

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Niko Hasunen
Henri Navarrete

VENEENHUOLTOTELINEEN TUOTEKEHITYS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät
Niko Hasunen ja Henri Navarrete

Nimeke
Veneenhuoltotelineen tuotekehitys

Toimeksiantaja
Metallista Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin ja kehitettiin yrityksen prototyyppiasteella olevan veneenhuoltotelineen rakenteen modulaarisuutta sekä suoritettiin tuotekehitystä yleisellä tasolla. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tuotteen kestävyyttä ja kehittää sen pohjalta mahdollisia parannusvaihtoehtoja tuotteen rakenteeseen. Lisäksi tuotteesta oli tarkoituksena saada suuremmalle venekoolle soveltuva versio sekä tehdä tuotteesta valmistuspiirustukset.

Opinnäytetyön teoriaosiossa perehdyttiin tuotekehitykseen ja siinä käytettäviin prosessimalleihin ja suunnitteluperiaatteisiin. Lisäksi käsiteltiin yleisellä tasolla modulaarisuutta ja tuotesarjoja sekä työn toteutuksessa käytettyjä mallinnusmenetelmiä. Käytännön toteutuksessa prototyyppin mukaiselle rakenteelle tehtiin FEM-analyysit ja näiden analyysien pohjalta mietittiin mahdollisia parannusvaihtoehtoja tuotteen rakenteeseen.

Lopputuloksena opinnäytetyöstä saatiin tuotteesta tuotantoon otettavaksi useampia erilaisia variaatioita, joissa oli otettu erilaiset käyttötarpeet ja vastaavat muuttujat huomioon. Näistä versioista laadittiin tulevaa tuotantoon ottoa varten valmistus- ja kokoonpanopiirustukset.

Kieli
suomi

Sivuja 72
Liitteet 5
Liitesivumäärä 6

Asiasanat

tuotekehitys, FEM-analyysi, lujuuslaskenta, modulaarisuus



THESIS
May 2020
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors
Niko Hasunen and Henri Navarrete

Title
Product Development of Boat Maintenance Rack

Commissioned by
Metallista Oy

Abstract

The modularity of client company's prototype stage boat maintenance rack was examined and developed in this thesis. Product development on a general level was also performed. The aim of this thesis was to find out the durability of this product and to innovate possible improvement options on the product's structure. In addition, the purpose was to obtain a version suitable for a larger boat size and to make manufacturing drawings of the product.

In the theoretical part of this thesis, product development and the process models used in the project are introduced. Also design principals that were used in this development project are introduced. Modularity, product lines and modeling methods are also briefly discussed. In the practical part of this thesis FEM-analysis to the structure based on the prototype was performed. Based on the results of these analyses improvement options for structure were considered.

As a result of this thesis, several different variations of the product were developed. Different usage needs and corresponding variables of these variations were taken into account. Manufacturing and assembly drawings of these product versions were made for possible future production.

Language

Finnish

Pages 72

Appendices 5

Pages of Appendices 6

Keywords

product development, FEM-analysis, structural strength calculations, modularity

Sisältö

Lyhenne- ja käsiteluettelo	
1 Johdanto	7
1.1 Metallista Oy	7
1.2 Toimeksianto	7
2 Tuotekehitys	9
2.1 Tuotekehitys yleisellä tasolla	9
2.2 VDI 2221	11
2.2.1 Tehtävänasettelun selvitys	12
2.2.2 Luonnostelu	13
2.2.3 Kehittely	14
2.2.4 Viimeistely	15
3 Suunnitteluperiaatteet ja toteutus	17
3.1 DFX-menetelmä	17
3.1.1 DFM-menetelmä	17
3.1.2 DFA-menetelmä	18
3.1.3 DFMA-menetelmä	18
3.2 Tuotesarjat	19
3.3 Modulaarisuus	19
3.4 Käytetyt menetelmät	20
3.4.1 CAD	20
3.4.2 FEM-analyysi	20
3.4.3 Tekninen dokumentointi	23
4 Tuotekehitysprosessin käynnistys	24
4.1 Lähtötilanne	24
4.2 Työssä sovelletut tuotekehitysprosessit	24
4.3 Tehtävänasettelun selvitys	25
4.4 Luonnostelu	26
5 Rakenteen lujuusopillinen tarkastelu	27
5.1 Rungon jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys	29
5.2 Kehdon jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys	34
5.3 Vinssitolppien jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys	38
5.4 Liu'un jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys	43
6 Rakenteen kehittäminen	47
6.1 Modulaarisuus ja kokoonpantavuus	48
6.1.1 Rungon rakenteen modulointi	48
6.1.2 Kehdon rakenteen modulointi	54
6.1.3 Keinun rakenteen modulaarisuus	60
6.2 Suuremman kokoluokan versio ja muut kehitysvaihtoehdot	63
7 Rakennusratkaisujen viimeistely	68
7.1 Materiaalien määritys	68
7.2 Mitoitus ja toleranssit	69
7.3 Piirustukset	69
8 Pohdinta ja jatkokehitys	69
Lähteet	72

Liitteet

- Liite 1 Tuotteessa käytettyjen materiaalien tiedot
- Liite 2 ISO 2768 -standardin mukaiset valmistustoleranssit
- Liite 3 Prototyypin mukaisen telineen kokoonpanopiirustus
- Liite 4 Kokoonpantavan version kokoonpanopiirustus
- Liite 5 Suuremmalle venekoolle soveltuvan version kokoonpanopiirustus

Lyhenne- ja käsiteluettelo

CAD	Computer Aided Drafting tai Computer Aided Design
Creo Parametric	Projektin toteutuksessa käytetty 3D-mallinnusohjelma
DFA	Design for Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DFX	Design for X tai Design for Excellence
FEM	Finite Element Method
ISO	International Organization for Standardization
MPA	Multi Pass Adaptive
MPa	Megapascal
Prototyyppi	Koekappale, tuotteen alkuperäinen versio
SFS	Suomen Standardoimisliitto SFS ry
VDI	Verein Deutscher Ingenieure, saksalainen insinööriliitto

1 Johdanto

1.1 Metallista Oy

Toimeksiantajana työssä toimii Metallista Oy, Liperin Ylämyllyllä sijaitseva metallialan yritys. Yrityksen asiakaskuntaan kuuluvat sekä yksityishenkilöt että yritykset. Yrittäjänä toimii Eero Piitulainen.

Yritys tarjoaa asiakkailleen mittatilaustyönä metallituotteita yleisimmistä materiaaleista, kuten teräksestä, alumiinista ja ruostumattomasta teräksestä (Metallista Oy 2020a). Lisäksi yritys tarjoaa kunnossapitopalveluita yrityksille (Metallista Oy 2020b). Palveluihin kuuluu myös sopimusvalmistus sekä alihankintana valmistaminen (Metallista Oy 2020c). Yrityksen toimenkuvaan kuuluu myös metallimyynti (Metallista 2020d). Tämän lisäksi yritys tarjoaa asiakkailleen hitsauspalveluita (Metallista 2020e).

1.2 Toimeksianto

Opinnäytetyön aiheena oli veneenhuoltotelineen lujuusopillinen tarkastelu kantaavuuden ja rakenteellisen kestävyuden näkökulmasta sekä mahdollisten parannusvaihtoehtojen kehittäminen tuotteen rakenteeseen analyysien pohjalta. Tarkoituksena oli myös mallintaa tuotteesta 3D-mallit sekä tekniset piirustukset. Tuote on yrityksen oma keksintö, josta on tehty patenttihakemus. Kehityskohteina tuotekehitysprojektissa olivat esimerkiksi erikokoisten veneiden huomioonottaminen rakenteessa sekä tuotteen muuttaminen kokoonpantavaksi, jolloin kuljetus myyntiä ajatellen helpottuu. Opinnäytetyön tarkoituksena oli helpottaa prototyypitasolla olevan tuotteen saattamista tuotantokuntoon sekä tuoda uutta näkökulmaa tuotekehitykseen.

Lähtötilanteena tuotekehitysprosessille oli yrittäjän idean pohjalta valmistettu prototyyppi tuotteesta (kuva 1). Idea tuotteeseen syntyi asiakkaan tarpeesta. Kyseisen tuotteen käyttötarkoituksena on helpottaa veneen käyttöön olennaisena

osana kuuluvia huoltotoimenpiteitä, kuten veneen pesua sisä- ja ulkopuolelta, sekä mahdollisia muita toimenpiteitä, kuten pohjan paikkausta.



Kuva 1. Veneenhuoltotelineen prototyyppi

Veneenhuoltoteline toimii siten, että sen tulee olla kohtisuorassa venetraileriin nähden, jonka jälkeen vene voidaan vinsata perä edellä telineeseen. Vene liukuu kölrullien päälle ja se kiinnitetään kuormaliinoilla kehtoon. Veneen ollessa tukevasti kiinnitetty sitä voidaan kääntää sivuilla olevien vinssien avulla. Vinssit liikuttavat kehtoa, joka liukuu rullien päällä. Veneenhuoltotelineen alla on pyörät tilapäistä liikuttelua varten. Vetoaisan ansiosta siirtäminen onnistuu esimerkiksi autolla tai mönkijällä. Telineessä voidaan myös pitää venettä kausisäilytyksessä.

2 Tuotekehitys

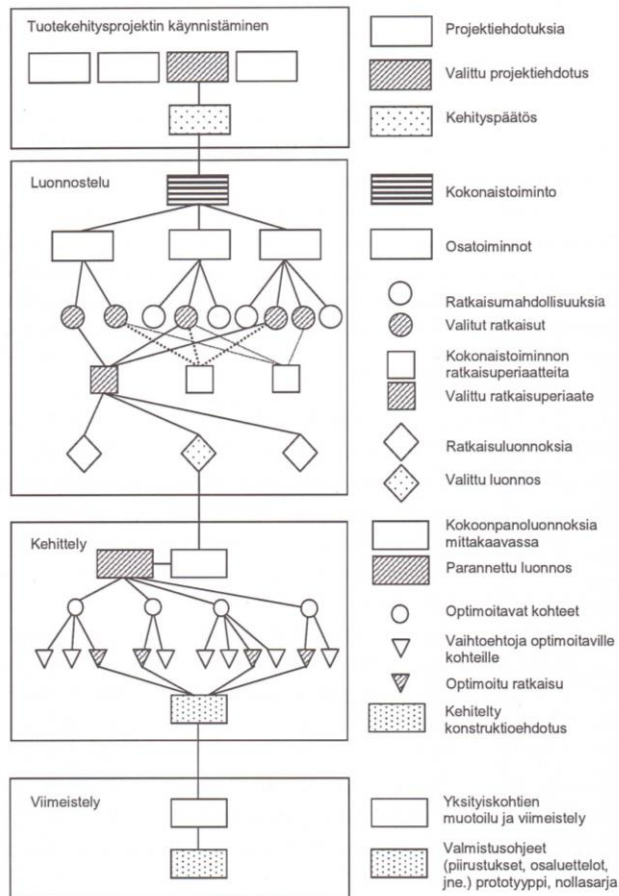
2.1 Tuotekehitys yleisellä tasolla

Tuotekehitys onnistuneesti toteutettuna on menestyvän yrityksen peruspilareita. Yrityksen tulee pitää huolta tuotekehityksestään, jotta sen tuotteet pysyvät ajan-tasaisena ja näin ollen myyväinä. (Jokinen 2001, 9.)

Tuotekehityksellä tarkoitetaan sellaista toimintaa, jonka pyrkimyksenä on kehittää kokonaan uusi tuote tai vastaavasti kehittää paremmaksi jo olemassa olevaa tuotetta. Tuotekehitysprosessi jakautuu useampaan vaiheeseen, joihin kuuluvat tuoteidean löytäminen, kehitysnäkymien ja markkinoiden selvittäminen, tuotteen luonnostelu, yksityiskohtainen suunnittelu, tuotteen optimointi sekä työpiirustusten laatiminen. Lisäksi prosessiin lukeutuu käyttöohjeiden laatiminen ja tuotanto-menetelmien kehitys. (Jokinen 2001, 9.)

Yleensä uuden tuotekehitysprosessin käynnistämisen edellytyksenä on tarve uudelle tuotteelle ja näkemys tuotteen toteuttamismahdollisuuksista. Pelkkä tarve tuotteelle ei riitä. Toteuttamismahdollisuudet ja tarve voidaan havaita joko järjestelmällisen hakutoiminnan seurauksena tai sattumalta. (Jokinen 2001, 17–18.)

Tuotekehitys prosessina jaetaan yleisesti neljään eri toimintavaiheeseen, jotka ovat käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen sekä viimeistely (Jokinen 2001, 14). Vaiheet ovat esitettyinä kuvassa 2.



Kuva 2. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Kuva: Jokinen 2001, 16)

Ensimmäinen vaihe tuotekehityksessä on käynnistäminen. Käynnistämävaiheeseen kuuluvat uuden tuotteen kehittämiseen menevien kustannusten sekä markkinanäkymien selvitys. Tässä vaiheessa tehdään selvitys myös tuotteesta mahdollisesti saatavista tuotoista ja otetaan huomioon ympäristönsuojeluun ja työterveyteen liittyvät kysymykset. Mikäli käynnistämävaihe sujuu positiivisesti, tuloksena saadaan kehityspäätös. (Jokinen 2001, 14.)

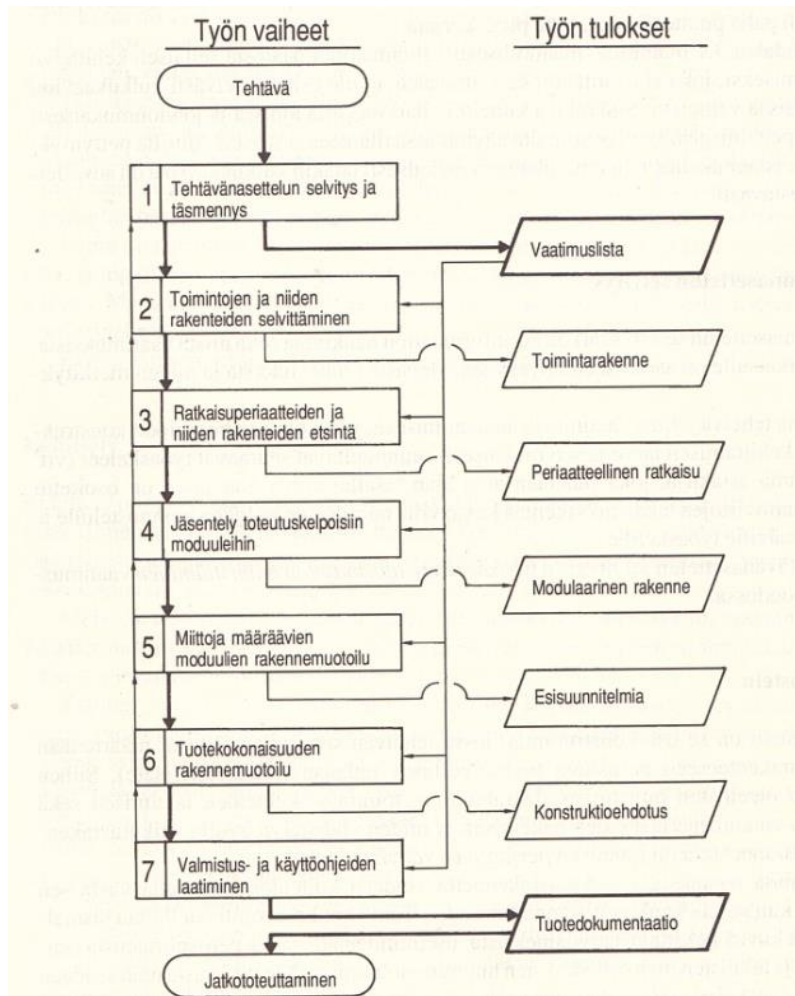
Toisena vaiheena tuotekehitysprosessia on luonnosteluvaihe. Se alkaa analysoida annettu tehtävä. Tässä vaiheessa tuotteen kehitykselle asetetaan tietyt tavoitteet ja vaatimukset. Luonnosteluvaiheessa tulee esille yleensä sellaisia asioita, jotka ovat saattaneet mennä käynnistämävaiheessa ohi. Tässä vaiheessa etsitään ratkaisuperiaatteita, joista tuloksena saadaan ratkaisuluonnos. (Jokinen 2001, 14–15.)

Kolmas vaihe prosessissa on kehittäminen. Kehittelyvaiheessa laaditaan tuotteesta mittakaavaan kokoonpanoluonnos. Kokoonpanoluonnoksesta pystytään havaitsemaan tuotteessa mahdollisesti löytyviä taloudellisesti sekä teknisesti heikkoja kohtia, jotka pyritään poistamaan ideoimalla. Mikäli tuotteesta löytyy näitä edellä mainittuja heikkouksia ja tuote on yrityksen toiminnan kannalta ratkaiseva, tuotteen rakennetta optimoidaan. Optimointiin voi sisältyä esimerkiksi vaihtoehtoisten materiaalien ja raaka-aineiden selvitys tai geometrioiden muuttaminen. Menetelminä voidaan käyttää arvoanalyysiä tai matemaattisia optimointimenetelmiä. Kehittelyvaiheesta tuloksena saadaan kehitetty konstruktioehdotus. Mikäli tämä ehdotus ei kohtaa prosessin alussa asetettuja vaatimuksia, joudutaan kehitystyö aloittamaan alusta uuden ratkaisuluonnoksen pohjalta. (Jokinen 2001, 15.)

Neljäs ja viimeinen vaihe tuotekehitysprosessissa on viimeistely. Viimeistelyvaiheeseen kuuluvia työtehtäviä ovat valmistuspiirustusten, huolto- ja käyttöohjeiden, osaluetteloiden ja muiden vastaavien tuotantoon liittyvien asiakirjojen laatiminen. Viimeistelyssä tuotteen konstruktiosta saadaan lopullinen versio. Tämän konstruktion pohjalta valmistetaan yleensä prototyyppi, mikäli se on tuotteen luonteen, esimerkiksi koon ja muodon, puolesta mahdollista. Prototyypin lisäksi tuotteesta voidaan valmistaa myös nollasarja valmistusmenetelmien testausta varten. Viimeistelyvaiheen päätyttyä voidaan tuotteen tuotannon aloittamisesta päättää lopullisesti. (Jokinen 2001, 17.)

2.2 VDI 2221

VDI 2221 eli systemaattinen suunnittelumetodi on saksalaisten kehittämä prosessimalli koneensuunnitteluun. Prosessi käsittää seitsemän askeleen työkulun, jolla kehitys- ja konstruointiprosessi ajetaan läpi (Pahl & Beitz 1990, 47). Prosessimalli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. VDI 2221 prosessimallin mukaisen kehitystyön ja konstruoinnin kulku (Kuva: Pahl & Beitz 1990, 47)

Konstruointi prosessina voidaan jakaa karkeasti neljään vaiheeseen, jotka ovat tehtävän selvittely eli informaation vahvistaminen, luonnostelu eli periaatteen vahvistaminen, kehittäminen eli rakennemuodon vahvistaminen ja viimeistely, jossa vahvistetaan valmistustekniikka. (Pahl & Beitz 1990, 48.)

2.2.1 Tehtävänasettelun selvitys

Tehtävänasettelun selvityksellä tarkoitetaan informaation hankintaa tuotteelle asetetuista vaatimuksista sekä reunaehdoista ja niiden merkityksestä suunnittelulle. Näiden tietojen pohjalta saadaan tuloksena tuotteelle vaatimuslista, joka toimii pohjana seuraaville työaskelille. (Pahl & Beitz 1990, 48.)

2.2.2 Luonnostelu

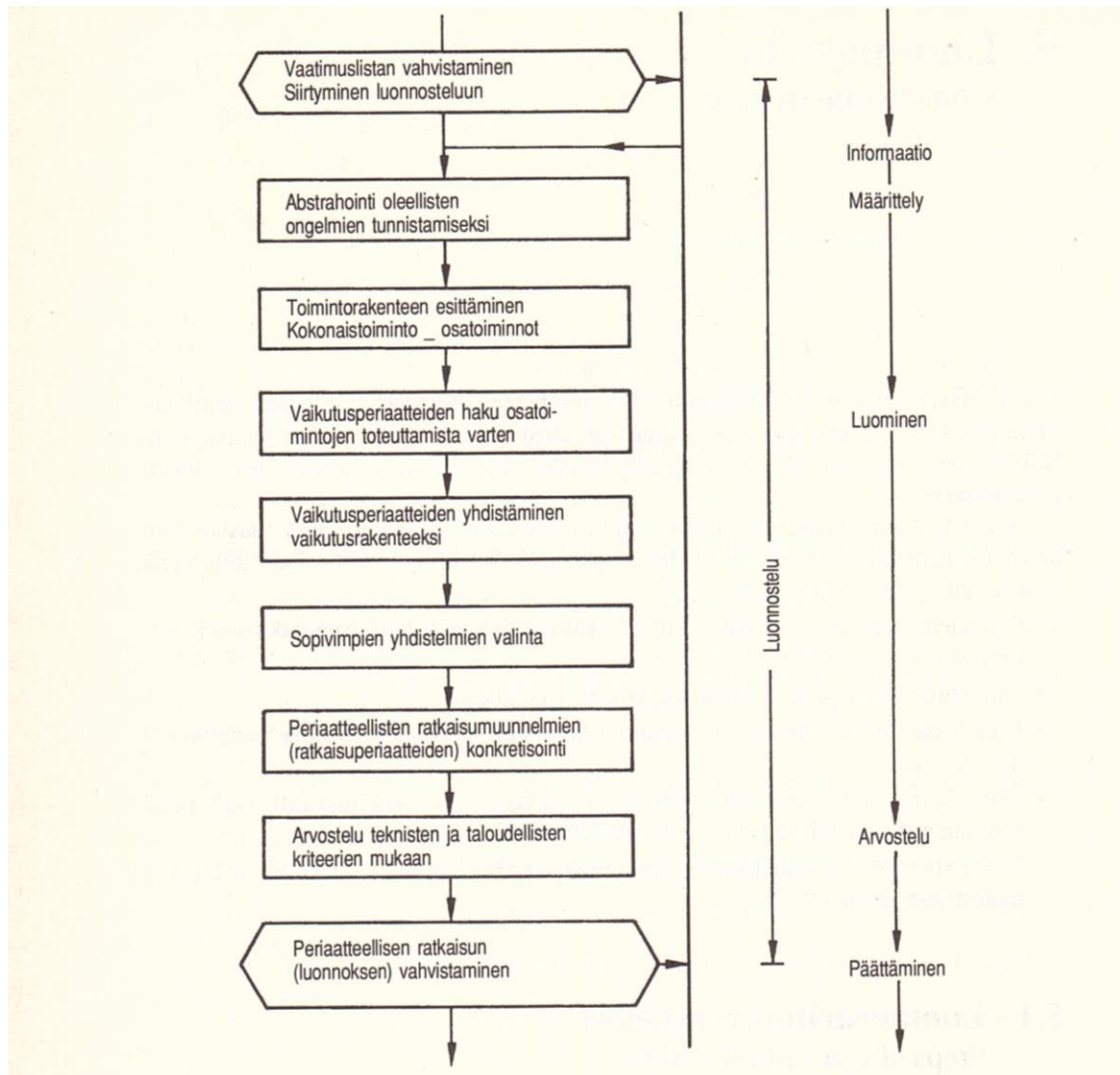
Luonnosteluvaiheessa määritellään tuotteelle ratkaisuperiaate. Ratkaisuun päästään laatimalla tuotteelle toimintorakenteet, löytämällä sopivat vaikutusperiaatteet ja abstrahoimalla kehityksen kannalta oleelliset ongelmat. Yhdistämällä näistä saadaan vaikutusrakenteet. (Pahl & Beitz 1990, 48.)

Vaikutusrakenne konkretisoidaan kartoittamalla tarvittavat työainekset, laatimalla alustavat mitoituspiirustukset sekä huomioimalla tekniset mahdollisuudet. Näiden vaiheiden jälkeen saadaan tulokseksi arvosteluun kelpaava ratkaisuperiaate, jossa on huomioituna tehtävälle asetetut reunaehdot ja tavoitteet. (Pahl & Beitz 1990, 48–49.)

Ratkaisuperiaate voidaan esittää lohko- tai kulkukaaviolla tai kytkentäkaavalla. Vaihtoehtoisesti tämä voidaan toteuttaa myös karkealla piirustuksella tai vapaakätisellä luonnoksella. (Pahl & Beitz 1990, 49.)

