmasti standardien mukainen, turvallinen ja kestävä. Myös valaistus ja vedenpoistojärjestelmä katolta tullaan suunnittelemaan jälkikäteen.

## Lähteet

- Begroup 2020. Kylmämuovatut putkipalkit, neliöt. Viitattu 20.5.2022.  
<https://www.begroup.fi/tuotteet/putket-ja-putkipalkit/kylmamuoivatut-putkipalkit-neliot>
- Engineering ToolBox 2011. Wind Load vs. Wind Speed. Viitattu 12.5.2022.  
[https://www.engineeringtoolbox.com/wind-load-d\\_1775.html](https://www.engineeringtoolbox.com/wind-load-d_1775.html)
- Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. 3. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.
- Ilmatieteen laitos 2009. Suomen tuuliatlas. Viitattu 13.5.2022.  
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliatlas>
- Ilmatieteen laitos 2022. Tuulet ja myrskyt. Viitattu 13.5.2022.  
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>
- Jaakkola, J. & Tunkelo, E. 1987. Tuotekehitys. Ideoista markkinoille. Espoo: Weiling + Göös.
- Jokinen, T. 1987. Tuotekehitys. 6., korjattu painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Rautaruukki Corporation 2022. Seinä- ja kattorakenteet. Tuotteet. Julkisivuverhoukset. Ruukki Liberta julkisivukasetit. Liberta Cor-Ten 800. Viitattu 30.5.2022. <https://www.ruukki.com/fin/building-envelopes/products/facade-claddings/liberta-rainscreen-panels/facade-cladding-detail---rainscreen-panel-cor-ten/liberta-cor-ten-800>
- SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- Ssab 2022. Brändit ja tuotteet. Cor-Ten. Kuumavalssattu. Cor-Ten A kuumavalssattu. Viitattu 1.6.2022. <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/cor-ten/product-offer/cor-ten-a-kuumavalssattu>
- Ulrich, K. & Eppinger, S. 2012. Product design and development. 5. painos. New York: McGraw-Hill Education.

Wärtsilä 2004. A 12,900 kW - Wärtsilä 64 engine ordered for new containership. Viitattu 12.4.2022. <https://www.wartsila.com/media/news/28-12-2004-a-12-900-kw-wartsila-64-engine-ordered-for-new-containership>

Wärtsilän intranet 2020. Marine Power Catalogue. Viitattu 20.4.2022.

Wärtsilän intranet 2022. Historia. Viitattu 30.4.

Wärtsilä 2022. About. This is Wärtsilä. Viitattu 12.4.2022. <https://www.wartsila.com/about>