Luonnosteluvaihe jakautuu työaskeleisiin (kuva 4). Askeleet ovat olemassa sitä varten, että tuotteesta saadaan karsittua jo luonnosteluvaiheessa kriittiset heikoudet, joiden ratkaiseminen prosessin myöhemmässä vaiheessa olisi huomattavan vaikeaa tai miltei mahdotonta. (Pahl & Beitz 1990, 49.)

Aikaansaaduille luonnosmuunnelmille tehdään arviointi, joka perustuu tässä vaiheessa enimmäkseen teknisiin mutta osittain myös taloudellisiin näkökohtiin. Arvostelun tuloksena saadaan selville, mitä ratkaisuluonnosta lähdetään toteuttamaan. Tämän jälkeen konstruktioprosessia jatketaan kehittelyvaiheeseen. (Pahl & Beitz 1990, 49.)



Kuva 4. Luonnosteluvaiheen työaskeleet (Kuva: Pahl & Beitz 1990, 72)

2.2.3 Kehittely

Kehittelyvaiheessa vaikutusrakenteen tai ratkaisuperiaatteen pohjalta suunnitellaan tuotteen kokoonpanorakenne täydellisesti. Toisin sanoen kehittelyssä vahvistetaan tuotteen rakennemuoto. (Pahl & Beitz 1990, 48.)

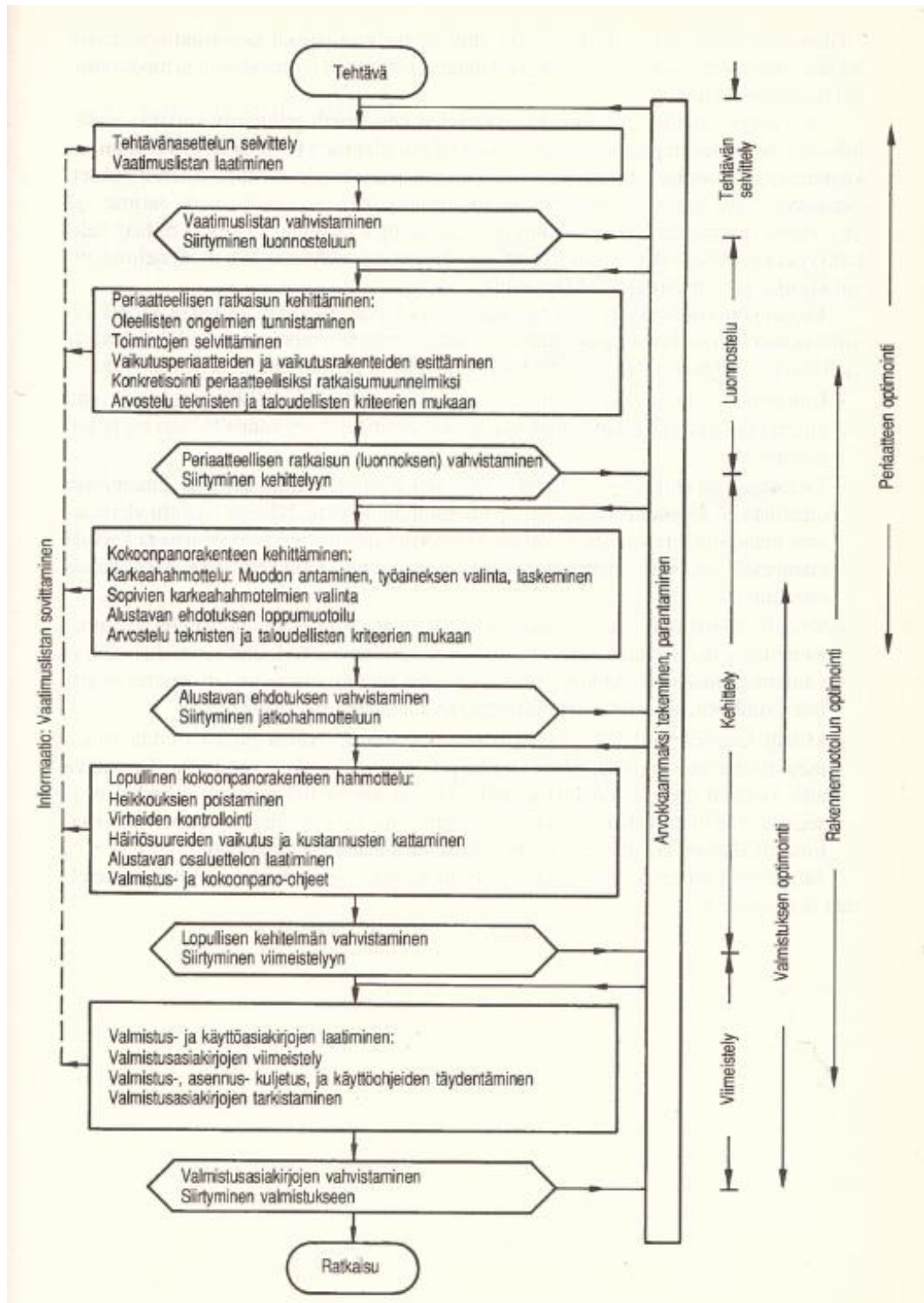
Kehittelyvaiheen jälkeen seuraa teknistaloudellinen arviointi, jossa selvitetään mahdollisista muunnelmista edullisin vaihtoehto, joka yleensä valitaan pohjaksi lopulliseen ratkaisuun. Tätä muunnelmaa kehitetään muista muunnelmista parhaita ratkaisuvaihtoehtoja keräämällä, ja tällä tavalla heikkouksia poistamalla päästään lopulliseen ratkaisuun, jonka pohjalta voidaan tehdä päätös lopullisen

kokonaiskehityksen rakennemuotoilusta. Tässä kehityksessä on jo tarkistettuna kestävyys, toiminnot, tilan käytön sopivuus ja muut vastaavat toiminnot, joiden lisäksi osoitetaan, että tuotteen kustannuksiin liittyvät vaatimukset on mahdollista täyttää. Näiden vaiheiden jälkeen prosessissa voidaan siirtyä viimeistelyyn. (Pahl & Beitz 1990, 49.)

2.2.4 Viimeistely

Konstruoinnin viimeinen osa on viimeistely, jossa kokoonpanorakenne täydennetään määräyksillä, jotka koskevat tuotteen mitoitusta, pinnanlaatua ja lopullista muotoa, valmistusmahdollisuuksia, työainesten määrittelyä sekä lopullisten kustannusten määrittelyä. Viimeistelyvaiheessa tehdään sitovat piirustukset sekä muut toteuttamiseen tarvittavat dokumentit. (Pahl & Beitz 1990, 50.)

Monesti konstruointiprosessin (kuva 5) viimeistelyvaiheessa aletaan korjata aiemmissa prosessin vaiheissa ilmenneitä virheitä, joka johtaa siihen, että prosessivaiheissa palataan takaisin siihen vaiheeseen tai niihin vaiheisiin, joissa virhe tehtiin. Korjauksia tehdään yleensä rakenneryhmiin ja yksityiskohtiin kokonaisratkaisun muuttamisen sijasta. (Pahl & Beitz 1990, 50.)



Kuva 5. VDI 2221 prosessimallin mukaisen konstruoinnin työaskeleet (Kuva: Pahl & Beitz 1990, 51)

3 Suunnitteluperiaatteet ja toteutus

3.1 DFX-menetelmä

DFX-menetelmä on suunnittelussa käytettävä periaate, jossa tuote suunnitellaan jonkin spesifin muuttujan mukaan. Kyseinen muuttuja on sidoksissa tuotteen ja asiakkaan prioriteetteihin. Tavallisesti näitä muuttujia ovat Assembly (A) eli kokoonpantavuus, Cost (C) eli kustannukset, Logistics (L) eli logistiikka, Manufacturing (M) eli valmistettavuus, Reliability (R) eli luotettavuus ja Serviceability / repairability (S) eli huollettavuus. (Mekaniikkasuunnittelu 2020.)

DFX voi vaihtoehtoisesti tarkoittaa myös Design for excellence, jolloin suunnittelun pyrkimyksenä on pyrkiä mahdollisimman hyvään tuotteeseen. Tämä on kuitenkin resurssien käytön kannalta ajatellen usein lähestulkoon mahdotonta, jolloin pyritään keskittymään jonkin tietyn osa-alueen optimointiin. (Mekaniikkasuunnittelu 2020.)

3.1.1 DFM-menetelmä

DFM-menetelmällä tarkoitetaan keinoja, joilla tuotteen suunnittelussa pyritään ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon tuotteen valmistettavuus. Epäsuorasti menetelmän hyödyntäminen parantaa myös tuotteen toimivuutta, luotettavuutta, vähentää tuotteen aiheuttamaa kuormitusta ympäristölle, parantaa ulkonäköä sekä tekee tuotteesta helpommin huollettavan. Tärkeimpänä tavoitteena menetelmän käytössä on valmistuskustannusten laskeminen (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

DFM metodina on käytössä silloin, kun tuote halutaan valmistaa tietyllä menetelmällä. Tuotteen rakenteen suunnittelussa on huomioitava materiaali, josta tuote valmistetaan, sillä eri materiaalit vaativat erilaiset tuotantomenetelmät ja täten vaikuttavat myös sen suunnitteluun, kuten pinnanlaatuun, työkaluihin ja muihin valmistettavuuteen liittyviin tekijöihin. Tällä on suuri vaikutus siihen, kuinka paljon

tuote ja sen valmistaminen tulevat kustantamaan massatuotantona valmistettuna. (Mekaniikkasuunnittelu 2020.)

3.1.2 DFA-menetelmä

DFA on ohjenuora suunnitteluun, jonka tarkoituksena on suunnitella tuote mahdollisimman helposti kokoonpantavaksi olemassa olevilla prosesseilla. DFA:ssa huomioitavia osa-alueita ovat paikoitettavuus, sekaantuminen ja osien takertuvuus. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

DFA-menetelmää hyödyntämällä saadaan tuotteen rakennetta yksinkertaistettua vähentämällä siihen käytettävien osien lukumäärää ja yhdistämällä osien toimintoja. Täten tuotteen huollettavuus paranee, luotettavuus kasvaa, ympäristölle aiheutuva kuormitus pienenee sekä tuotteen ulkonäkö paranee. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69.)

DFA:n käyttö teollisuudessa on yleistynyt kokoonpanojen automaation lisääntymisen myötä. Tämä johtuu osittain siitä syystä, että robotiikka ei kykene suorittamaan kaikkia tarvittavia työvaiheita samalla tavalla kuin ihminen (Mekaniikkasuunnittelu 2020).

3.1.3 DFMA-menetelmä

DFMA on valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnitteluperiaate, jolla pyritään saamaan tuotekonstruktion mahdollisimman edulliseksi uhraamatta kuitenkaan muita osa-alueita. Prosessia on mahdollista hyödyntää tuotekehitysvaiheessa olevaan prototyyppiin tai vaihtoehtoisesti jo tuotannossa olevaan tuotteeseen. Prosessi koostuu kahdesta osittain päällekkäisestä suunnitteluprosessista, jotka ovat DFM ja DFA. (Laakko, Sukuvaara, Borgman, Simolin, Björkstrand, Konkola, Tuomi & Kaikonen 1998, 184–185.)

DFMA-prosessissa on kymmenen tavoitetta. Nämä tavoitteet ovat osien määrän ja kokoonpanossa toisiinsa asemoitavien pintojen määrän minimointi, top-down suunnittelun käyttäminen, osien paikalleen tuomisen helpottaminen, osien yhteensopivuuden ja symmetrian maksimointi, osien käsiteltävyyden optimointi, erillisten lukituselementtien välttäminen ja lisäksi itselukittuvien osien sekä modulaarisen suunnittelun käyttäminen. (Laakko ym. 1998, 188)

3.2 Tuotesarjat

Tuotesarjat perustuvat tuoteryhmään, joita yritys markkinoi saman tuotemerkin alla. Tämä mahdollistaa erilaisten tuotteiden tarjoamisen säilyttäen kuluttajille tutun tuotemerkin maineen. Tuotteiden väliset erot kasvattavat asiakaskuntaa mahdollisimman laajaksi. (Twin 2019.)

Eri hintatason tuotteet eroavat ominaisuuksiltaan kalleimpien ollessa yleensä monipuolisimpia. Kaikki eivät kuitenkaan koe kattavia ominaisuuksia tarpeelliseksi, vaan tyytyvät yksinkertaisempaan ja halvempaan vaihtoehtoon. Tuotesarjan tuotteiden on tarkoitus täydentää tuotesarjaa ilman tuotteiden kilpailemista toisiaan vastaan. Esimerkiksi autoteollisuudessa sama merkki vastaa asiakkaiden tarpeisiin tarjoamalla urheilullista tai ylellistä mallia, kun taas jotkut kaipaavat taloudellisempaa vaihtoehtoa. Tätä on hyödynnetty myös tarjoamalla lisäominaisuuksia saman mallin sisällä vaihtoehtoisten lisävarusteiden muodossa. (Campbell 2019.)

3.3 Modulaarisuus

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen rakenteen pilkkomista siten, että siinä on valmistettavuuden näkökulmasta mahdollisimman paljon keskenään samanlaisia osia. Lisäksi moduloinnilla pyritään siihen, että tuotteen rakenne on kokoonpanon kannalta paras mahdollinen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 47.)

Suunnitellessa tuotetta modulaariseksi olisi suotavaa ottaa huomioon tuotteen valmistukseen käytettävät menetelmät ja välineet. Myös osia ja komponentteja

suunniteltaessa kannattaa pohtia niiden toimipisteisiin siirtoa ja käsiteltävyyttä. Lisäksi osien kiinnitykseen vaikuttavat asiat, kuten kiinnitystavat ja -pinnat, standardoidaan. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 47–48.)

Moduloinnilla saavutettava etu on mahdollisuus jatkuvaan tuotekehitykseen. Moduloitavasta tuotteesta suunnitellaan yleensä jokin tuotteen osa eli moduuli uudeksi, mutta tuotteen perusrakenne jää entiselleen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 51.)

3.4 Käytetyt menetelmät

3.4.1 CAD

Alun perin CAD tarkoitti piirustusten tekemistä tietokoneella. Menetelmänä se on paljon parempi ja nopeampi kuin käsin piirtäminen, ja valmiit piirustukset saa tulostettua paperille. CAD voi tarkoittaa myös tietokoneavusteista suunnittelua, jossa ohjelmaa käytetään suunnittelun työkaluna. Tietokoneohjelma mahdollistaa esimerkiksi geometrian muuttamista jälkikäteen, mikä helpottaa suunnittelijan työtä. Lisäksi ohjelma mahdollistaa mitoitus- ja analyysilaskennan. (Pere 2009, 9–1.)

Suunnittelijoita voi olla useampia, jolloin on tärkeää, että tuotetieto päivittyy mallia editoidessa reaaliaikaisesti. Kokoonpantavat tuotteet tuovat lisähaasteita, sillä osien ja osakokonaisuuksien on sovittava toisiinsa. Mallissa on mittojen lisäksi myös toleranssit, pinnanlaatu ja materiaalitiedot. (Laakko ym. 1998, 9.)

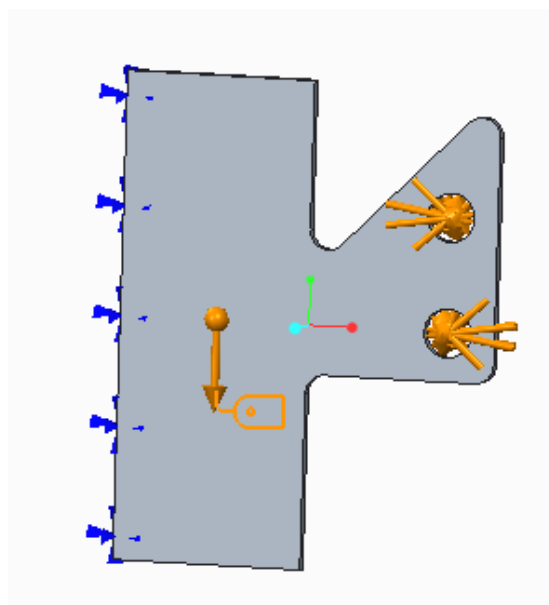
3.4.2 FEM-analyysi

FEM-analyysi on merkittävä väline tuotteen suunnitteluprosessin läpiviennissä. Analyysia käytetään yleisesti tuotteen rakenteen optimointiin sekä tuotteen valmistuksen oikeellisuuden tarkastamiseen. Tavanomaisesti FEM-laskennan aja-

tellaan olevan pelkästään rakenteen lujuuslaskentaa, mutta sitä voidaan hyödyntää tuotteen suunnittelussa myös virtaus- ja värähtelyanalyysiin. (Laakko ym. 1998, 159.)

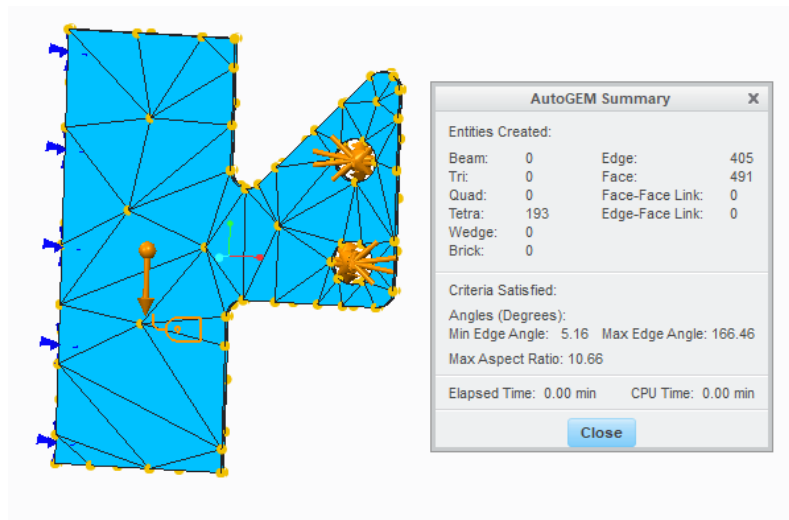
FEM-analyysia hyödynnetään tietokoneella tehtävässä lujuustarkastelussa. Analyysi perustuu pienikokoisten elementtien geometriseen kuvaamiseen. FEM-analyysin toteuttaminen vaatii tarkastelun kohteena olevasta tuotteesta geometrisen mallin, analyysille asetetut reunaehdot ja tiedot kappaleessa käytettävästä materiaalista sekä siihen kohdistuvista kuormituksista. (Laakko ym. 1998, 161.)

Esimerkki analyysin lähtötilanteesta on kuvassa 6.



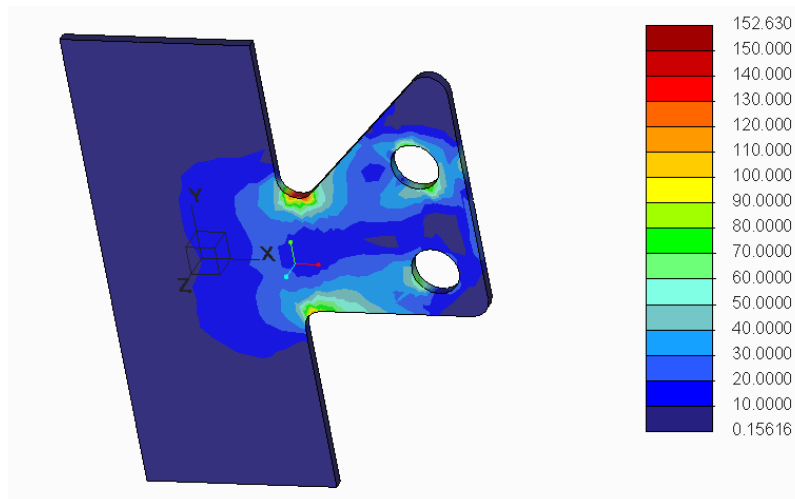
Kuva 6. Kuormien ja kiinnitysten asettaminen kappaleen FEM-lujuusanalyysissa

Periaatteessa FEM-analyysi jaetaan kolmeen eri vaiheeseen. Nämä vaiheet ovat esiprosessointi, ratkaisuvaihe ja jälkiprosessointi. Esiprosessoinnissa analyysille asetetaan lähtöarvot, joiden pohjalta kappaleen tarkastelu tehdään. Näihin arvoihin lukeutuvat analyysin tiedot, reunaehdot, kappaleeseen kohdistuvat voimat ja materiaalitiedot. Esiprosessointivaiheessa kappaleesta tehdylle 3D-mallille tehdään elementtien verkotus. (Laakko ym. 1998, 162.) Verkotus on esitettyä kuvassa 7.



Kuva 7. Kappaleen FEM-analyysia varten tehty verkotus

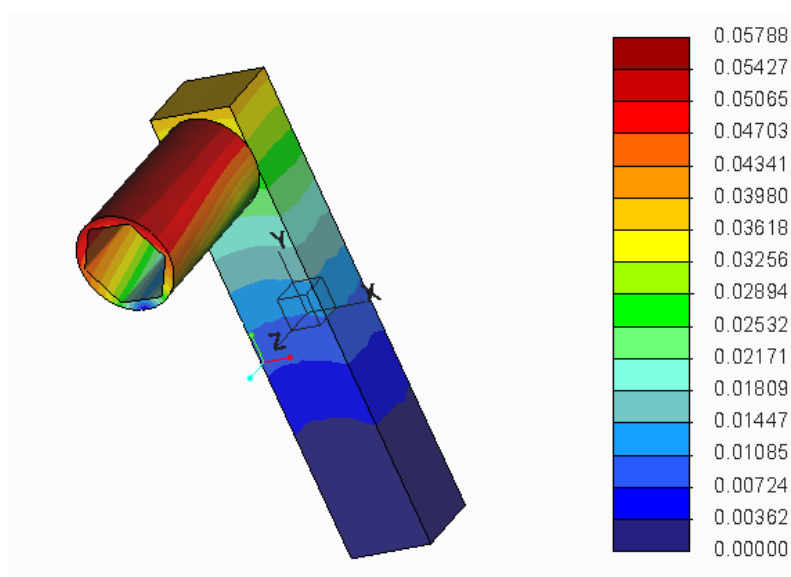
Ratkaisuvaiheessa kappaleelle lasketaan jäykkyydsmatriisi. Jälkiprosessointivaiheessa saadaan analyysistä tulokset (kuva 8) sekä tehdään raportti. (Laakko ym. 1998, 162.)



Kuva 8. Esimerkki kappaleen FEM-analyysin lopputuloksista, joista käy ilmi kappaleeseen kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset megapascalina

FEM-analyysin laskentaa voidaan helpottaa tekemällä kappaleesta piirremalli ja poistamalla tarkasteltavasta kappaleesta lujuuden kannalta epäolennaisia yksityiskohtia. Korvaamalla nämä piirteillä saadaan kappaleen verkotusta yksinkertaistettua, ja analyysi voidaan ajaa läpi tehokkaammin ja yksinkertaisemmin. (Laakko ym. 1998, 162–163.)

FEM-analyysia voi yksittäisten kappaleiden lisäksi hyödyntää myös kokoonpanojen tarkastelussa. Analyysi voidaan toteuttaa samalla tavalla kuin yksittäisen osan tutkiminen, eli tarkastelemalla kokoonpanoa yhtenäisenä kappaleena. Kokoonpanoa voidaan tutkia myös todellisena, jolloin käytössä oleva ohjelma tunnistaa osien rajapinnat ja käsittelee osia ja niiden vuorovaikutuksia todellisen tilanteen mukaan (kuva 9). Kokoonpanojen laskentaa analyysissä voidaan helpottaa poistamalla laskennan kannalta irrelevantteja komponentteja, mikäli ne eivät massansa tai ulkomuotonsa puolesta vaikuta olennaisesti laskentaan. (Laakko ym. 1998, 163–164.)



Kuva 9. Kokoonpanon FEM-analyysi, josta käy ilmi kappaleiden siirtymät millimetreinä

3.4.3 Tekninen dokumentointi

Tekninen dokumentointi tapahtuu useimmiten kolmiulotteisista malleista johdettuilla kaksiulotteisilla piirustuksilla. Dokumentit toimivat tuotetiedon esittämisen välineenä ja helpottavat niiden selittämistä ja yleismaailmallistamista. (Laakko ym. 1998, 140.)

Yleisin teknisen dokumentin muoto on piirustus, joka on tallennettuna joko sähköiseen tai fyysiseen muotoon. Piirustuksen tarve on perusteltava 3D-mallin

ohella, sillä kaksiulotteisessa piirustuksessa esimerkiksi toleranssit ovat huomattavasti helpompia havainnollistaa kuin vastaavassa geometrisessä mallissa. (Laakko ym. 1998, 140.)

Yksittäisestä tuotteesta tai vastaavasti kokoonpanosta tehdyssä kolmiulotteisessa mallissa on yleensä suuri määrä informaatiota. Näissä tapauksissa tuotteesta laaditaan useimmiten myös suuri määrä erilaisia dokumentteja. Tällaisia voivat olla tuotteen valmistukseen liittyvät piirustukset, kuten koneistus-, maa-laus-, tai valupiirustukset, käyttöohjeisiin liittyvät kuvat tai kokoonpanopiirustukset. Myös dokumenttien ajantasaisuus on tärkeää. (Laakko ym. 1998, 140.)

4 Tuotekehitysprosessin käynnistys

4.1 Lähtötilanne

Tuotekehitysprosessi aloitettiin tavallisesta poikkeavasti tuotteesta tehdyn prototyypin pohjalta. Tuotekehityksessä keskityttiin tutkimaan veneenhuoltotelineen varsinaisia runko-osia jättäen alihankinnalliset osat tarkastelun ulkopuolelle. Näihin alihankintaosiin lukeutuvat laitteessa käytetyt venetelat, venetelan kipit ja köllirullat. Projektin tarkoituksena ei ollut suunnitella tuotteen rakennetta kokonaan uudelleen, vaan säilyttää tuotteen peruskonstruktio samana etsien kuitenkin tuotteen moduuleihin uusia ratkaisuja. Tuotekehitykselle ei lähtötilanteessa asetettu mitään perustavanlaatuisia rajoitteita kuten maksimibudjettia. Näin ollen kehitysideoita sai laatia melko vapaasti, kun varsinaisia rajoittavia ehtoja tuotekehitysprosessin läpiviennille ei opinnäytetyön aikataulun lisäksi ollut.

4.2 Työssä sovelletut tuotekehitysprosessit

Tuotekehityksessä pyrittiin soveltamaan vapaamuotoisesti VDI 2221 -systemaattista suunnittelumetodia niiltä osin kuin se oli mahdollista projektin erikoislaatuisuus huomioon ottaen. Lisäksi sovellettiin valmistettavuuden ja kokoonpanettavuuden parantamiseen tähtäävää DFMA-suunnitteluperiaatetta siitä syystä,

että projektin päätavoitteena oli pyrkiä optimoimaan tuotteen valmistettavuus. Prosessimalleja jouduttiin jonkin verran soveltamaan projektin tavallisuudesta poikkeavan lähtökohdan vuoksi, sillä tuotteesta oli jo valmistettuna prototyyppi sen sijaan, että tuotteen suunnittelu olisi aloitettu täysin alusta.

4.3 Tehtävänasettelun selvitys

Tuotekehitysprojektin ensimmäisenä vaiheena laadittiin tuotteelle VDI 2221 -prosessin mukainen vaatimusluettelo, jossa tuotekehitysprosessin tuloksille asetettiin asianmukaiset toiveet ja vaatimukset. Projektin aikana tätä luetteloa seurattiin tarkasti ja sitä päivitettiin sitä mukaa, kun uusia tavoitteita lopputuloksille ilmaantui tai kun jostain ideasta luovuttiin.

Rakenteelle asetettuja vaatimuksia pohdittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa, ja näistä saatiin laadittua kehitysprosessilta halutut tulokset vaatimusluettelon muotoon. Näille vaatimuksille ja toiveille asetettiin numeraalinen arvo väliltä 1–5 tärkeyden mukaan (taulukko 1). Tärkeimpinä kehityskohteina projektissa nousi esiin tuotteen rakenteen modulaarisuus, jolloin rakennetta voisi helposti soveltaa erikokoisille veneille. Näin telinettä voisi mahdollisesti valmistaa tulevaisuudessa tuotesarjana tai vaihtoehtoisesti rakenteen voisi kehittää sellaiseksi, että se soveltuisi ilman suurempia muutoksia useammalle eri venekoolle. Tällöin ratkaisuvaihtoehtona olisi valmistaa prototyyppiä suurempi versio, jolloin samaa laitetta voitaisiin hyödyntää sekä pienemmille että isommille veneille. Tämän näkökohdan lisäksi rakenteen purettavuus paranisi ja tätä kautta laitteen koko osiin purettuna pienenisi, mikä helpottaisi logistista puolta myyntiä ajatellen tuotteen kehityskaaren edetessä siihen vaiheeseen. Taulukossa VV tarkoittaa tuotteelle asetettua vähimmäisvaatimusta, KV tuotteelle asetettua kiinteää vaatimusta ja T toivomusta.

Taulukko 1. Tuotteen vaatimusluettelo

Muutos pvm.	KV, VV, T	VAATIMUS	Tärkeys
		GEOMETRIA	
12.02.2020	KV	- Modulaarinen rakenne	5
12.02.2020	KV	- Oltava purettavissa kokoonpanon jälkeen	4
12.02.2020	VV	- Soveltuvuus useammalle venekoolle	5
		VOIMAT	
12.2.2020	KV	- Kestettävä päällä olevan veneen massa	5
20.3.2020	VV	- Vähintään 1000 kg kantavuus	4
		TURVALLISUUS	
28.02.2020	KV	- Ei mahdollisuutta rakenteen pettämiseen	5
		VALMISTUS	
12.02.2020	VV	- Pulttiliitosten lisääminen	3
12.02.2020	T	- Hitsausliitosten vähentäminen	4
20.3.2020	T	- Erialaisten osien vähentäminen kokoonpanossa	4
20.3.2020	T	- Yksinkertaisempi valmistaa	4
		KULJETUS	
12.02.2020	VV	- Mahdollisimman pieni koko purettuna rahtausta varten	5
		ASENNUS	
12.02.2020	VV	- Nopeasti ja helposti kokoonpantavissa	4
		KUNNOSSAPITO	
12.02.2020	T	- Tarve kunnossapitoon vähäinen	2

KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

4.4 Luonnostelu

Veneenhuoltotelineen mallintamisprosessi aloitettiin mittaamalla tuote. Laitteesta olemassa ollut prototyyppi oli valmistettu mielikuvien pohjalta, ja näin ollen siitä

ei ollut olemassa olevia valmistuspiirustuksia. Prototyypin mukaisesta rakenteesta piirrettiin ensin konseptipaperille raakaluonnokset mittoineen. Vaatimuslistan mukaisesti ensisijaisena tavoitteena tuotekehitysprojektissa oli, että veneenhuoltotelineen rakennetta saataisiin modularisoitua, joten ratkaisuperiaatteita miettiessä keskityttiin ensisijaisesti tähän osa-alueeseen.

Luonnosteluvaiheessa tuotteen lähtötilanteen konstruktiosta tehtyjen raakaluonnosten pohjalta mallinnettiin 3D-malli, jonka pohjalle kehitysvaihtoehtoja lähdettiin laatimaan. Malli on vastaava laitteen prototyypin kanssa sillä erotuksella, että siihen ei ole mallinnettu ketjuja, jotka ovat osana kehoa liikuttavaa mekanismia. Mallinnusprosessi suoritettiin Creo Parametric 3.0 -suunnitteluohjelmalla. 3D-malli lähtötilanteen konstruktiosta on esitettyinä kuvassa 10.



Kuva 10. Prototyypin konstruktion mukainen 3D-malli

5 Rakenteen lujuusopillinen tarkastelu

Tuotekehitysprojektin luonnosteluvaihe mallintamisen jälkeen jatkui tuotteen rakenteen lujuusopillisella analysoinnilla. Kokoonpanon rakenne on komponenttien

kosketuspintojen suhteen melko monimutkainen, minkä vuoksi tuotteen rakennetta tarkasteltiin yksittäisinä komponentteina koko kokoonpanon analysoinnin sijasta. Laskennan vaatimat kuormat ja tuennat pyrittiin saamaan realistista tilannetta mahdollisimman tarkasti vastaavaksi, jotta analyysistä saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin todellista tilannetta sekä jännitysten että siirtymien osalta.

Lujuustarkastelut rakenteelle toteutettiin hyödyntämällä prototyypin mukaista 3D-mallia. FEM-analyysin tulosten pohjalta saatiin selville rakenteen mahdolliset heikot kohdat. Näin saatiin selville se, miltä osin telineen rakennetta on mahdollista muokata modulaarisemmaksi. Lisäksi laitteesta kyettiin havaitsemaan näin mahdollisia rakenteellisia heikkouksia ja tekemään niihin tarvittaessa korjaavia muutoksia.

Lujuusanalyysistä saatiin selville myös prototyypin mukaiselle rakenteelle kantavuus, jonka pohjalta pystyttiin tekemään johtopäätöksiä siitä, minkälaisia muutoksia rakenne vaatii suuremman venekoon versiota ajatellen. Kantavuus laskettiin analyysin antaman failure indexin avulla, jonka käänteisluvusta saatiin rakenteen varmuusluku. Varmuusluku on jännityksen kriittisen arvon suhde materiaalin myötörajaan. Varmuusluvun perusteella pystyttiin selvittämään rakenteen teoreettinen kuormankantokyky, eli kuinka suuren veneen massan runko pystyy kantamaan ennen plastisia eli pysyviä muodonmuutoksia. Kertomalla varmuusluvulla analyysissä käytetty referenssikuorma saatiin selville Newtonina suurin kuorma, jonka rakenne teoriassa kestää. Jakamalla tämä putoamiskiiktyvyyden likiarvolla saatiin kantavuus kilogrammoina. Alla on kaava, jolla rakenteen teoreettinen kantavuus laskettiin:

$$Kantavuus (kg) = \frac{1}{failure\ index} \times referenssikuorma (N) \\ \frac{putoamiskiiktyvyys\ 9.81\ m/s^2}$$

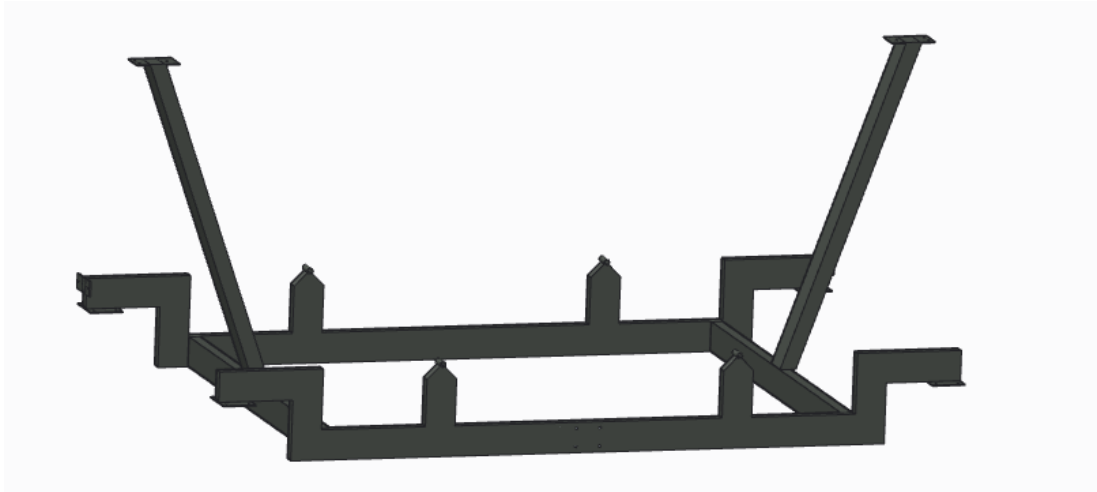
Lujuusanalyysit toteutettiin siten, että ne vastaavat tilannetta, jossa vene on normaalitilassa telineessä. Toisin sanoen analyyseissa simuloidaan tilannetta, jossa vene on pystyasennossa, eikä kehdon asentoa ole muutettu sen perusasennosta. Rakennetta olisi ollut mahdollista tarkastella myös kehdon ollessa eri

asenoissa, esimerkiksi äärimmilleen käännettynä, mutta tätä ei kuitenkaan tämän projektin puitteissa toteutettu. Kuormana kaikissa analyyseissa käytettiin samaa 5000 Newtonin referenssikuormaa, joka vastaa noin 500 kilogramman painoista venettä. Tätä kuormaa sovellettiin myös niiden osien analyyseissa, jotka eivät todellisessa tilanteessa kannaa välttämättä koko veneen kuormaa.

Veneenhuoltotelineen aisa rajattiin tämän lujuusanalyysin ulkopuolelle, sillä tarkoituksena oli tarkastella rakenteen käyttäytymistä sen varsinaisessa käyttötilanteessa, eli lastattaessa ja liikuteltaessa venettä huoltotelineessä. Näin ollen aisan lujuusanalyysi ei ollut relevantti projektin tavoitteiden kannalta. Lisäksi myös valmiina hankitut osat jätettiin lujuustarkastelun ulkopuolelle, sillä prototyypissä olevien valmiina ostettujen osien kantavuus tiedettiin jo etukäteen. Valmistajan ilmoittama kantavuus oli kaikilla näillä osilla sama, 800 kilogrammaa. Lujuusanalyysit toteutettiin Creo Parametric 3.0 -ohjelman FEM-toimintoa hyödyntäen. Laskennat ajettiin läpi MPA-analyysillä mahdollisimman luotettavien tulosten saamiseksi. Tuotteessa käytettyjen materiaalien tiedot esitettynä liitteessä 1.

5.1 Rungon jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys

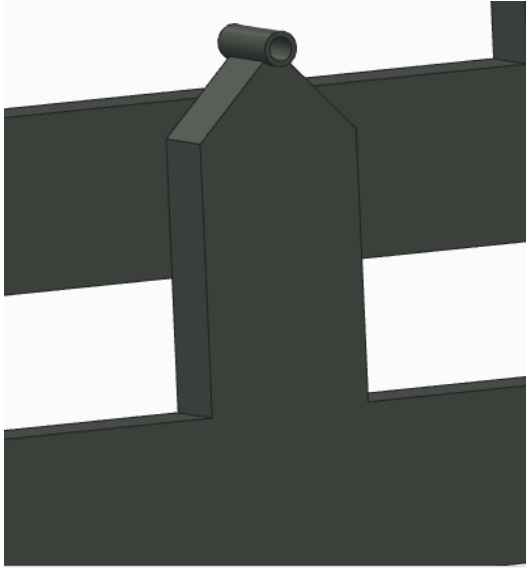
Ensimmäisenä tarkasteltiin varsinaisen rungon jännityksiä. Runkokehikko prototyypin konstruktiossa on valmistettu hitsaamalla kooltaan 100x40x3 mm olevasta putkipalkista. Putkipalkit ovat materiaaliltaan S355J2H-rakenneterästä. Rungon 3D-malli on esitettynä kuvassa 11.



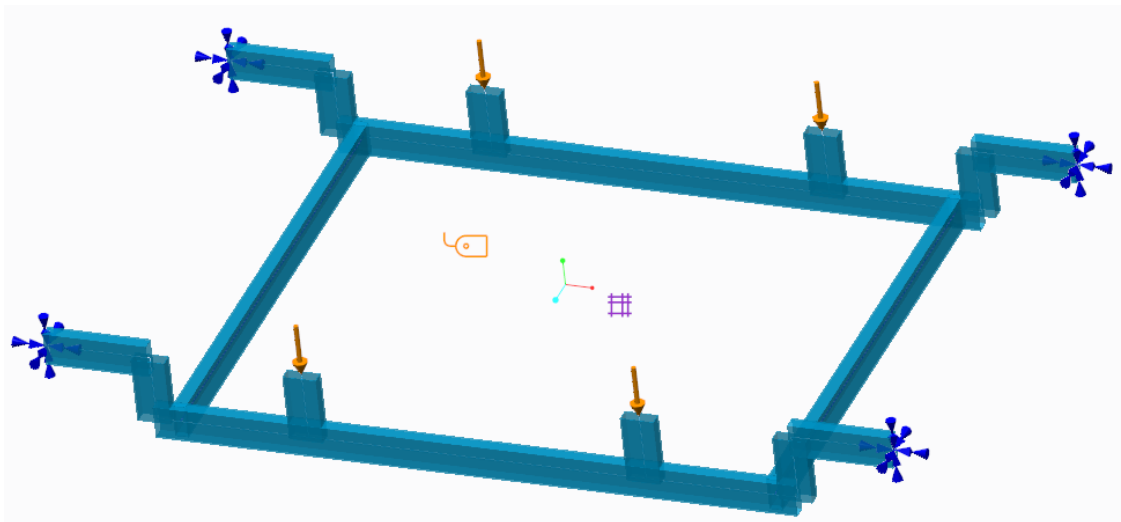
Kuva 11. Veneenhuoltotelineen rungon 3D-malli

Rungon FEM-analyysi toteutettiin hyödyntämällä palkkirakenneanalyysia sen sijaan, että analyysi olisi tehty 3D-mallin pohjalta. Näin päädyttiin toimimaan siitä syystä, että se oli laitteen konstruktion puolesta mahdollista ja laskennasta saatiin huomattavasti kevyempi palkkirakennetta hyödyntämällä. Analyysista saatiin näin myös luotettavammät tulokset verrattuna 3D-mallin pohjalta simulointiin.

Analyysissa kuorma kohdistettiin kolmiomaisiin ulokkeisiin (kuva 12), joihin kehoa kannattelevat tukikeinut kiinnittyvät. Runkopalkkien liitokset ovat kauttaaltaan läpihitsattuja päittäishitsejä, jolloin niiden voidaan olettaa olevan lujuudeltaan yhdenvertaisia muun rakenteen kanssa (SFS-EN 1993-1-8, 48), eikä niitä näin ollen tarvitse erikseen huomioida analyysissa. Laskennassa tuenta asetettiin laippoihin, joihin telineen alle tulevat pyörät kiinnitetään. Analyysin lähtötilanne kuormineen ja kiinnityksineen on esitettyä kuvassa 13.

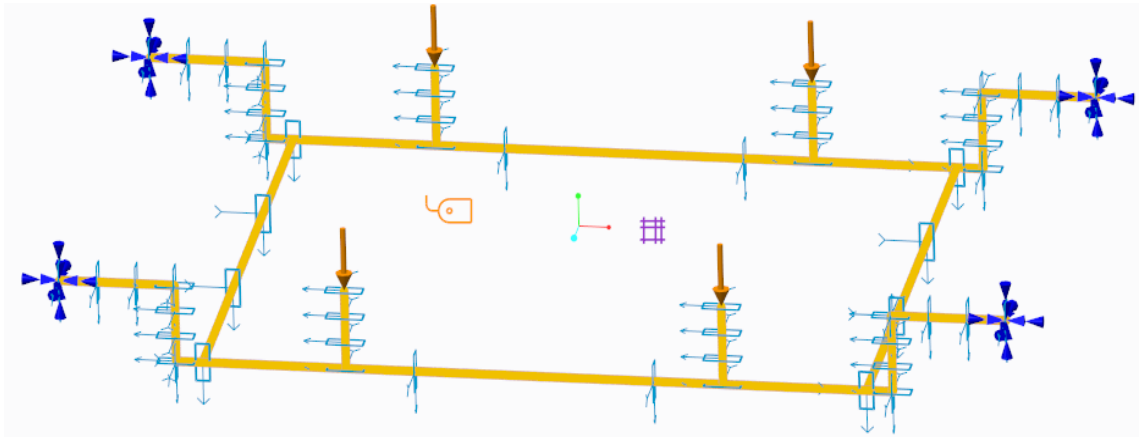


Kuva 12. Rungon ulokkeet, joihin kehtoa kannattelevat tukikeinut rakenteessa kiinnittyvät



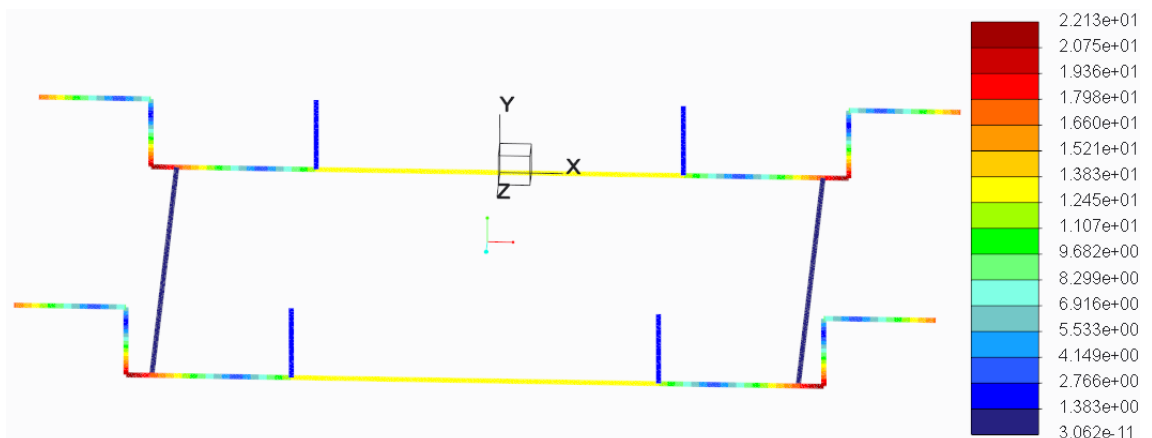
Kuva 13. Rungon alakehikon FEM-analyysin lähtötilanne, josta käy ilmi kappaleen tuenta laskennassa sekä kuormituksen suunta

Tulosten luotettavuuden varmentamiseksi kappaleen verkotusta tihennettiin pienentämällä elementtikokoa koko rakenteen osalta. Näin toimittiin myös muiden osien lujuusanalyseissa. Tällä pyrittiin varmistamaan se, että tulosten pohjalta voitaisiin tehdä perusteltuja johtopäätöksiä rakenteen kestosta ja kehitysvaihtoehdoista. Verkotusta rungon rakenteessa muutettiin pienentämällä laskennassa käytettävien elementtien koko kahteen millimetriin (kuva 14).

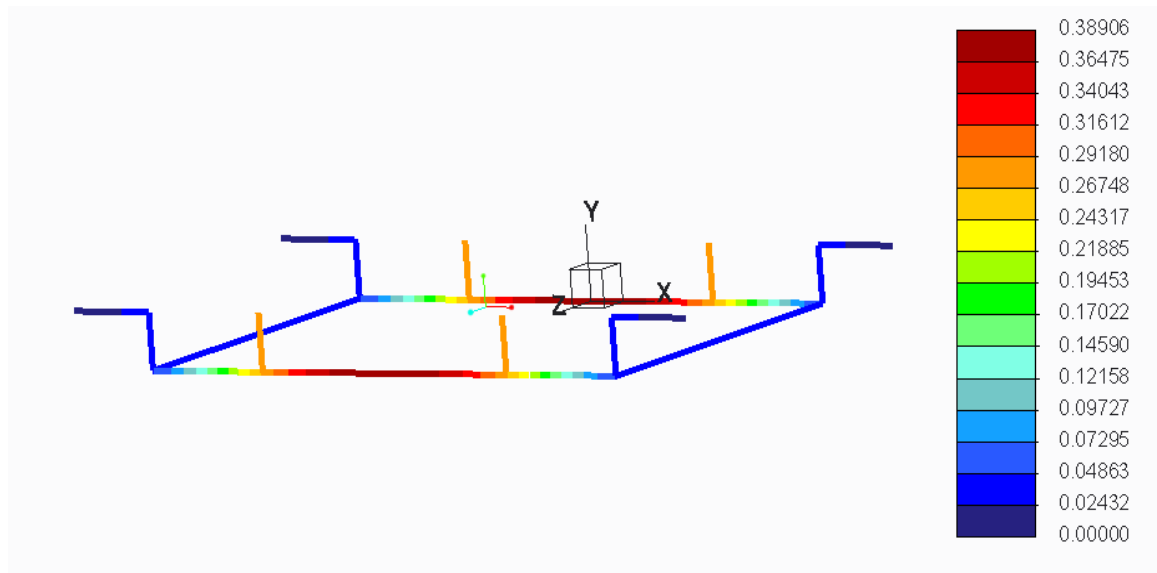


Kuva 14. Kappaleen verkotus rakenteen FEM-analyysia varten

Analyysin tulosten (kuva 15) perusteella rakenteessa suurimmat jännityskeskittymät kohdistuvat päätypalkkien ja niitä yhdistävien välipalkkien liitoksen alueelle. Runkoon kohdistuvat jännitykset olivat lukuarvoltaan melko pienet, suurimmillaan noin 22 MPa. Jännitykset eivät siis estä rakenteen muuttamista rungon osalta hitsausliitoksesta pulttiliitokseksi, kun valittu pultti on lujuusarvoltaan tilanteeseen riittävä. Runkoon kohdistuvien jännitysten jäädessä pieneksi myöskään rakenteen kokemat siirtymät eivät kasva suuriksi. Enimmillään siirtymää tapahtuu noin 0.4 millimetriä. Suurimmat siirtymät kohdistuvat päätypalkkien keskiosaan. Rungon siirtymät ovat esitettyinä kuvassa 16.



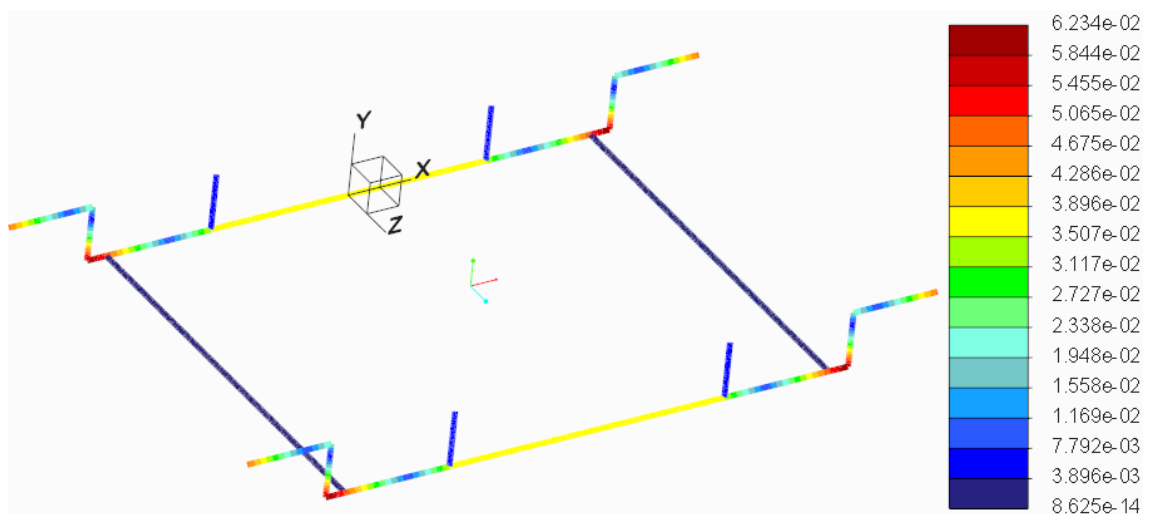
Kuva 15. Rungon FEM-analyysin tulokset, joista käy ilmi rakenteeseen kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset megapascaleina



Kuva 16. Rakenteen siirtymät millimetreinä

Analyysin tulosten pohjalta saatiin laskettua rakenteelle teoreettinen kantavuus. Se laskettiin aiemmin mainitun kaavan mukaisesti. Rungon failure index on esitettyinä kuvassa 17.

$$Kantavuus = \frac{1}{0.06234} \times 5000 \text{ N} \approx 8176 \text{ kg}$$



Kuva 17. Rakenteen varmuusluku (failure index)

Saatujen tulosten pohjalta pystyttiin toteamaan, että runko tällaisenaan kykenisi teoriassa kantamaan veneen ja kehdon yhteenlasketun massan, joka on suuruudeltaan noin 8176 kilogrammaa. Vaikka tämä ei olekaan tällä hetkellä mahdollista

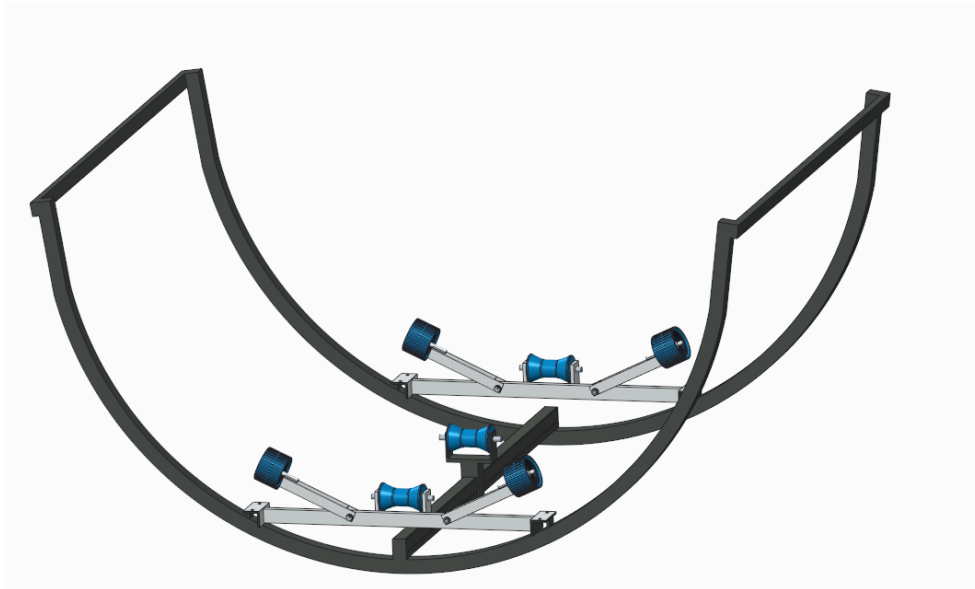
rakenteen muilta osin, kuten ulkoisten komponenttien kantavuuden tai geometristen rajoitteiden vuoksi, osoittaa se, ettei rungon rakenne ulkomittoja lukuun ottamatta vaadi suuria muutoksia valmistettaessa laitteesta suuremmalle venekoolle soveltuva versio. Veneenhuoltotelineen runko täyttää myös helposti telineen kantavuudelle asetetun 1000 kilogramman vaatimuksen.

Analyysistä saadun tiedon perusteella rungon voisi tulevaisuudessa valmistaa myös kevyemmästä ja näin ollen edullisemmasta materiaalista, esimerkiksi S275-rakenneteräksestä, mikäli rakennetta haluttaisiin optimoida kustannustehokkaammaksi. Nykyisen materiaalin käyttäminen on kuitenkin perusteltua laitteen kestävyuden ja täten myös turvallisuuden kautta, sillä näitä pidettiin ensisijaisen tärkeänä tuotteen vaatimuslistaa asetettaessa.

5.2 Kehdon jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys

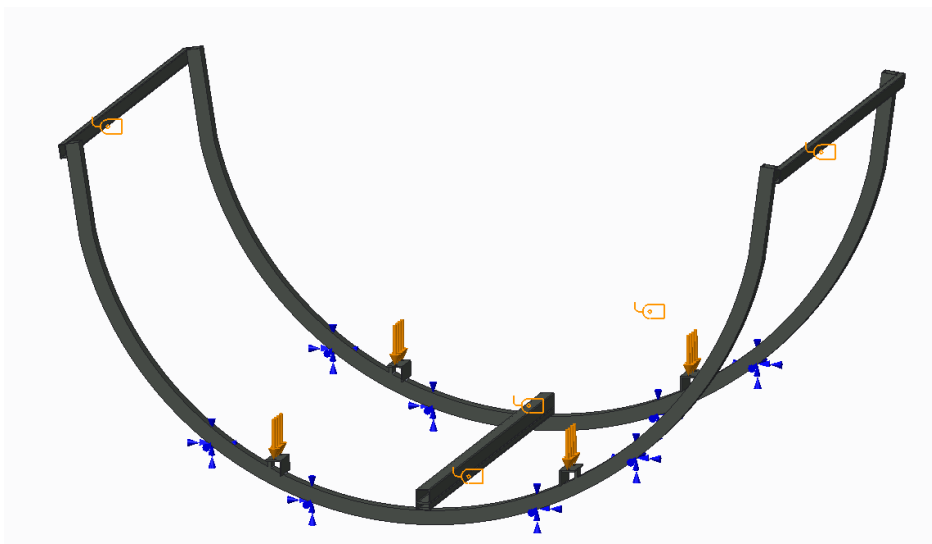
Rungon analysoinnin jälkeen lujuusopillinen tarkastelu tehtiin venettä kannattelevalle kehdolle. Kehdon lujuusanalyysi toteutettiin pelkästään sen varsinaiselle hitsatulle runko-osalle, jolloin tarkastelun ulkopuolelle jäivät siihen kokoonpanossa liittyvät osat, eli tässä tapauksessa kehtoon kiinnittyvät venetelat. Myös keskipalkkiin kiinnittyvä liuku rajattiin tämän analyysin ulkopuolelle ja sitä tarkasteltiin itsenäisenä osanaan.

Kehto prototyypin mukaisessa konstruktiossaan on valmistettu kahdesta erikoisesta huonekaluputkesta, jotka ovat kooltaan 40x40x3 ja 40x20x2 millimetriä. Huonekaluputket ovat materiaaliltaan rakenneterästä S235. Kaikki liitokset kehdossa ovat hitsausliitoksia. Prototyypin mukaisen kehdon kokoonpano on esitettyinä kuvassa 18.



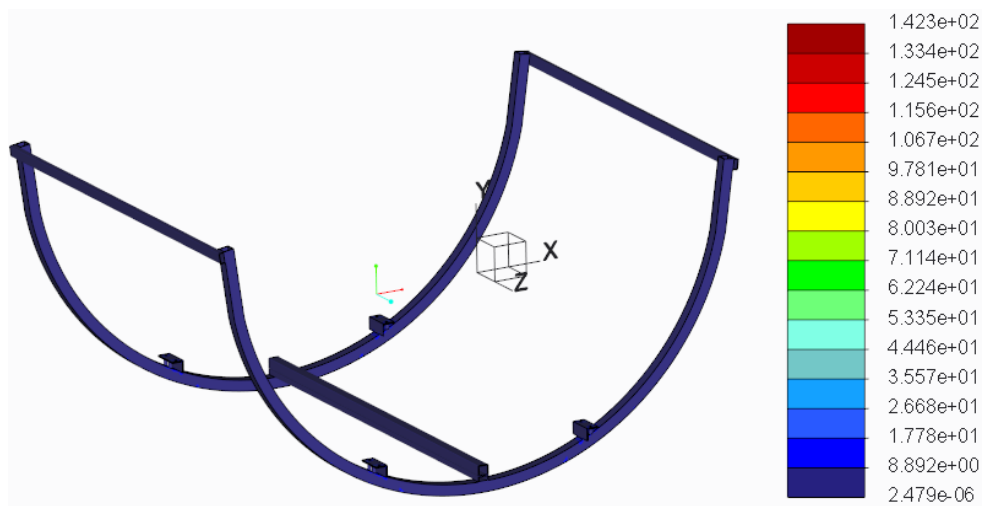
Kuva 18. Kehdon kokoonpanon 3D-malli, jossa venetelat ja liuku kokoonpantuna

Kehdon analyysi toteutettiin rungon analyysistä poiketen käyttämällä 3D-mallia. Myös kehdon jännitystiloja analysoitaessa kuormana oli sama 5000 N kuin runkokohikon analyysissä. Kuorma kohdistettiin venettä kannattelevien venetelojen kiinnityspisteisiin eli pintoihin, johon telat asemoituvat. Tuenta laskennassa asetettiin niihin kohtiin, joissa kehto kohtaa sitä kannattelevien keinojen rullat. Näin analyysin tuloksista saatavat siirtymät saatiin vastaamaan mahdollisimman hyvin laitteen todellista käyttötilannetta. Kehdon FEM-analyysin lähtötiedot ovat esitettyinä kuvassa 19.



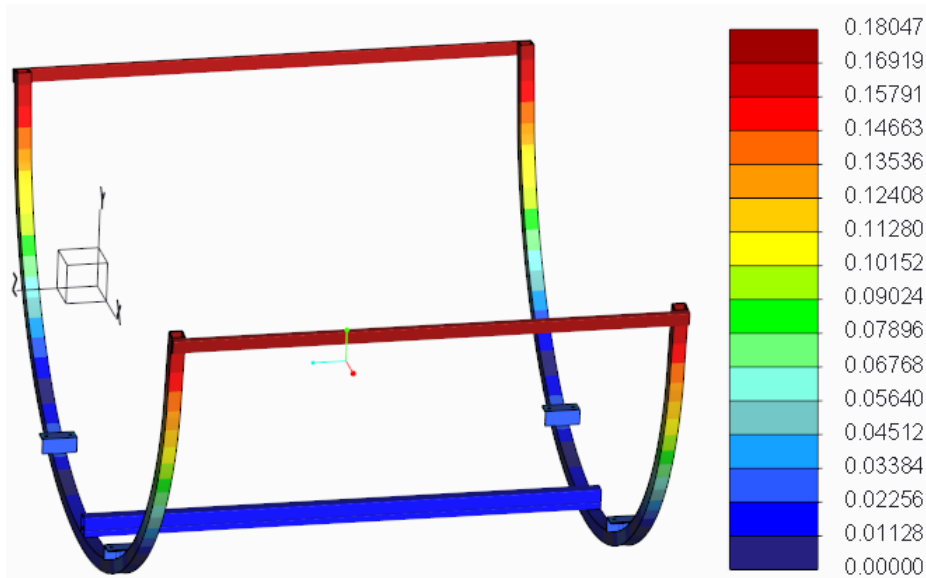
Kuva 19. Kehdon analyysissä käytettävien tuentojen ja kuormien sijainti ja suunta

Analyysin tulosten pohjalta pystyttiin toteamaan, että suurimmat jännityskeskittymät kehdossa asettuvat venetelojen kiinnityskohtaan. Keskittymät ovat siis siinä rakenteen kohdassa, johon kuorma kohdistuu. Tämän perusteella pystyttiin toteamaan, että kehdon rakenteen modulaarisuuden tarkastelu ja kehittäminen on periaatteellisella tasolla mahdollista muun rakenteen, kuten päätykaarien ja niitä yhdistävien palkkien osalta. Rakenteeseen kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset ovat kuvassa 20.



Kuva 20. Kehtoon kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset megapascalina

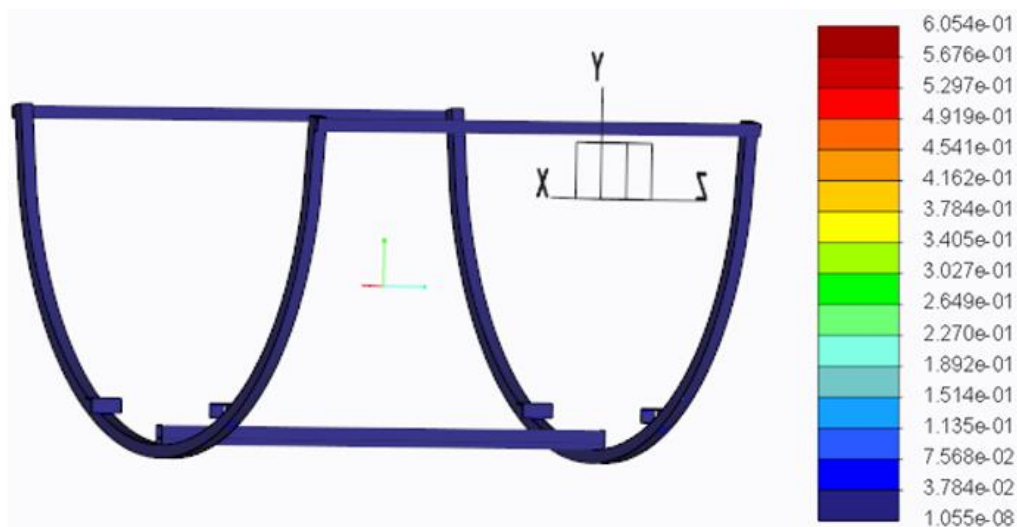
Suurimmillaan kehtoon kohdistuu noin 142 MPa suuruinen jännitys. Materiaalin myötörajan ollessa 235 MPa voitiin todeta, että kehdon rakenne kestää ongelmitta 5000 Newtonin kuorman. Rakenteeseen kohdistuvien jännitysten jäädessä suhteellisen selvästi myötörajan alle myöskään siinä tapahtuvat siirtymät eivät olleet kriittisiä. Suurimmillaan rakenteessa tapahtui noin 0.18 millimetriä siirtymää, joka kohdistui kaaren välitukien keskiosaan. Kappaleen siirtymät ovat esitettyinä kuvassa 21.



Kuva 21. Rakenteen siirtymät millimetreinä

Rungon tapaan kehdolle laskettiin analyysin tulosten pohjalta teoreettinen kantavuus. Näin saatiin määritettyä mahdollisten muutosten tarve rakenteen konstruktion. Kehdon failure index on kuvassa 22. Kantavuus laskettiin aiemmin mainitun kaavan mukaisesti:

$$Kantavuus = \frac{1}{0.6054} \times 5000N \approx 842 \text{ kg}$$



Kuva 22. Kehdon FEM-analyysin varmuusluku (failure index)

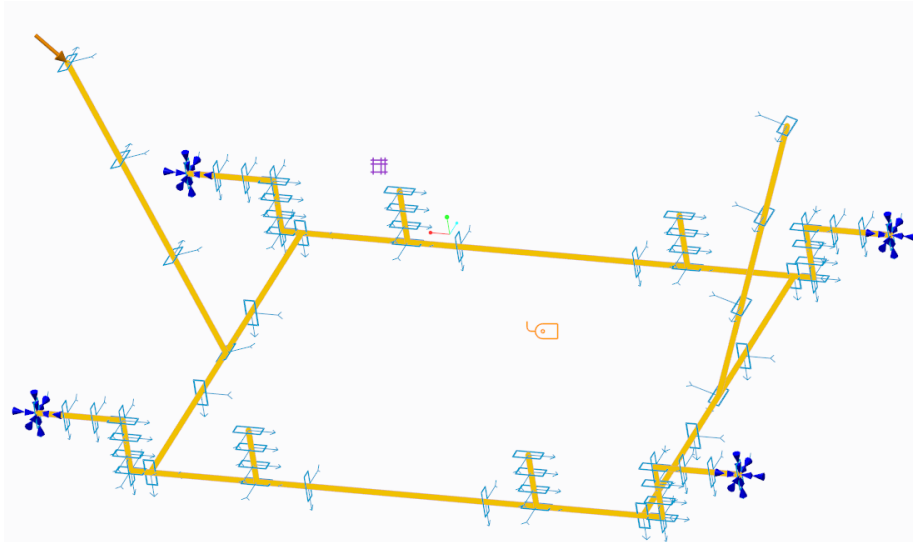
Teoreettiseksi kantavuudeksi kehdon rakenteelle saatiin noin 842 kilogrammaa. Vaatimusluettelossa asetettiin vähimmäisvaatimuksena rakenteelle vähintään 1000 kg kantavuus, mutta tähän ei alkuperäisellä rakenteella päästy. Kantavuutta olisi mahdollista kasvattaa muuttamalla venetelojen kiinnityspisteen rakennetta, sillä se on konstruktion kantavuutta eniten rajoittava tekijä. Vaihtoehtoisena ratkaisuna kehdon voisi valmistaa materiaalista, jolla on korkeampi myötöraja.

Kehdon FEM-analyysin tuloksiin suhtauduttiin kuitenkin varauksella siitä syystä, että kyseisen komponentin 3D-mallista ei ollut mahdollista tehdä täysin vastaavaa prototyypissä olevan osan kanssa. Esimerkiksi hitsiliitosten ja tuennan saaminen samanlaiseksi kuin prototyypissä oli hankala toteuttaa, mikä osaltaan vaikutti analyysin tuloksiin. Analyysi ei myöskään huomioi venetelojen lujittavaa vaikutusta kehtoon. Tässä tapauksessa voidaan kuitenkin perustellusti olettaa, että rakenne kestää todellisuudessa suuremman kuorman.

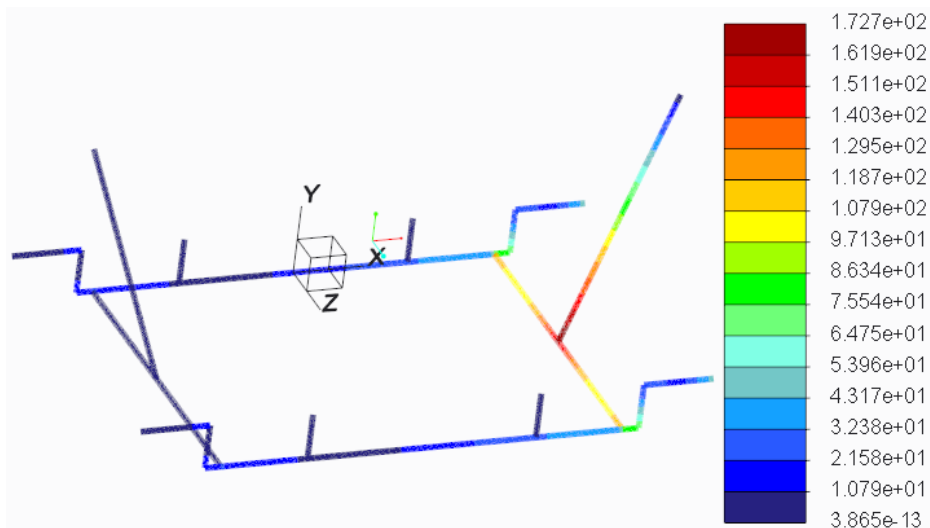
5.3 Vinssitolppien jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys

Varsinaisen runkorakenteen ja kehdon analysoinnin jälkeen tarkasteltiin vinssitolppien käyttäytymistä kuormituksen alaisena. Prototyypissä vinssitolppa oli valmistettu muusta rungosta poikkeavasti 100x50x4 mm kokoisesta putkipalkista. Materiaalina oli sama S355J2H-rakenneteräs kuin muussakin rungossa.

Analyysissa pyrittiin mahdollisimman hyvin simuloimaan realistista kuormitustilaa, jossa venettä kannattelevaa kehtoa liikutetaan vinssien avulla. Kuorman suuruutena oli sama 5000 N kuin muidenkin telineen komponenttien lujuusanalyysissä. Voiman suunta pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvin realistista tilannetta vastaavaksi. Analyysi toteutettiin tarkastelemalla vinssitolppaa osana runkorakennetta. Laskennassa käytetyt kuormat ja tuennat sekä elementtien verkotus ovat esitettyinä kuvassa 23 ja rakenteeseen kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset kuvassa 24.



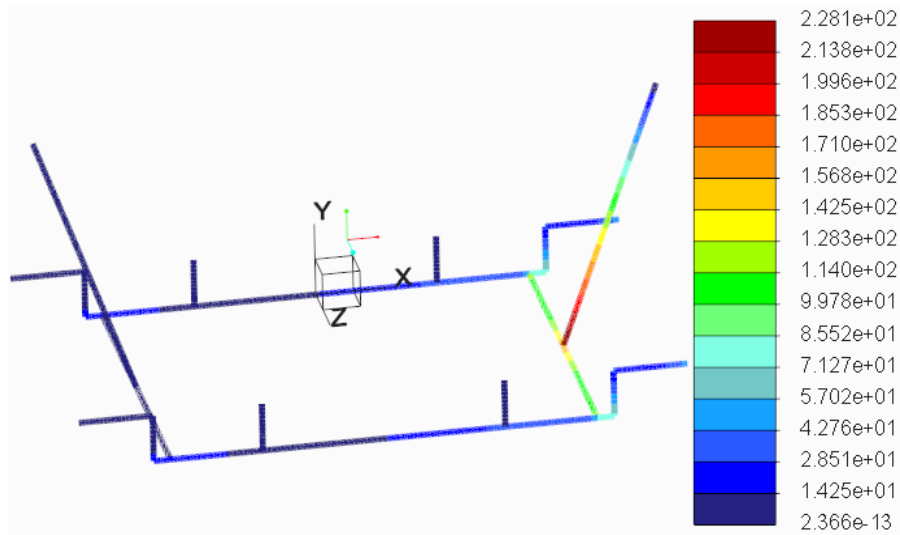
Kuva 23. Kappaleen kuorma ja tuennat sekä verkotus FEM-analysia varten



Kuva 24. Vinssitolppaan kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset megapascaleina

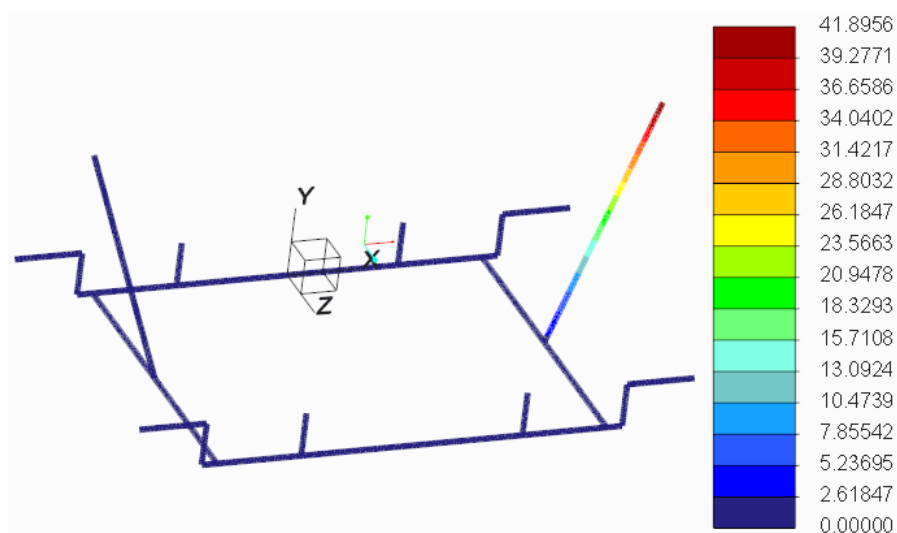
Vinssitolppien juureen kohdistui suurimmillaan noin 173 MPa jännitys, joka keskittyy vinssitolpan juureen siihen kohtaan, jossa se yhtyy välipalkin kanssa. Materiaalin myötörajan ollessa 355 MPa kyettiin toteamaan, että rakenne kestää siihen kohdistetun rasituksen. Alkuperäisen konstruktion analysoinnin jälkeen päätettiin laskenta ajaa kokeilumielessä myös käyttäen vinssitolpassa kooltaan 100x40x3 mm olevaa putkipalkkia, joka on yhteneväinen muussa rungossa käytetyn materiaalin kanssa. Tulokseksi saatiin 228 MPa (kuva 25), mikä osoittaa

sen, että vinssitolppa voitaisiin valmistaa samasta materiaalista kuin muukin runko.

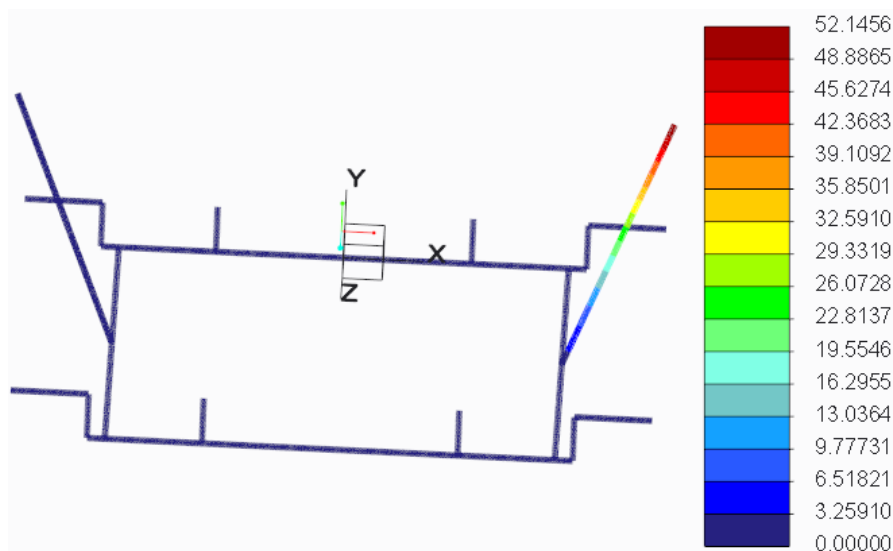


Kuva 25. 100x40x3 mm vinssitolppaan kohdistuvat vertailujännitykset megapascalina

Laskennan tuloksista saatiin jännitysten lisäksi rakenteessa tapahtuvat siirtymät molemmille versioille vinssitolpasta. Alkuperäisen konstruktion mukaisessa vinssitolpassa, joka on valmistettu 100x50x4 mm kokoisesta putkipalkista, siirtymää tapahtuu noin 41 millimetrin verran. Vastaavasti versio vinssitolpasta, jossa materiaalina on käytetty 100x40x3 mm kokoista palkkia, siirtymää rakenteessa oli suurimmillaan 52 mm. Siirtymät alkuperäisen mukaiselle vinssitolpalle ovat kuvassa 26 ja päivitetystä versiosta kuvassa 27.



Kuva 26. Rakenteen siirtymät millimetreinä 100x50x4 mm putkipalkilla

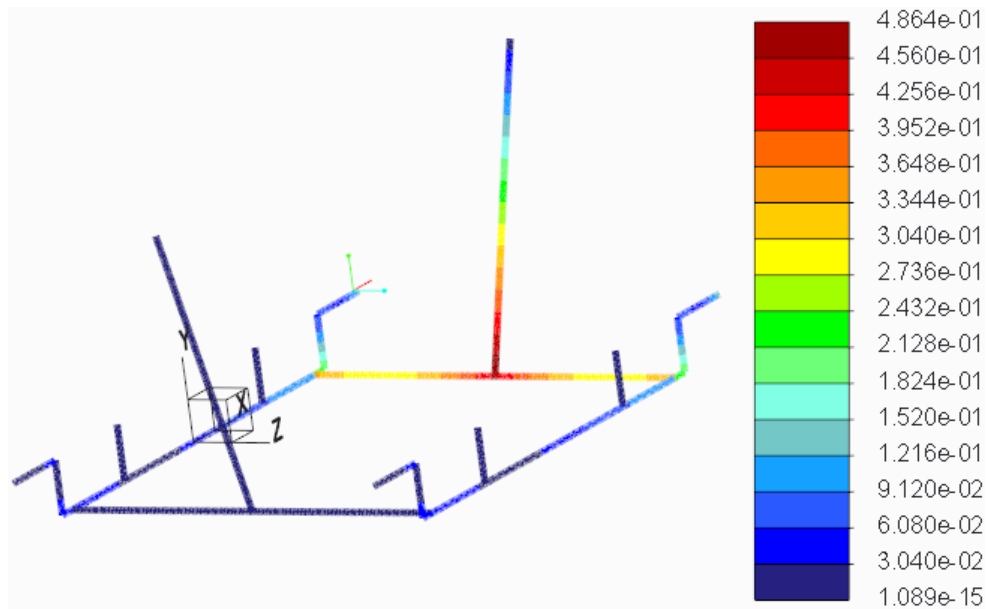


Kuva 27. Rakenteen siirtymät millimetreinä 100x40x3 mm putkipalkilla

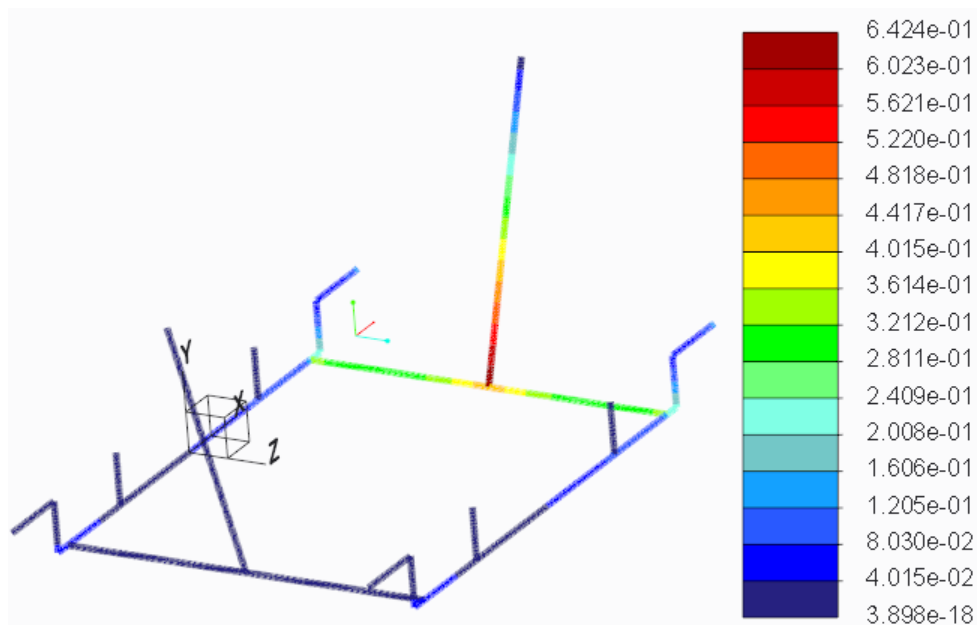
Vinssitolpan lujuusanalyysin tuloksiin suhtauduttiin varauksella siitä syystä, että sitä ei ollut mahdollista saada kaikilta osin vastaamaan todellista kuormitustilannetta. Tämä oli seurausta siitä, että lujuuslaskenta ajettiin huomattavasti yksinkertaistettumpana versiona verrattuna siihen, että analyysissä olisi huomioitu kehon liikkeiden todellisen vaikutuksen vinssitolppaan. Todellisessa tilanteessa kuorman eli tässä tapauksessa veneen massan liikuttamista on helpottamassa rullakeinujen päällä lepäävä kehto. Tämä vähentää huomattavasti vinssiltä vaadittua voimaa veneen kääntämiseksi, mikä taas heijastuu suoraan vinssitolppaan rasituksen vähentymisenä.

Analyysin tulokset tällaisenaan erityisesti siirtymien osalta vastaavat enemmän rakenteeseen kohdistuvaa ääritilannetta, jollainen esimerkiksi saattaisi tulla silloin, jos kehto ja vene jostain syystä irtoaisivat telineestä. Tulokset osoittavat kuitenkin sen, että rakenne kestää sille asetetut vaatimukset, ja muutosvaihtoehtoja on tietyn reunaehdoin mahdollista toteuttaa.

Vinssitolppien lujuusanalyysin tuloksista saatiin jännitysten ja siirtymien lisäksi rakenteen failure index. Näin vinssitolpan molemmille toteutusvaihtoehdoille saatiin laskettua niiden teoreettinen kantavuus. Prototyypin mukaisen konstruktion failure index on esitettyä kuvassa 28 ja rungon kanssa yhteneväisestä materiaalista valmistetun vinssitolpan failure index esitettyä kuvassa 29.



Kuva 28. Failure index (100x50x4 mm)



Kuva 29. Failure index (100x40x3 mm)

Ensimmäisenä selvitettiin kantavuus prototyypissä olleelle versiolle. Tämä saatiin laskettua samalla kaavalla kuin muidenkin osien kohdalla:

$$Kantavuus = \frac{1}{0.4864} \times 5000 \text{ N} \approx 1048 \text{ kg}$$

Alkuperäiselle versiolle saatiin kantavuudeksi noin 1048 kilogrammaa. Lukema on erinomainen, kun huomioidaan analyysin lähtötilanne, joka ei kaikilta osin vastaa rakenteen todellista kuormitustilaa. Prototyypin mukaisen version kantavuuden selvityksen jälkeen laskettiin sama arvo myös versiolle, jossa vinssitolppa on valmistettu 100x40x3 mm kokoisesta putkipalkista:

$$Kantavuus = \frac{1}{0.6424} \times \frac{5000 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 793 \text{ kg}$$

Tulokseksi tälle versiolle saatiin 793 kilogrammaa. Saadun lukeman perusteella vinssitolpan valmistaminen samasta materiaalista rungon kanssa olisi mahdollista. Vaikka lukema ei ylitäkään asetettua 1000 kilogramman vaatimusta, voidaan rakenteen olettaa kestävän todellisessa tilanteessa tällaisen kuorman joutuessa aiemmin mainitusta analyysin todellisesta tilanteesta poikkeavasta toteutuksesta.

5.4 Liu'un jännitysten analysointi ja kantavuuden selvitys

Viimeisenä rakenteesta tarkasteltiin osana kehdon kokoonpanoa olevaa liukua (kuva 30). Liuku toimii veneen telineeseen lastausta helpottavana elementtinä ja kannattelee kölin keskiosaa veneen ollessa kytkettynä telineeseen. Osa on valmistettu 4 mm paksusta lattaraudasta ja 40x40x3 mm neliöputkipalkista hitsaamalla.



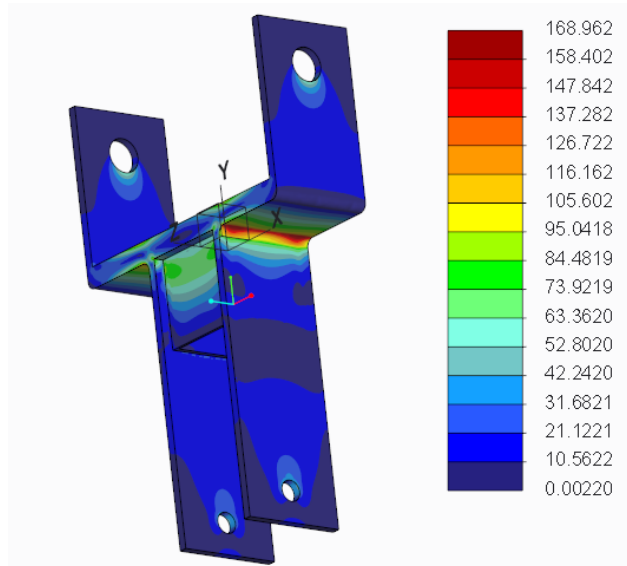
Kuva 30. Liu'un kokoonpanon 3D-malli

Muiden osien tapaan myös liukua analysoitiin yksittäisenä osana kokoonpanon sijasta. Liu'un FEM-analyyssissä käytössä oli sama 5000 N kuorma kuin rakenteen muidenkin osien lujuusanalyyssissä. Tuenta asetettiin komponentin alaosassa oleviin reikiin ja kuorma vastaavasti asetettiin laakerikuormamaisesti reikiin, joihin venettä kuljettava kölirulla kiinnittyy. Analyysin lähtötilanne, jossa ovat tuennat ja kuormat, on esitettyä kuvassa 31.

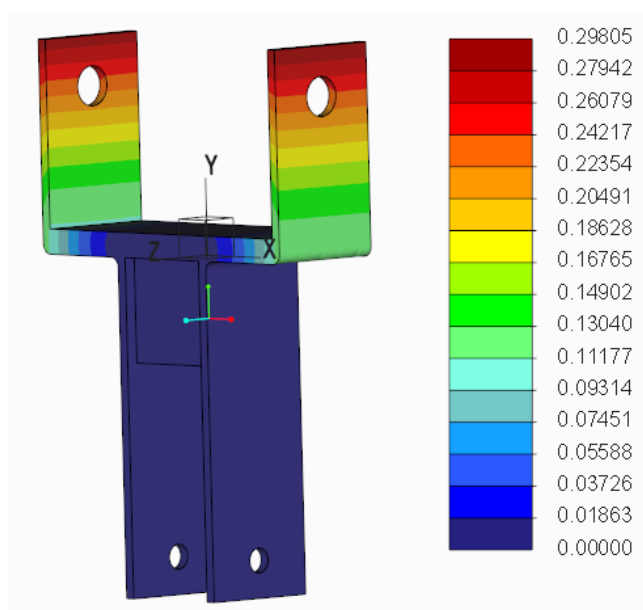


Kuva 31. Liu'un tuenta ja kuormat suuntineen

Analyysin perusteella liukuun kohdistuu suurimmillaan noin 169 MPa suuruinen jännitys. Suurimmat jännityskeskittymät rakenteessa keskittyvät yläosan U-mallisen osan ja alaosan yhtymiskohtaan. Suurimmat siirtymät ovat vastaavasti osan yläosan laipoissa, joihin kölirulla kiinnittyy kokoonpanossa. Enimmillään siirtymää tapahtuu noin 0.29 millimetrin verran. Rakenteeseen kohdistuvat jännitykset ovat kuvassa 32 ja siirtymät kuvassa 33.



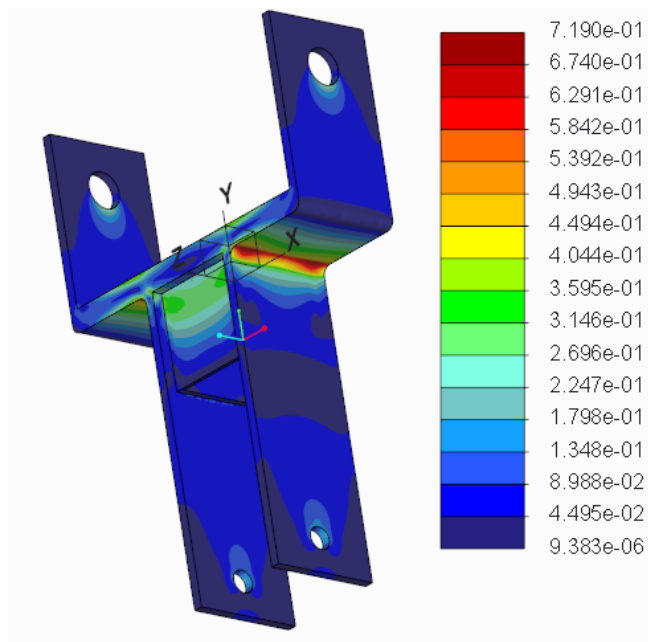
Kuva 32. Liukuun kohdistuvat von Mises -vertailujännitykset



Kuva 33. Liukuun kohdistuvat siirtymät

Analysoimalla liukuun kohdistuvat jännityskeskittymät pystyttiin selvittämään myös liu'ulle sen teoriassa maksimaalinen kuormankantokyky. Täten saatiin selville se, onko osan ominaisuuksia tarpeen muuttaa siinä tapauksessa, kun tuotteesta mahdollisesti valmistetaan suuremman kokoluokan veneelle sopivaa versiota. Kantavuus laskettiin vastaavalla kaavalla muiden osien kanssa. Keinun failure index on esitettyä kuvassa 34.

$$Kantavuus = \frac{1}{0.7190} \times 5000 \text{ N} \\ \frac{1}{9.81 \text{ m/s}^2} \approx 709 \text{ kg}$$



Kuva 34. Keinun failure index

Liu'un kantavuudeksi laskutoimitusten jälkeen saatiin noin 709 kg suuruinen kuorma. Vaikka tulos itsessään ei ylläkään asetettuun 1000 kg vaatimukseen, voidaan sitä silti pitää hyvänä. Todellisessa tilanteessa osa ei kannata yksin koko veneen kuormaa, eli tässä tapauksessa analyysissä käytettyä 500 kg venettä vastaavaa referenssikuormaa. Myös liu'un FEM-analyysin tuloksiin suhtauduttiin varauksella siitä syystä, että 3D-mallin saaminen prototyyppissä olevan osan kanssa vastaavaksi ei ollut kaikilta osin mahdollista.

6 Rakenteen kehittäminen

Kehittelyvaihe aloitettiin ratkaisuvaihtoehtojen etsimisellä. Lujuusanalyysista saatujen tulosten perusteella ryhdyttiin miettimään vaatimuslistassa asetettujen vaatimusten ja toiveiden mukaisia ratkaisuvaihtoehtoja tuotteen rakenteeseen. Veneenhuoltotelineen peruskonstruktioon ja toimintaperiaatteeseen ei haluttu kajoa turhan paljoa muutosehdotuksia kehiteltäessä, sillä tuotteen toimintamekanismi oli todettu prototyypissä toimivaksi ratkaisuksi.

Pääpainopisteenä mietittäessä potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja olivat rakenteen modulaarisuuden ja tätä kautta kokoonpantavuuden kehittäminen. Näihin kehityskohteisiin vaihtoehtoja ideoidessa pyrittiin seuraamaan mahdollisimman tarkasti DFMA-suunnitteluperiaatteen mukaisia ohjesääntöjä. Tämän periaatteen mukaisesti tuotteen rakenne ja siihen tehdyt muutokset pyrittiin pitämään yksinkertaisena ja täten myös helppona ja edullisena valmistaa. Mahdollisten osakoonpanojen ja liitostarvikkeiden määrä sekä erilaisten materiaalien ja tarvikkeiden määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman vähäisenä. Mahdolliset liitosten muutokset pyrittiin toteuttamaan siten, että osien paikoittaminen saataisiin mahdollisimman helpoksi ja tehokkaaksi. Lisäksi rakenteen jo valmiiksi symmetrinen rakenne pyrittiin säilyttämään liitostapoja suunnitellessa. Ratkaisuvaihtoehtoja ja niiden toteuttamiskelpoisuutta arvioitiin vertailemalla niitä keskenään ja rakentamalla näin niistä paras mahdollinen kokonaisjärjestelmän luonnos.

Parannusvaihtoehtoja pohdittiin muistakin näkökulmista kuin pelkästään modulaarisuuden ja kokoonpantavuuden kannalta. Näitä olivat mahdollinen valmistusmenetelmien muuttaminen, käytetyt materiaalit ja vaihtoehtoiset kokoonpanoratkaisut.

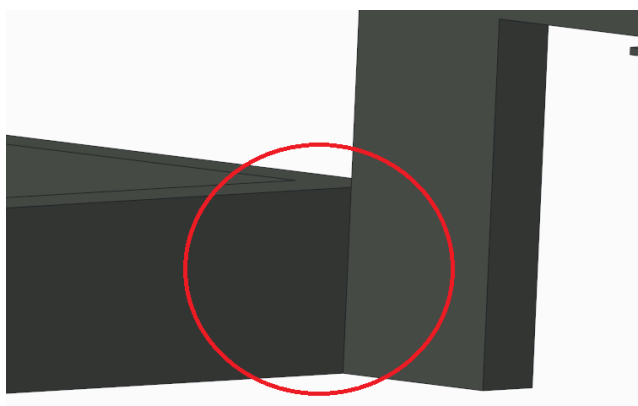
6.1 Modulaarisuus ja kokoonpantavuus

Yksi päätavoitteista tuotekehitysprosessissa oli pyrkiä löytämään tuotteen nykyiseen rakenteeseen vaihtoehtoja, joilla siitä saataisiin paremmin tuotantoon soveltuva. Huoltotelineen prototyypissä suurin osa rakenteen liitoksista oli toteutettu hitsaamalla, minkä seurauksena telineen rakenteen purkaminen ja uudelleen koaminen oli erittäin hankalaa. Tämän seurauksena tuote alkuperäisessä konstruktiossaan oli logistiikan kannalta katsottuna hankala, sillä kokoonpano purettunakin vie melko suuren tilan kuljettaessa tai varastoidessa.

Rakenteen modulaarisuuden kannalta telineen varsinainen runko ja venettä kannatteleva kehto olivat tältä kannalta katsottuna tärkeitä kehityskohteita niiden ollessa kokoonpanon ulkomitoiltaan suurimmat komponentit. Myös muiden kokoonpanon osien rakenteisiin pyrittiin löytämään kehitysvaihtoehtoja ja näin laskemaan tuotteen valmistuskustannuksia.

6.1.1 Rungon rakenteen modulointi

Rungon todettiin jo tuotekehitysprojeffin alussa olevan kriittisin kehityskohde modulaarisuuden näkökulmasta. Lujuusanalyysien perusteella runkoon olisi mahdollista tehdä rakenteen modulaarisuutta parantavia ratkaisuja. Helpoin ratkaisu rakenteen pienentämiseen olisi muuttaa rungon päätyjä yhdistävät välipalkit pulteilla liitettäväksi hitsausliitoksen sijasta. Palkkien liitoskohta on kuvassa 35.

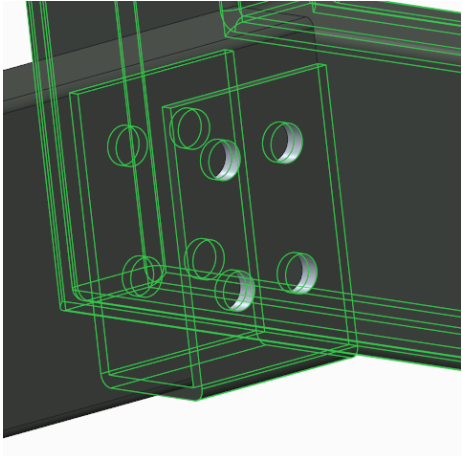
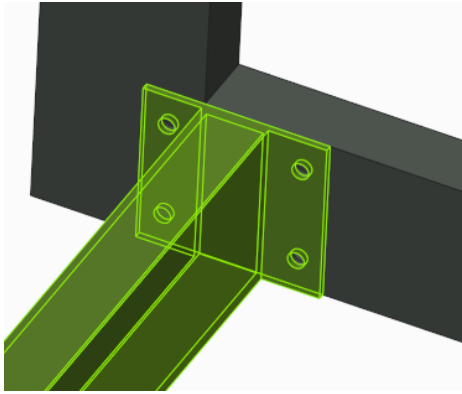
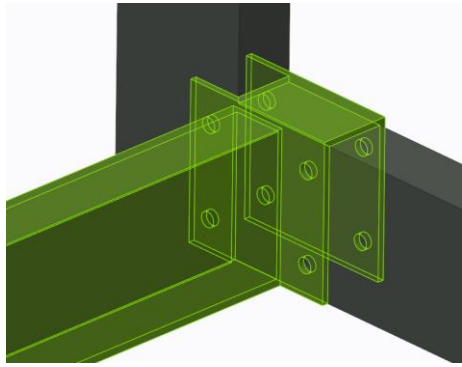


Kuva 35. Rungon päätypalkin ja välipalkin liitoksen sijainti

Tämän liitoksen muuttaminen palvelisi rakenteen pienenemisen lisäksi myös sitä, että tuotteesta valmistettaisiin useampaa erilaista kokoversiota. Yksinkertaisen ja symmetrisen rakenteensa vuoksi välipalkista olisi helppo valmistaa versioita useammassa eri mittakaavassa. Liitoksen muuttaminen helpottaisi myös osien asemointia suhteessa toisiinsa. Prototyypin mukaisesti toteutettu ratkaisu vaatisi jigin, jotta osien oikeanlainen asemointi saataisiin varmistettua komponentteja liittäessä.

Mahdollisia liitosvaihtoehtoja luonnosteltiin kokoonpanon 3D-mallissa ja niistä valittiin kokonaisuuden kannalta paras vaihtoehto toteutettavaksi. Vaihtoehtoisista ratkaisuvaihtoehtoja listattiin niiden hyvät ja huonot puolet (taulukko 2) valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta silmällä pitäen.

Taulukko 2. Rungon pääty- ja välipalkkien liitoksen ratkaisuvaihtoehdot

Vaihtoehtoinen toteutustapa	Hyvät puolet	Huonot puolet
	<ul style="list-style-type: none"> - yksinkertainen rakenne - vähäinen muutos peruskonstruktioon - helppo valmistettavuus - helppo asemointi kokonpanovaiheessa 	<ul style="list-style-type: none"> - vaatii runkoon hitsattavan kappaleen - hitsattavan osan paikoittaminen ja asemointi hitsausvaiheessa hankalaa
	<ul style="list-style-type: none"> - helppo ja nopea valmistaa - yhtenevä toteutus vertoisan kanssa - yksinkertainen rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> - asemointi vaatii kohdistamista - ei yhtä tukeva kuin muut vaihtoehdot - liitokseen tulee välystä, jos pultit löystyvät
	<ul style="list-style-type: none"> - helppo asemointi - tukeva lähes jokaiseen suuntaan - yhteneväisyys aisan toteutuksen kanssa - ei vaadi muita vaihtoehtoja enempää kiinnitystarvikkeita 	<ul style="list-style-type: none"> - muita vaihtoehtoja työläämpi valmistettava - useita asemoitava pintoja - vaatii tarkemmat valmistustoleranssit

Ensimmäisessä vaihtoehdossa rungon päätypalkkeihin hitsataan U-profiilit. Päätyjä yhdistävät välipalkit lasketaan näiden profiilien varaan ja sen jälkeen pultataan kiinni. Toisessa vaihtoehdossa välipalkkiin hitsataan aisan kiinnikkeen

kanssa vastaavanlainen laippa, joka liitetään pulteilla päätypalkkiin. Kolmannessa vaihtoehdossa tulee lisänä toiseen vaihtoehtoon vastaava laippa myös päätypalkin toiselle puolen. Lisäksi rakenteeseen tulee näitä laippoja yhdistävä välikannake.

Vaihtoehtojen hyvien ja huonojen puolien puntaroinnin jälkeen päädyttiin valitsemaan vaihtoehto 3 kokoonpantavan version prototyypin toteutukseen. Vaikka tämä vaihtoehto oli toteutukseltaan monimutkaisin ja vaatii tarkemmat toleranssit valmistettaessa, todettiin sen palvelevan paremmin muita rakenteelta toivottuja vaatimuksia, kuten helppoa kokoonpantavuutta ja rakenteen yleistä tukevuutta. Rakenne on huomattavasti jäməkämpä kuin toiset vaihtoehdot. Tämän lisäksi vaihtoehto 3 voidaan kiinnittää samalla määrällä pultteja kuin kaksi muuta vaihtoehtoa. Tämän ratkaisun katsottiin olevan myös turvallisuuden kannalta toimivin vaihtoehto.

Seuraavana mahdollisuuksia rungon konstruktion moduloimiseen tarkasteltiin myös muun rungon osalta. Vaihtoehtojen punnitsemisen jälkeen päädyttiin kuitenkin siihen johtopäätökseen, että runko muilta osin kannattaa jättää ennalleen. Varsinaisen runkokehikon rakenteen muuttaminen muilta osin olisi kuitenkin johtanut vain turhan monimutkaiseen lopputulokseen, joten tästä ideasta luovuttiin. Runkokehikkoon kiinnittyviin vinssitolppiin kuitenkin etsittiin vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa liitos, joka prototyypissä oli hitsaamalla toteutettu.

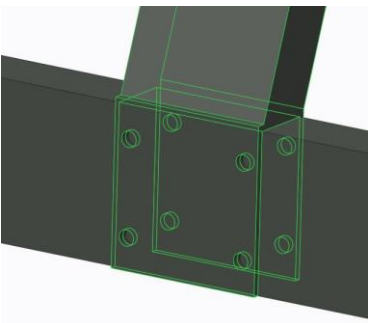
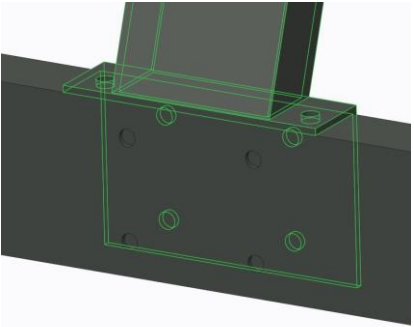
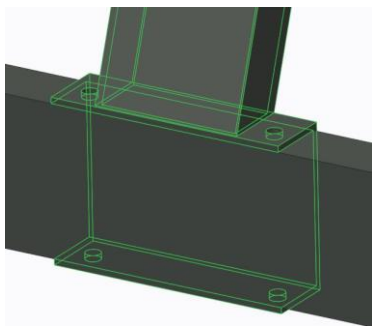
Telineen päätyjä yhdistäviin välipalkkeihin on rakenteessa liitettynä vinssitolpat, joihin kehoa liikuttavat vinssit kiinnittyvät (kuva 36). Välipalkkien lisäksi myös vinssitolppien hitsiliitoksen korvaaminen pultiliitoksella pienentäisi huomattavasti rakenteen kokoa purettuna.



Kuva 36. Vinssitolpan hitsausliitos prototyypissä

Rungon liitoksen tapaan vinssitolpan liitoksia ideoitiin useampia ja niistä valittiin kolme parhaiten vaatimukset täyttävää jatkotarkasteluun. Vaihtoehtoisia toteutustapoja vinssitolppien kiinnitykseen ja niiden hyviä ja huonoja puolia pohdittuna taulukossa 3.

Taulukko 3. Vinssitolpan vaihtoehtoisten liitostapojen vertailu

Vaihtoehtoinen toteutustapa	Hyvät puolet	Huonot puolet
	<ul style="list-style-type: none"> - helppo asemoida - tukeva - suhteellisen vähän kiinnitystarvikkeita 	<ul style="list-style-type: none"> - asemoitavien pintojen määrä suuri - hankalahko toteutus
	<ul style="list-style-type: none"> - asemoitavien pintojen vähyyys - helppo valmistettavuus - kiinnitys useammasta suunnasta tukevoittaa 	<ul style="list-style-type: none"> - paljon kiinnitystarvikkeita - mahdollinen tuen puute kuormituksen suunnassa - yleisesti epätukevampi kuin muut vaihtoehdot
	<ul style="list-style-type: none"> - kiinnitystarvikkeiden vähyyys - helppo asemoida - tukeva kuorman suunnassa 	<ul style="list-style-type: none"> - vaatii tarkemmat valmistustoleranssit

Vaihtoehdossa 1 vinssitolpan jatkeeksi hitsataan kaksi neliölappua, ja vinssitolppa kytketään läpipulteilla kiinni välipalkkiin. Vaihtoehdossa 2 taas tolppaan liitetään L-kirjaimen muotoinen profiili. Vaihtoehdossa 3 tolppa liitetään U-profiililla välipalkkiin.

Parhaaksi vaihtoehdoksi vinssitolpan liitokselle osoittautui vaihtoehto 3. Tähän ratkaisuvaihtoehtoon päädyttiin samoin perustein kuin rungon päädyn liitoksen kanssa. Ratkaisu on komponentin kuorman suunta huomioiden tukevin ratkaisu.

Rungon liitoksen tapaan myös vinssitolpan ratkaisuvaihtoehdossa liitokseen vaadittujen kiinnitystarvikkeiden määrä on minimaalinen suhteessa liitoksen jämykkyteen.

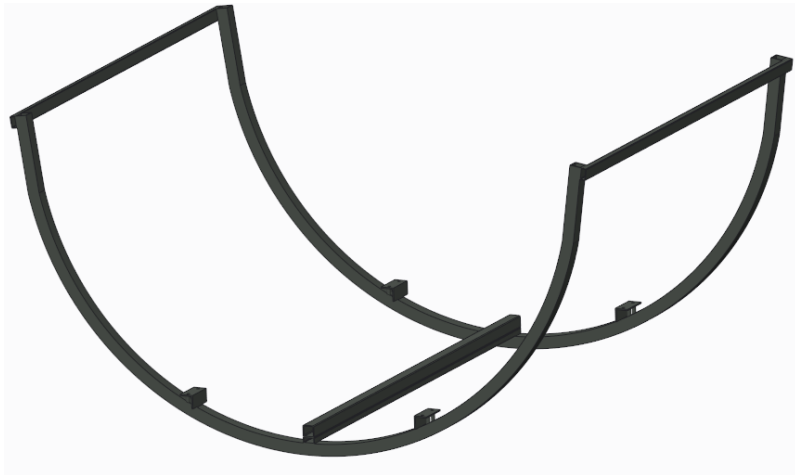
Liitosvaihtoehtojen hahmottelun lisäksi vinssitolppien rakenteeseen mietittiin myös muita kehitysideoita. Prototyypissä vinssitolpat ovat valmistettu putkipalkista, kooltaan 100x50x4 mm ja materiaalina on S355J2H. Laippa, johon vinssi on kiinnitetty, on valmistettu 4 mm paksusta levystä. Lujuusanalyysien pohjalta kyettiin toteamaan, että vinssitolpat olisi mahdollista valmistaa myös samankokoisesta putkipalkkiaihiosta kuin telineen runkokehikko, eli putkipalkista kooltaan 100x40x3 mm. Tällä tavalla rakenne saataisiin toteutettua mahdollisimman pitkälle samoja materiaaleja käyttäen, millä olisi positiivinen vaikutus sekä tuotteen valmistuskustannuksiin että rakenteen parempaan kokoonpantavuuteen.

Yhtenä kehitysvaihtoehtona vinssitolpan rakenteeseen hahmoteltiin myös ratkaisua, jossa tolpan orientaatiota käännettäisiin 90 asteella. Tämän havaittiin analyysien pohjalta vähentävän vinssitolppaan kohdistuvia jännityksiä. Tältä kannalta katsottuna tämä olisi pätevä vaihtoehto, mikäli vinssitolpan kykyä vastaanottaa kuormitusta haluttaisiin kasvattaa tulevaisuudessa.

Kokoonpantavan version prototyypin toteutukseen valitut ratkaisuvaihtoehdot noudattelivat pitkälti DFMA-menetelmän mukaisia suunnitteluperiaatteita. Toisistaan poikkeavien osien määrä kokoonpanossa pystyttiin pitämään vähäisenä tai niitä saatiin jopa vähennettyä entisestään. Osien paikalleen tuomista kyettiin helpottamaan ja niiden yhteensopivuutta saatiin parannettua. Näin tehtyjen muutosten voitiin todeta olleen onnistuneita ja tarkoituksenmukaisia.

6.1.2 Kehdon rakenteen modulointi

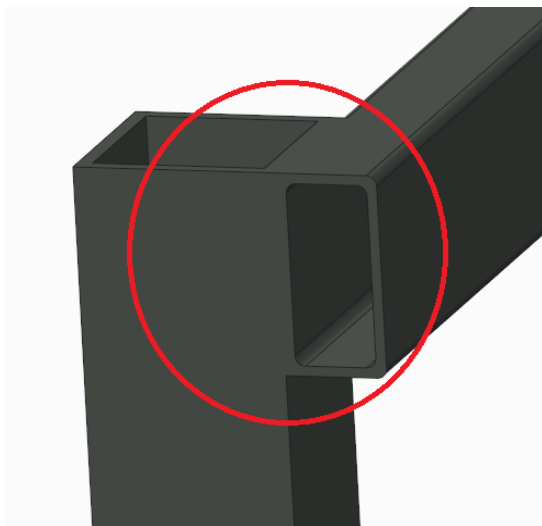
FEM-analyysin tulosten perusteella ei kehdon rakenteeseen venetelojen kiinnityskohtia lukuun ottamatta kohdistu suuria määriä jännityksiä. Tämän tiedon pohjalta pystyttiin myös kehdon rakenteeseen miettimään melko vapaamuotoisesti mahdollisia moduloitavia kohteita. Kehdon rakenteen 3D-malli on kuvassa 37.



Kuva 37. Kehdon lähtötilanteen konstruktion 3D-malli

Kehdon modulaarisuuden lisäämiseen hahmoteltiin kahta erilaista lähestymistapaa. Vaihtoehtoina oli joko puolittaa kehto eli jakaa se kahteen osaan tai pilkkoa rakenne useampaan komponenttiin. Lopulta päädyttiin vaihtoehtoon, jossa rakenne jaetaan useampaan kuin kahteen osaan, sillä rakenne saadaan näin huomattavasti kompaktimmaksi purettaessa.

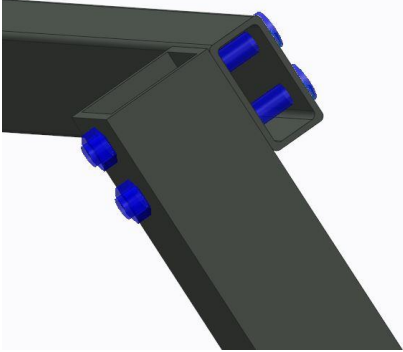

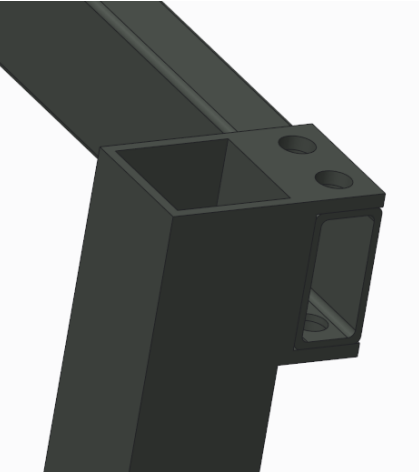
Rungon tapaan myös kehdossa helpoin moduloitava kohde oli päätykaaria yhdistävä yläpalkki. Palkit ovat prototyyppituotteessa kiinnitettynä hitsausliitoksella (kuva 38). Nämä liitokset olisivat melko helposti korvattavissa yksinkertaisella pulttiliitoksella.



Kuva 38. Kehdon päätykaaren ja yläpalkin hitsiliitoksen sijainti

Rungon tapaan myös kehdon liitoksiin laadittiin vaihtoehtoisia toteutustapoja (taulukko 4). Kaikista hahmotelluista vaihtoehdoista valittiin kolme potentiaalisinta vaihtoehtoa jatkotarkasteluun. Näistä vaihtoehdoista listattiin hyviä ja huonoja puolia, ja näiden pohjalta valittiin toimivimmat ratkaisut toteutukseen.

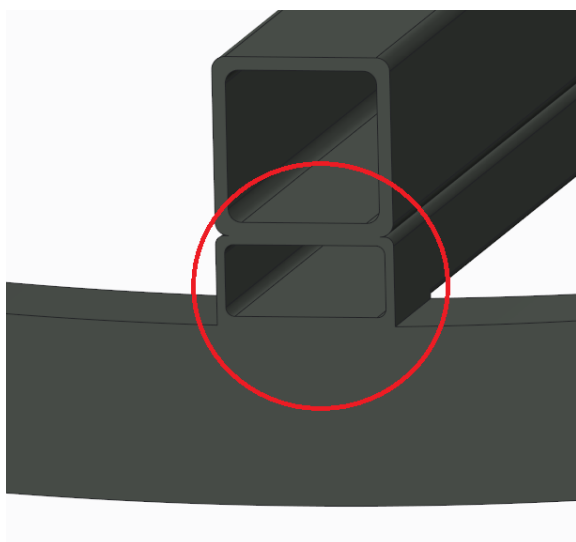
Taulukko 4. Kehdon yläpalkin rakenteen toteutusvaihtoehdot

Vaihtoehtoinen toteutustapa	Hyvät puolet	Huonot puolet
	<ul style="list-style-type: none"> - yksinkertainen toteutus - ei vaadi suuria muutoksia alkuperäiseen rakenteeseen 	<ul style="list-style-type: none"> - asemoinnin hankaluus - mahdollisesti hutera - tuennan vähäisyys
	<ul style="list-style-type: none"> - helpoin aseointi - tukeva veneen suuntaisella akselilla - helpoin valmistettava 	<ul style="list-style-type: none"> - vaatii tarkat toleranssit
	<ul style="list-style-type: none"> - helpompi asemoida kuin vaihtoehto 1 - tukeva pystysuunnassa 	<ul style="list-style-type: none"> - hankalampi valmistettava - vaatii tarkat toleranssit

Ensimmäinen ratkaisuvaihtoehto on toteutuksista yksinkertaisin. Siinä komponentit liitetään toisiinsa yksinkertaisella pulttiliitoksella. Vaihtoehdossa 2 yläpalkkiin liitetään laput, joiden avulla osat asemoidaan toisiinsa. Kolmannessa ratkaisuvaihtoehdossa vastaavat laput liitetään kaariin.

Kehdon yläpalkkien ja kaarien liitokseen päädyttiin valitsemaan vaihtoehto 2. Vaihtoehtoon päädyttiin siksi, että sen koettiin olevan paras kompromissi rakenteen tukevuuden ja helpon valmistettavuuden välillä. Muiden vaihtoehtojen todettiin olevan jommastakummasta näkökulmasta vajavaisia.

Seuraavana selvitettiin muun rakenteen modulointimahdollisuuksia, minkä seurauksena todettiin, että kaarien yläpalkkien lisäksi myös niitä yhdistävä keskipalkki kannattaisi moduloida. Tällöin yläpalkkien modulointi rakenteen pienentämiseksi olisi tarkoituksenmukaisempaa. Lujuusanalyysin tulosten pohjalta myös keskipalkin hitsausliitos (kuva 39) olisi mahdollista muuttaa pulttiliitokseksi, sillä siihen ei kohdistu erityisesti jännityksiä.



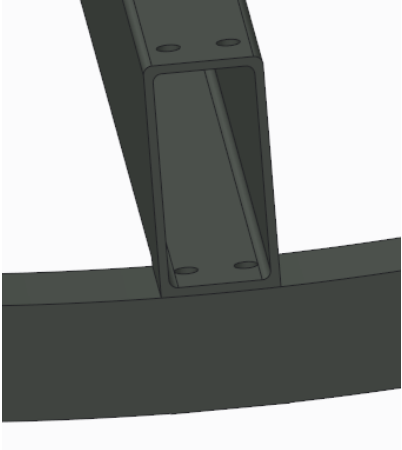
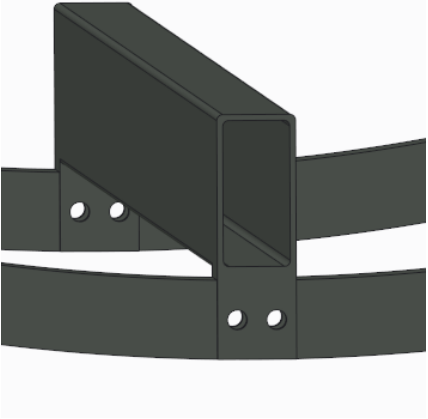

Kuva 39. Kehdon päätykaarien ja keskipalkin hitsausliitoksen sijainti

Prototyypissä kaaria yhdistävä keskipalkki on valmistettu kahdesta erikokoisesta putkipalkista hitsaamalla. Tämän kaltaisen rakenteen havaittiin olevan kuitenkin sekä valmistettavuuden että rakenteen modulaarisuuden kannalta epätoimiva ratkaisu. Vaihtoehtoisena ratkaisuna kahdesta palkista liittämällä tehty palkki olisi mahdollista korvata 80x40x3 mm putkipalkilla. Näin rakenteen valmistamiseen

käytettyjen materiaalien määrä saataisiin mahdollisimman vähäiseksi. Lisäksi valmistusprosessi nopeutuu yhden työvaiheen pudotessa pois.

Kehdon keskipalkan liitoksiin laadittiin vaihtoehtoisia toteutustapoja (taulukko 5). Tarkempaan käsittelyyn valittiin kolme potentiaalisimmaksi osoittautunutta vaihtoehtoa. Näistä vaihtoehtoista koostettiin hyviä ja huonoja puolia, joiden pohjalta voitiin valita toimivimmat ratkaisut toteutukseen.

Taulukko 5. Kehdon keskipalkin modulaarisen rakenteen kehitysvaihtoehdot

Vaihtoehtoinen toteutustapa	Hyvät puolet	Huonot puolet
	<ul style="list-style-type: none"> - yksinkertainen toteutus - ei vaadi suuria muutoksia alkuperäiseen rakenteeseen 	<ul style="list-style-type: none"> - asemoinnin hankaluus - mahdollisesti hutera - tuennan vähäisyys - vaatii niittimutterien tai hitsattujen mutterien käytön
	<ul style="list-style-type: none"> - helpoin aseointi - tukeva veneen suuntaisella akselilla 	<ul style="list-style-type: none"> - hankalampi valmistettava
	<ul style="list-style-type: none"> - tukeva kehdon pyörimisakselin suunnassa - helpompi asemoitava kuin vaihtoehto 1 	<ul style="list-style-type: none"> - ei yhtä helposti asemoitava kuin vaihtoehto 2 - tarkemmat valmistustoleranssit

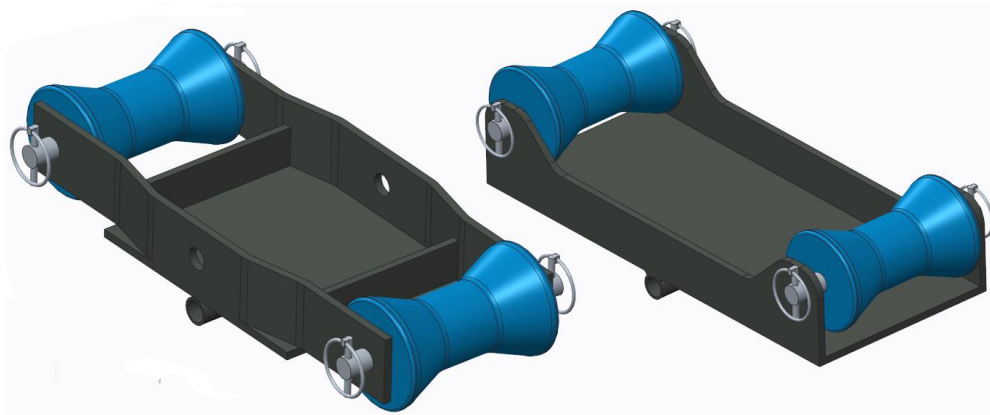
Ensimmäisessä vaihtoehdossa liitos toteutetaan yksinkertaisesti pelkillä läpipulteilla. Toisessa vaihtoehdossa keskipalkkiin liitetään kokoonpantaessa asemointia helpottamaan laput, jonka jälkeen osat pultataan toisiinsa. Kolmannessa vastaavat osat liitetään kaariosaan.

Vaihtoehdoista parhaaksi kokonaisuuden kannalta osoittautui vaihtoehto 2. Tämä ratkaisu todettiin rakenteen valmistettavuuden kannalta toimivimmaksi ja se noudattelee rakenteen suunnittelussa käytettyjä periaatteita valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden helppoudesta.

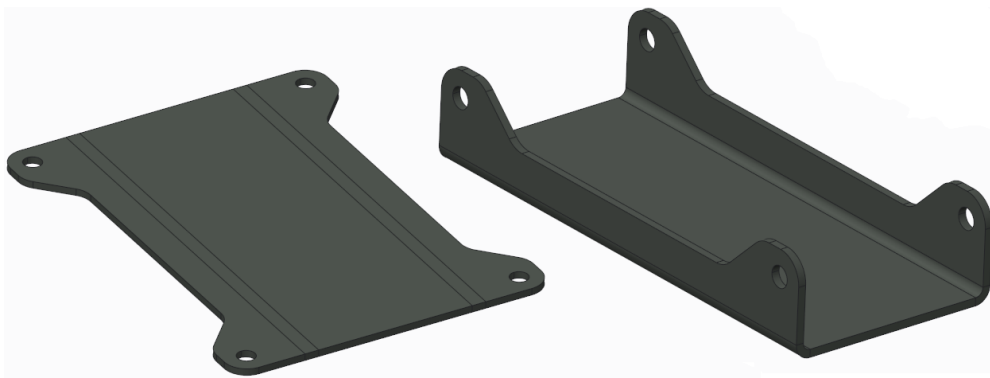
Ongelmaksi kehdon rakenteen modulaarisuuden lisäämisessä saattaa osoittautua rakenteen muuttuminen epävarmemmaksi korvattaessa hitsiliitoksia pulttiliitoksilla tai vastaavilla vaihtoehtoisilla kiinnitystavoilla. Tuotteen vaatimuslistaa laatiessa asetettiin rakenteen turvallisuus kiinteäksi vaatimukseksi ja tähän peilaten kehdon liitosten muuttaminen saattaisi johtaa turvallisuusnäkökulman laiminlyöntiin. Muutosvaihtoehtoja ideoidessa pyrittiin huomioimaan tämä näkökohta mahdollisimman hyvin. Näistä muutosten aiheuttamista vaikutuksista rakenteen turvallisuuteen ei kuitenkaan voida saada täyttä varmuutta ennen kuin modulaarisesta versiosta on valmistettu prototyyppiversio.

6.1.3 Keinun rakenteen modulaarisuus

Myös keinun rakenteeseen mietittiin vaihtoehtoisia toteutustapoja. Keskusteluissa nousi esiin vaihtoehtona keinun rakenteen yksinkertaistaminen, sillä prototyyppissä keinu on toteutettu neljästä osasta hitsaamalla. Yhtenä vaihtoehtona esiin nousi keinun valmistaminen levystä leikkaamalla ja särmäämällä. Tällä toteutustavalla osan rakennetta saataisiin yksinkertaistettua. Lisäksi geometrian muutoksella saataisiin mahdollisesti kasvatettua osan jäykkyyttä ja lisättyä sen kantavuutta. Tällöin uutta kehitysversiota voitaisiin hyödyntää suuremman veneen versiossa. Keinun uudeksi kehitysversioksi hahmoteltiin erilaisia vaihtoehtoja, joista valittiin potentiaalisin ratkaisu jatkojalostukseen. Prototyyppin mukainen versio ja uusi kehitysversio keinusta ovat kuvassa 40 ja uuden keinun valmistusvaiheet kuvassa 41.

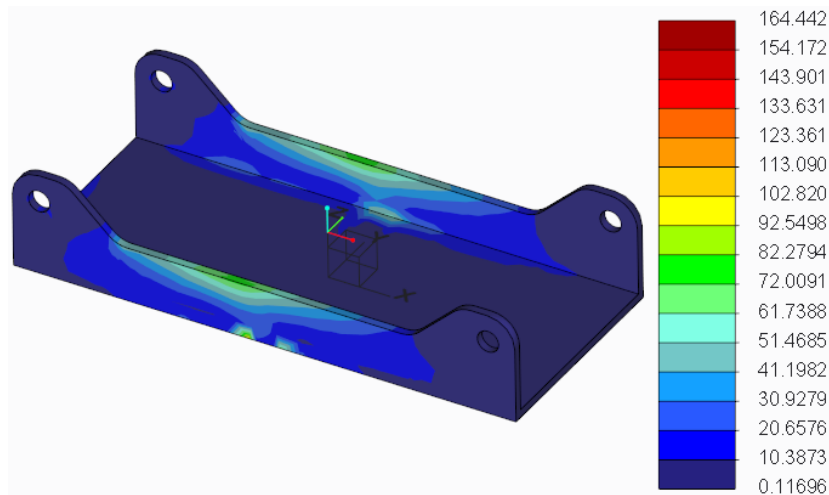


Kuva 40. Alkuperäisen keinun ja uuden keinun toteutukset



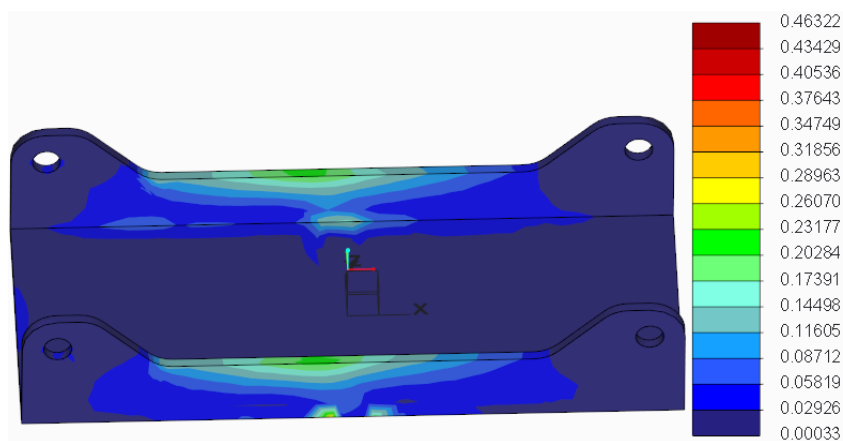
Kuva 41. Uuden keinun valmistusvaiheet

Keinun uudelle kehitysversiolle ajettiin FEM-analyysi siitä syystä, että sen rakenne poikkesi melko suuresti prototyypin mukaisesta toteutuksesta. Lujuusanalyysissä kuormana oli sama 5000 N kuorma kuin muidenkin komponenttien analyyseissa. Tuenta asetettiin kappaleen pohjaan siten, että se vastaa todellista tilannetta, kun keinu on kiinnitettyä runkoon. Kappaleeseen kohdistuvat jännitykset ovat esitettyinä kuvassa 42.



Kuva 42. Keinun von Mises -vertailujännitykset megapascalina

Keinuun kohdistui suurimmillaan noin 164 MPa jännitys. Suurin jännityskeskittymä kappaleessa tuli kappaleen pohjaan, lähelle kohtaa, jossa pohjaan tuleva sarana liittyy keinun pohjaan. Materiaalina keinussa oli S355-rakenneteräs ja levynpaksuutena 6 mm. Muotoilun kanssa kokeiltiin useampaa erilaista versioita, joista nykyinen osoittautui lujimmaksi. Analyysistä saatiin rakenteelle myös failure index (kuva 43).



Kuva 43. Keinun failure index

Muiden komponenttien tavoin keinun uudelle kehitysversionalle laskettiin kantavuus failure indexin avulla. Kantavuus saatiin selville käyttämällä samaa kaavaa kuin muidenkin osien kanssa:

$$Kantavuus = \frac{1}{0.4632} \times 5000 \text{ N} \approx 1100 \text{ kg}$$

Keinulle saatiin teoreettiseksi kantavuudeksi 1100 kg. Prototyypissä olleella versiolla se oli vastaavasti 800 kilogrammaa. Lopputulosta voidaan siis pitää erinomaisena, koska keinun kantavuutta saatiin kasvatettua huomattavasti. Lisäksi se täyttää vaatimusluettelossa asetetun vaatimuksen vähintään 1000 kilogramman kantavuudesta. Näin ollen keinun uutta versiota voidaan huoletta soveltaa suurennetussa versiossa veneenhuoltotelineestä.

6.2 Suuremman kokoluokan versio ja muut kehitysvaihtoehdot

Yksi vaatimuslistassa asetetuista tavoitteista oli rakenteen muokkaaminen sellaiseksi, että se voitaisiin käyttää useammalle eri venekoolle. Telineen peruskonstruktion mahdollistaa sen, että suuremman venekoon mukaan mitoitettua telinettä voidaan ilman toimintaperiaatteeseen tehtäviä suurempia muutoksia hyödyntää myös pienemmän kokoluokan veneen kanssa. Telineen rungon todettiin jo FEM-analyysissä tehdessä olevan kantavuudeltaan täysin riittävä suurennettuun versioon, eikä siihen näin ollen ollut tarvetta etsiä uusia ratkaisuja suurempia ulkomitoja lukuun ottamatta. Prototyypin mukaisen kehdon toteutuksen todettiin sen sijaan olevan suuremman kokoluokan telineeseen joiltain osin riittämätön. Tästä syystä kehdon kokoonpanoon ja rakenteeseen pyrittiin löytämään erilaisia toteutustapoja, jotka vastaisivat paremmin suuremman venekoon asettamia vaatimuksia. Näitä olivat yleisesti jäməkämpä rakenne käyttötilanteessa, suuremmat ulkomitat ja kestävämmät komponentit.

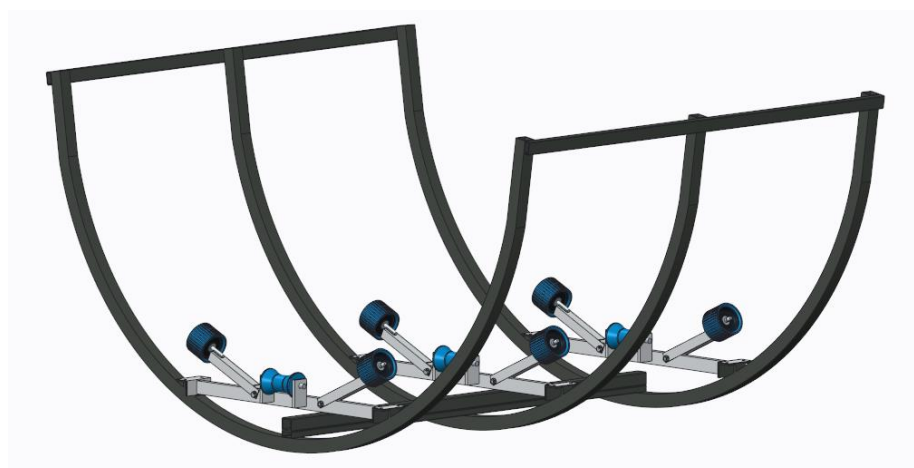
Kun halutaan kasvattaa kehdon kantavuutta, olisi helpoin tapa valmistaa se vastaavasti myötörajaltaan kestävämmästä materiaalista, mikäli tämä on vain valmistuskustannusten ja materiaalin saatavuuden puolesta mahdollista. Lisäksi muuttamalla venetelojen kiinnityspisteiden rakennetta saataisiin kehdon kestävyttä kasvatettua.

Prototyypin mukaisen kehdon mittakaava ei venekoon kasvaessa ole enää riittävä turvalliseen veneen käsittelyyn telineessä. Tähän ongelmaan pyrittiin ideoi-

maan mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja, joilla kehto saataisiin paremmin soveltu-
vaksi suuremmalle veneelle. Vaihtoehtoisena ratkaisuna kehdon keskiosaan olisi
mahdollista lisätä vastaavanlainen kaari kuin kehdon päissä. Kun tähän keskitu-
keen asennettaisiin päätykaarien tapaan venetela, mahdollistuisi se, että veneen-
huoltotelineen kokoonpanossa voitaisiin jopa luopua kokonaan prototyypissä ol-
leesta liu'usta. Keskikaari veneteloineen olisi täysin vastaava osa kuin
päätykaaretkin ja näin ollen kokoonpanoon tulevien, toisistaan poikkeavien osien
määrää saataisiin vähennettyä. Tämän myötä modulaarisuus rakenteessa li-
sääntyisi. Keskituki myös vähentäisi päätykaariin kohdistuvaa kuormaa ja tuke-
voittaisi rakennetta.

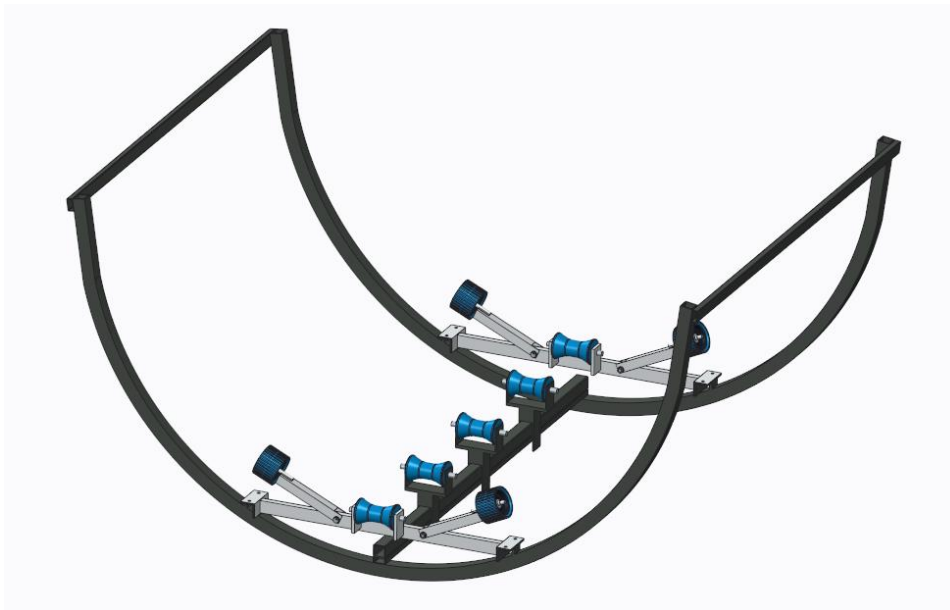
Edellä mainitussa vaihtoehdossa kehdon liikuttamismekanismeja voitaisiin mah-
dollisesti muuttaa siten, että prototyypin mukainen ketjuilla toteutettu mekanismi
poistettaisiin. Vinssin vaijeri kiinnitettäisiin tässä tapauksessa keskikaareen liitet-
tävään silmukkaan tai muuhun vastaavaan toteutukseen. Tähän vaihtoehtoon
voitaisiin tarpeen niin vaatiessa lisätä myös prototyypin mukaisia liukuja, mikäli
toteutus pelkästään veneteloa käyttäen todettaisiin riittämättömäksi.

Lisätyllä venetelalla veneen lastaamisprosessi telineeseen muuttuisi myös turval-
lisemmaksi, sillä keskelle kehtoa tuleva venetela tukisi venettä lastatessa parem-
min liukuun verrattuna. Näin ollen riski tapaturmille lastatessa venettä telinee-
seen pienenisi huomattavasti. Tämä olisi tärkeä ominaisuus etenkin, kun
kyseessä on massaltaan suurempi vene. Kehto keskikaaren ja lisätyn venetelan
kanssa on esitettyä kuvassa 44.



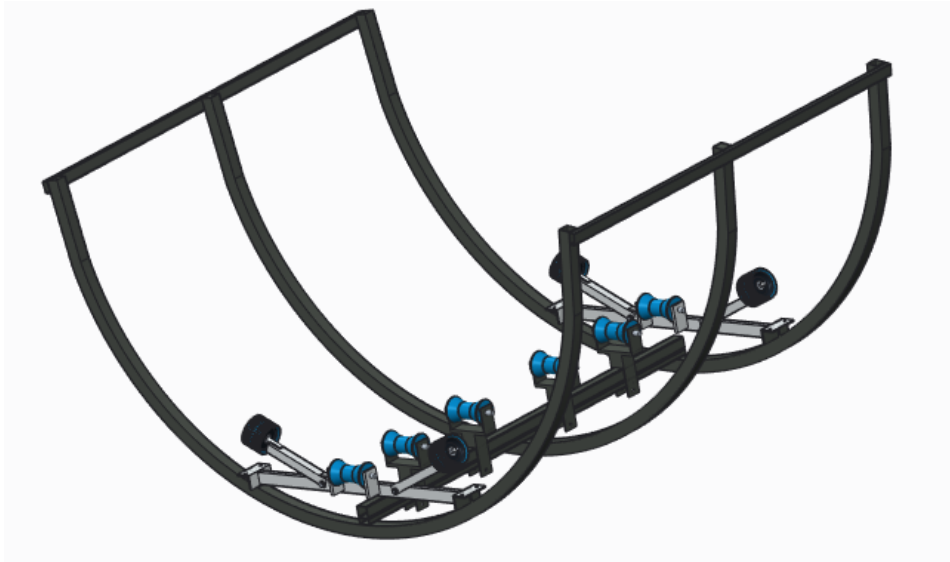
Kuva 44. Vaihtoehtoinen toteutustapa kehdolle lisätyllä keskituella ja venetelalla

Mahdollinen toteutustapa olisi myös jättää kehdon alkuperäinen rakenne ennalleen lukuun ottamatta kasvaneita mittasuhteita sekä lisätä kokoonpanon liukujen määrää. Tällä saataisiin helposti lisättyä veneen tuennan määrää ja jaettua sitä useammalle tukipisteelle, jolloin yksittäisiin komponentteihin kohdistuva kuorma pienenesi. Lisäksi laitteen käyttäminen lastaustilanteessa helpottuisi. Etuna tässä ratkaisussa olisi myös se, että siinä ei olisi keskikaarta haittaamassa telineen varsinaisen käyttötarkoituksen toteuttamista, eli veneen kunnossapitotoimia. Kehto useammalla liu'ulla varustettuna on esitettyä kuvassa 45.



Kuva 45. Vaihtoehtoinen toteutustapa kehdolle, jossa liukujen määrää kokoonpanossa lisätty

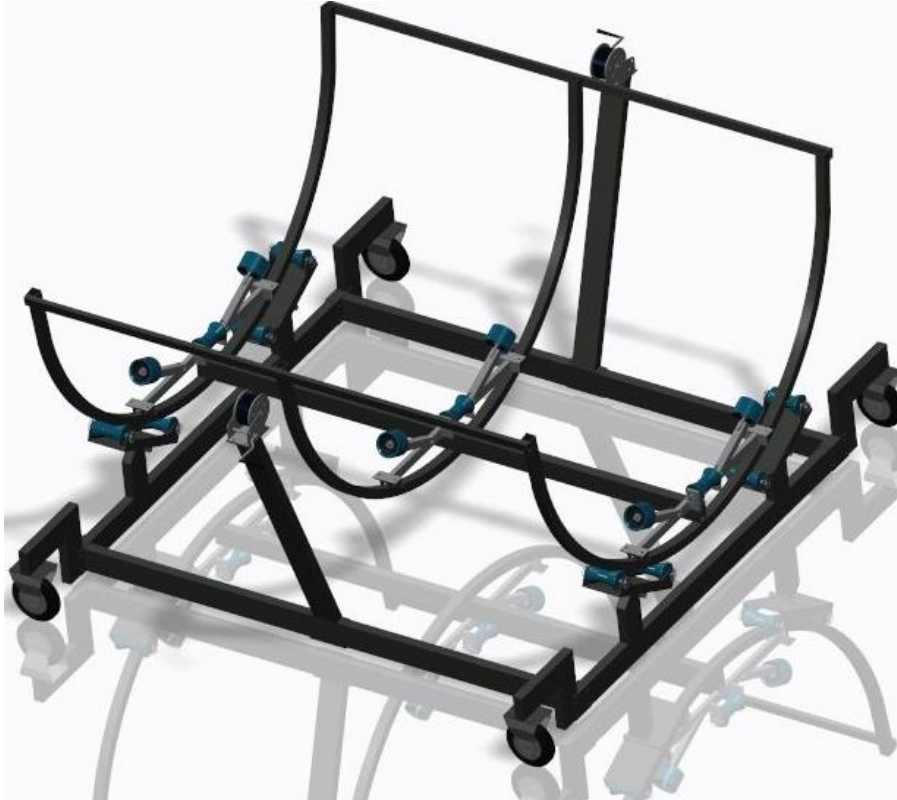
Kolmantena vaihtoehtona olisi kahden aiemman vaihtoehdon yhdistäminen, jolloin kehto valmistettaisiin siten, että siihen liitettäisiin keskikaari ilman venetelaa ja veneen tuentaa parannettaisiin lisäämällä liukujen määrää kaaria yhdistävällä keskipalkilla. Tällöin kaari toimisi rakennetta vahvistavana elementtinä ja venetelejen kantamaa kuormaa vähennettäisiin useampaa liukua hyödyntämällä. Kolmas vaihtoehtoinen toteutus on esitettyä kuvassa 46.



Kuva 46. Kehdon toteutusvaihtoehto, jossa lisätty keskikaari ilman venetelaa

Toteutuskelpoisimmaksi näistä ideoista osoittautui vaihtoehto, jossa kehtoon on lisätty keskikaari ja kolmas venetela. Tämän katsottiin vastaavan parhaiten telineelle asetettuja vaatimuksia. Rakenne kyettiin pitämään turvallisena ja käyttäjävälisenä, ja lisäksi kehdon rakennetta saatiin yleisesti tukevammaksi. Kehdon kokoonpanoa voisi kuitenkin muuttaa modulaarisen rakenteen ansiosta. Tällöin yksittäisiä osia voisi vaihtaa käyttötarkoituksen mukaan.

Näiden kehitysvaihtoehtojen pohjalta telineestä mallinnettiin myös suuremmalle venekoolle soveltuva, modulaarisuudeltaan parannettu versio. Tähän versioon on sisällytetty kaikki kehitysvaihtoehdot, joita tuotekehitysprosessin tuloksena saatiin. Näitä olivat telineen rakenteen modulaarisuuden parantamiseen tähdänneet liitosmuutokset sekä keinun kehitysversio ja uudenlainen kehdon kokoonpano. Suuremman version 3D-malli on kuvassa 47.



Kuva 47. 3D-malli suuremmasta versiosta

Rungon mittakaavaa kasvatettiin siten, että se pystyy turvallisesti kannattelemaan suurempaa venettä. Rungon päätypalkkien etäisyyttä toisistaan kasvatettiin 47 prosenttiyksikön verran alkuperäisestä, ja kehdon pituus kasvoi samassa suhteessa. Osille ajettiin lujuusanalyysit 1000 kilogramman venettä vastaavalla kuormalla positiivisin tuloksin. Mikäli kantavuutta haluttaisiin entisestään lisätä, olisi suositeltavaa valmistaa rungon välipalkit sekä vinssitolpat lujemmasta 100x50x4 mm putkipalkista, materiaaliltaan S355. Myös kehdon osien materiaalit olisi syytä vaihtaa S355-rakenneteräkseseen. Lisäksi suuremman version kokoonpanossa valmisosat, eli venetelat ja kölirullat vaihdetaan kantavuudeltaan suurempiin versioihin.

Myös muita kuin rakenteen modulaarisuuteen liittyviä kehityskohteita ilmeni tuotekehitysprosessin aikana. Tällaisia olivat esimerkiksi materiaalin valintaan liittyvät kysymykset. Lujuusanalyysien perusteella varsinkin rungon varmuus on moninkertainen verrattuna todellisen käyttötilanteen vaatimaan keston. Mikäli rakennetta haluttaisiin optimoida kustannustehokkaampaan suuntaan, voitaisiin rungossa käyttää materiaalia, jonka myötöraja on matalampi. Vastaavasti kehdon voisi valmistaa lujuudeltaan kestävämmästä materiaalista, kuten S275- tai S355-

rakenneteräksestä, jolloin telineen kantavuutta olisi mahdollista kasvattaa edelleen.

7 Rakeneratkaisujen viimeistely

Viimeistelyvaiheessa veneenhuoltotelineelle määriteltiin sen lopullinen kokoonpanorakenne aiemmissa vaiheissa kehitettyjen ratkaisuvaihtoehtojen pohjalta. Tämän jälkeen vuorossa oli valmistuksen kannalta kriittisten tietojen laatiminen ja vahvistaminen. Näihin kuuluivat käytettävät materiaalit, lopulliset mitoitukset ja niihin sovellettavat toleranssit. Näiden pohjalta tuotteesta laadittiin tekninen tiedosto, johon sisältyivät 3D-mallit tuotteesta ja niiden pohjalta laaditut valmistus- ja kokoonpanopiirustukset. 3D-mallit ja valmistuspiirustukset laadittiin useammasta eri tuotevariaatiosta. Nämä olivat prototyypin mukainen versio, modulaarisuudeltaan parannettu versio ja mittakaavaltaan suurennettu versio, jossa oli käytössä myös tuotekehitysprosessin tuloksena saadut uudet modulaarisuutta parantavat ratkaisuvaihtoehdot

7.1 Materiaalien määrittely

Laitteessa käytettyihin materiaaleihin ei tehty suuria muutoksia tämän tuotekehitysprojeffin puitteissa. Rungon materiaalina päätettiin pitää prototyypissäkin käytössä ollut S355-rakenneteräs, sillä tämän materiaalin koettiin täyttävän kaikki ne kriteerit, joita rungon materiaalin valinnalle oli etukäteen asetettu. Myös kehdon materiaali päätettiin pitää samana kuin prototyypissä, sillä se todettiin riittävän tarkoituksenmukaiseksi. Kaiken kaikkiaan tuote päätettiin tämän tuotekehitysprosessin puitteissa pitää materiaalivalinnoiltaan alkuperäisen mukaisena lukuun ottamatta kehoa, jonka rakenne suunniteltiin osittain uusiksi. Samalla kehdon materiaalivalintaa muutettiin tarkoituksenmukaisemmaksi. Suuremman venekoon versiossa materiaalivalintaa muutettiin siten, että koko rakenne muutettiin valmistettavaksi rakenneteräksestä S355. Tällä varmistettiin suuremman version riittävä lujuus ja turvallisuus

7.2 Mitoitus ja toleranssit

Mitoituksessa käytettäviä toleransseja valittaessa päädyttiin standardin ISO-2768-m mukaisiin yleistoleransseihin. Tähän ratkaisuun päädyttiin siitä syystä, että laitteen rakenne on melko suurpiirteinen, jolloin pienet heitot mitoituksessa eivät vaikuta ratkaisevasti laitteen toimivuuteen. Tuotteessa on myös vähäinen määrä mekaanisia osia, millä oli looginen vaikutus toleranssien valintaan. Tämä mahdollisti suhteellisen löyhien valmistustoleranssien käytön tuotteen mitoituksessa. ISO 2768 -standardin mukaiset toleranssitaulukot ovat esitettyinä liitteessä 2.

7.3 Piirustukset

Tuotteesta laadittiin piirustukset alkuperäisestä, prototyypin mukaisesta kokoonpanosta ja kehitysversiosta, jossa tuotteen rakenteeseen oli tehty modulaarisuutta parantavia ratkaisuja, sekä suuremman venekoon versiosta. Jokaisesta versiosta laadittiin valmistuspiirustukset ja kokoonpanopiirustukset. Piirustuksia laitteesta syntyi yhteensä 32 kappaletta. Kokoonpanopiirustukset kolmesta erilaisesta tuotevariaatiosta ovat liitteissä 3,4 ja 5. Piirustuksista on piilotettu mitat tuotesalaisuuden varmistamiseksi.

8 Pohdinta ja jatkokehitys

Aihe opinnäytetyöhön saatiin syksyllä 2019. Varsinaiseen työn toteutukseen päästiin kuitenkin vasta vuoden 2020 alussa. Tavoitteena oli saada projekti päätökseen saman vuoden touko-kesäkuuhun mennessä. Projektille asetetut tavoitteet saavutettiin hyvissä ajoin aikataulun puitteissa.

Lisäksi ehdittiin pohtimaan myös sitä, miten tuotetta olisi mahdollista vielä tulevaisuudessa kehittää. Näitä kehitysvaihtoehtoja olisivat ainakin mahdollinen toimintaperiaatteen kehittäminen ja esimerkiksi asiakaskokemusten kautta tuleva

tarve tehdä suurempia muutoksia veneenhuoltotelineen peruskonstruktioon. Tuotteen valmistuksessa käytettäviä menetelmiä voitaisiin myös kehittää. Lisäksi varsinaista rakenteen kehitystyötä olisi mahdollista jatkaa tekemällä tarkempia ja syväluotaavampia lujuusanalyyssejä sekä määrittelemällä näiden perusteella tarkemmin kiinnitysmateriaalien mitoitus. Laitteesta voitaisiin kehittää myös useampi erilainen variaatio tuotantoon, mikäli sellaisille ilmenee tulevaisuudessa kysyntää. Valitusta tuotantostrategiasta riippuen tulevaisuudessa kyseeseen voisi tulla kokoonpano- ja käyttöohjeiden laadinta asiakkaille. Myös tuotekehityksestä kustannusarvion tekeminen ja tuotteen kuluttajahinnan määrittäminen olisi looginen askel tuotteen lanseerausprosessissa.

Työn tekeminen itsessään oli hyvin opettavaista. Työtä tehdessä sai paljon ymmärrystä siitä, millaista tuotekehitysprojektien toteutus voi olla. Koska projektin edistämiseen annettiin hyvin pitkälti vapaat kädet, tuli siinä opittua hyvin se, kuinka tuotekehitysprojekteja ja -prosesseja suunnitellaan ja laaditaan ja kuinka projektia kannattaa aikatauluttaa. Lisäksi oppia tuli siitä, kuinka olemassa olevia tuotekehitysprosessimalleja ja suunnitteluperiaatteita kannattaa hyödyntää ja soveltaa tämänkaltaisia projekteja läpi viedessä.

Opinnäytetyön raportin teoriaosuus jäi osittain hieman ohuehkoksi suhteessa muun työn laajuuteen. Aiheeseen liittyvää spesifiä teoriapohjaa ei oikeastaan ollut sen vuoksi, että työn aiheena ollut tuote oli kokonaan uusi keksintö. Näin ollen työn teoriaosuudessa käsiteltiin lähinnä tuotekehitystä ja työssä käytettyjä prosessimalleja ja menetelmiä yleisellä tasolla.

Opinnäytetyön tekeminen parityönä toi molemmille paljon oppia tiimityöskentelystä. Erityisesti oppia tuli siitä, kuinka tehtäviä kannattaa jakaa työryhmässä siten, että tekijät pääsevät hyödyntämään parhainta osaamistaan. Toisekseen tällaisessa tuotekehitysprojektissa tiiminä työskentelyn todettiin olevan erityisen toimivaa, sillä uusia kehitysideoita laadittaessa asioihin oli useampi kuin yksi näkökulma. Näin saatiin sellaisia ideoita ja ajatuksia, jotka olisivat muuten saattaneet jäädä syntymättä. Työn toteuttaminen parityönä helpotti myös prosessin läpivientiä, sillä työtä tehdessä ilmenneitä vastoinkäymisiä ja ongelmia oli huomattavasti helpompaa ratkoa kahdestaan. Lisäksi toisella saattoi olla jostain

asiasta sellaista tietotaitoa, jonka avulla ongelmasta päästiin eroon. Yksin tehdessä tällaisista probleemista olisi saattanut pahimmillaan tulla melkoisia kompastuskiviä projektin sujuvan läpiviennin kannalta.

Kaiken kaikkiaan työ ja toimeksianto olivat ammatillisen kasvun ja kehityksen kannalta toimivia. Työssä päästiin soveltamaan opinnoissa kertynyttä osaamista ja syventämään sitä monelta osin. Koemme, että tämä työ toi meille paljon osaamista siitä, kuinka tuotekehitystoimintaa ja tuotesuunnittelua toteutetaan.

Lähteet

- Campbell, P. 2019. Product line pricing examples, definitions, and strategies. ProfitWell. <https://www.profitwell.com/blog/product-line-pricing>. 18.2.2020.
- Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto.
- Metallista Oy. 2020a. Mittatilaustyöt. Metallista Oy. <https://metallistaoy.fi/mittatilaustyot>. 2.2.2020.
- Metallista Oy. 2020b. Kunnossapito. Metallista Oy. <https://metallistaoy.fi/kunnossapitopalvelu>. 2.2.2020.
- Metallista Oy. 2020c. Sopimusvalmistus / Alihankinta. Metallista Oy. <https://metallistaoy.fi/sopimusvalmistus>. 2.2.2020.
- Metallista Oy. 2020d. Metallimyynti. Metallista Oy. <https://metallistaoy.fi/metallimyynti>. 2.2.2020.
- Metallista Oy. 2020e. Asennus- ja hitsauspalvelu. Metallista Oy. <https://metallistaoy.fi/hitsaus-ja-asennuspalvelu>. 2.2.2020.
- Mekaniikkasuunnittelu. 2020. DFM, DFA ja mitä näitä kaikkia nyt sitten on. Mekaniikkasuunnittelu. <https://mekaniikkasuunnittelu.com/dfm-dfa-ja-mita-naita-kaikkia-nyt-sitten-on/>. 5.2.2020.
- Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J. & Kaikonen, H. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Helsinki: WSOY.
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu- puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino.
- Pellosniemi J. & Kalamies U., Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>. 9.3.2020.
- Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe.
- SFS-EN 1993-1-8. 2006. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. osa 1–8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 22768-1. 2000. Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit
- Twin. A. 2019. Product Line. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/p/product-line.asp>. 13.2.2020.

Tuotteessa käytettyjen materiaalien tiedot (Pellosniemi & Kalamies 2020, 4)

TERÄSRAKENNETUOTTEET JA SUOSITELTAVAT TERÄSLAJIT

Taulukko 2.2. Yleiset rakenneteräkset. Vertailustandardit.

Myötö- lujuus	Murto- lujuus	Isku- sitkeys	EN	EN	SFS	DIN	SS	BS	NF	GOST	GOST	
R _{el} N/mm ²	R _m N/mm ²	KV J	t °C	10025 1993	10025 1991	200 1986	17100 1980	14 xx xx 1987	4360 1986	A35-501 1981	380 1988	19281 1989
235	360-510	27	20	S235JR	Fe360 B		St 37-2	13 11-00		E 24-2		
235	360-510	27	20	S235JRG2	Fe360 B FN	Fe 37 B	RSt 37-2	13 12-00	40 B		St3ps;sp CT3Πc;Π	
235	360-510	27	0	S235JO	Fe360 C		St 37-3 U		40 C	E 24-3		
235	360-510	27	-20	S235JRG3	Fe360 D1	Fe 37 D	St 37-3 N		40 D	E 24-4	St3kp;ps;s p CT3KΠ;Π c;cΠ	
235	360-510	27	-20	S235JRG4	Fe360 D2		St44-2					
275	430-580	27	20	S275JR	Fe 430 B	Fe44 B	St44-3 U	14 12-00	43 B	E 28-2	St4ps;sp CT4Πc;cΠ	
275	430-580	27	0	S275JO	Fe 430 C		St44-3 N		43 C	E 28-3		
275	430-580	27	-20	S275J2G3	Fe 430 D1	Fe44 D		14 14-00	43 D	E 28-4		
275	430-580	27	-20	S275J2G4	Fe 430 D2			14 12-01				
355	510-680	27	20	S355JR	Fe 510 B			(21 72-00)	50 B	E-36 2		
355	510-680	27	0	S355JO	Fe 510 C	Fe52 C	St52-3 U		50 C	E-36 3		
355	510-680	27	-20	S355J2G3	Fe 510 D1	Fe52 D	St52-3 N	(21 74-01)	50 D			17GS;17G1S 17TC;17T1C
355	510-680	27	-20	S355J2G4	Fe 510 D2							
355	510-680	40	-20	S355K2G3	Fe 510 DD1					E-36 4		
355	510-680	40	-20	S355K2G4	Fe 510 DD2							
185	290-510			S185	Fe 310-0	Fe33	St33	13 00-00		A 33	St0 CT0	
295	470-610			E295	Fe 490-2	Fe50	St50-2	15 50-00 15 50-01		A 50-2	St5ps;sp CT5Πc;cΠ	

Taulukko 2.3. Iskositkeys- ja laatu luokat. Vertailuja.

Testaus- lämpötila	Iskositkeysluokka			Laatu luokka		
	Standardi			Standardi		Standardi
	EN 10025 (1993)EN 10027			EN 10025(1991)		
	Iskositkeys, pitkittäin			Iskositkeys, pitkittäin		
°C	27J	40J	60J	27J	40J	27J
+20	JR	KR	LR	B		B
+/-0	J0	J0	KO	C		C
-20	J2	K2	L2	D	DD	D
-30	J3	K3	L3			
-40	J4	K4	L4			(E)
-50	J5	K5	L5			
-60	J6	K6	L6			(F)

Taulukko 2.4. Taulukoissa esiintyvissä merkinnöissä olevia tunnuksia.

G1	Tiivistämätön	Toimitustila valmistajan valittavissa
G2	Tiivistämätön ei ole sallittu	Toimitustila valmistajan valittavissa
G3	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty	Toimitustila normalisoitu tai normalisointivalssattu
G4	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty	
S	Rakenneteräs	
E	Koneteräs	
C	Särmättävyyttakuu	

ISO 2768 -standardin mukaiset valmistustoleranssit (SFS-EN 22768-1 2000, 5-6)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINLANDS STANDARDISERINGSFÖRBUND SFSSFS-EN 22768-1
5**5 MERKINTÄ PIIRUSTUKSIIN**

Jos standardin ISO 2768 tämän osan mukaisia yleistoleransseja sovelletaan, on otsikkoalueeseen tai sen läheisyyteen tehtävä seuraavat merkinnät:

- a) "ISO 2768";
- b) standardin ISO 2768 tämän osan mukainen toleranssiluokka.

ESIMERKKI:

ISO 2768-m

6 HYLKÄÄMINEN

Jollei toisin ole sovittu, ei työkappaleita, jotka eivät ole yleistoleranssien mukaisia, saa automaattisesti hylätä, ellei niiden toimintakyky ole heikentynyt (ks. kohta A.4).

5 INDICATIONS ON DRAWINGS

If general tolerances in accordance with this part of ISO 2768 shall apply, the following information shall be indicated in or near the title block:

- a) "ISO 2768";
- b) the tolerance class in accordance with this part of ISO 2768.

EXAMPLE

ISO 2768-m

6 REJECTION

Unless otherwise stated, workpieces exceeding the general tolerance shall not lead to automatic rejection provided that the ability of the workpiece to function is not impaired (see clause A.4).

Taulukko 1 Pituusmittojen sallitut poikkeamat lukuunottamatta viistettyjä kulmia
(ulkopuoliset säteet ja viisteet – ks. taulukko 2)

Arvot mm

Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismita-alueella							
		> 0,5 ¹⁾ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1 000	> 1 000 ≤ 2 000	> 2 000 ≤ 4 000
f	hieno	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	–
m	keskikarkea	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	karkea	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	erittäin karkea	–	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹⁾ Nimellismitoille < 0,5 mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismitan viereen.

Table 1 – Permissible deviations for linear dimensions except for broken edges
(external radii and chamfer heights, see table 2)

Values in millimetres

Tolerance class		Permissible deviations for basic size range							
Designation	Description	0,5 ¹⁾ up to 3	over 3 up to 6	over 6 up to 30	over 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1 000	over 1 000 up to 2 000	over 2 000 up to 4 000
f	fine	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	–
m	medium	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	coarse	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	very coarse	–	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹⁾ For nominal sizes below 0,5 mm, the deviations shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).

Taulukko 2 Viistettyjen kulmien sallitut poikkeamat
(ulkopuolliset säteet ja viisteet)

Arvot mm

Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismita-alueella		
		> 0,5 ¹⁾ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6
f	hieno	±0,2	±0,5	±1
m	keskikarkea			
c	karkea	±0,4	±1	±2
v	erittäin karkea			

1) Nimellismitoille < 0,5 mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismitan viereen.

Table 2 – Permissible deviations for broken edges (external radii and chamfer heights)

Values in millimetres

Tolerance class		Permissible deviations for basic size range		
Designation	Description	0,5 ¹⁾ up to 3	over 3 up to 6	over 6
f	fine	±0,2	±0,5	±1
m	medium			
c	coarse	±0,4	±1	±2
v	very coarse			

1) For nominal sizes below 0,5 mm, the deviations shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).

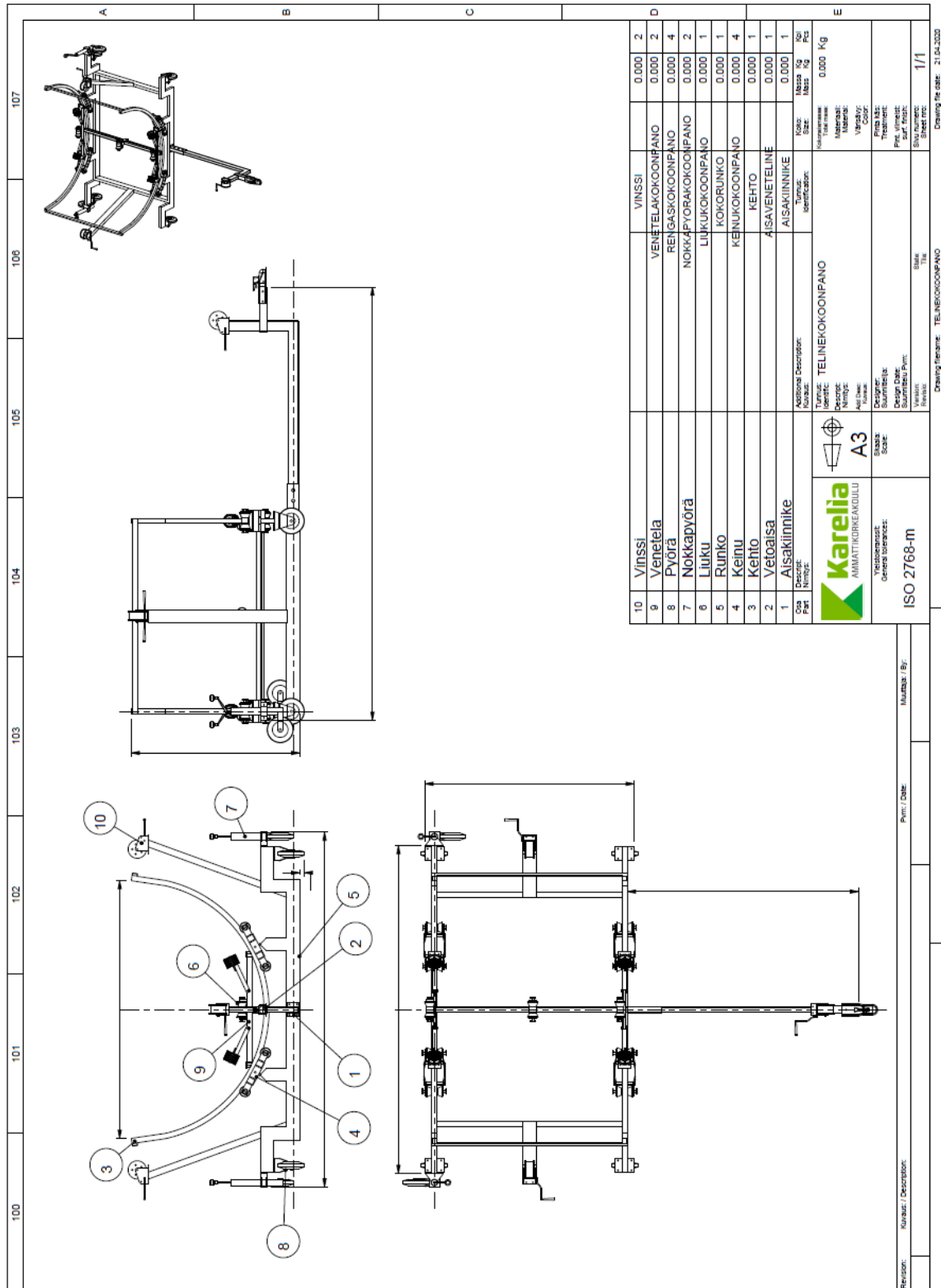
Taulukko 3 Kulmamittojen sallitut poikkeamat

Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Kyseessä olevan kulman lyhyemmän sivun sallitut poikkeamat pituusmitta-alueella (mm)				
		≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400
f	hieno	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	keskikarkea					
c	karkea	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	erittäin karkea	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

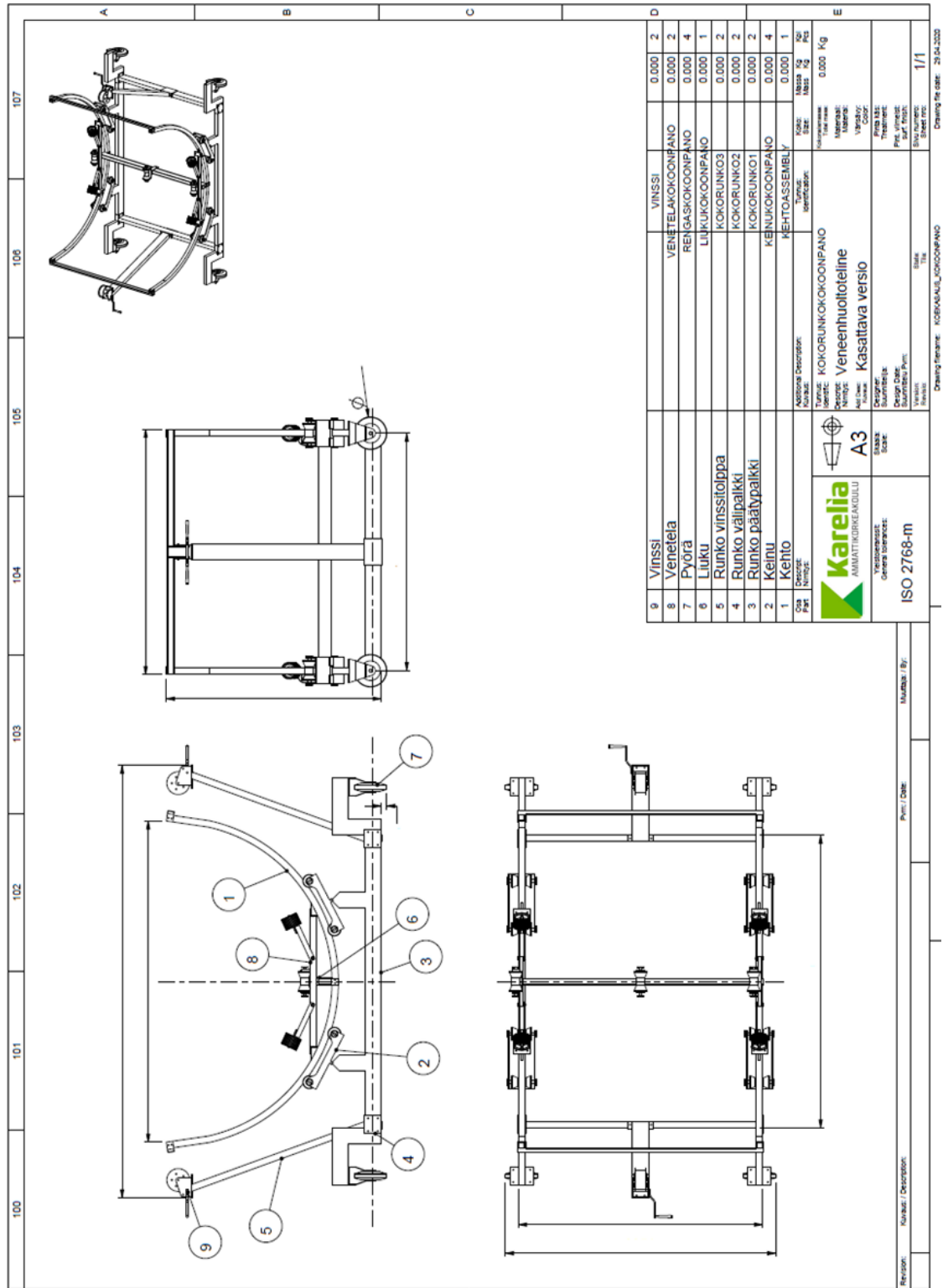
Table 3 – Permissible deviations of angular dimensions

Tolerance class		Permissible deviations for ranges of lengths, in millimetres, of the shorter side of the angle concerned				
Designation	Description	up to 10	over 10 up to 50	over 50 up to 120	over 120 up to 400	over 400
f	fine	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	medium					
c	coarse	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	very coarse	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Prototyypin mukaisen telineen kokoonpanopiirustus



Kokoonpantavan version kokoonpanopiirustus



Q	Vinssi	VINSSI	0.000	2
8	Venetela	VENETELAKOKONPANO	0.000	2
7	Pyörä	RENGASKOKONPANO	0.000	4
6	Liuku	LIUKUKOKONPANO	0.000	1
5	Runko vinssitilippa	KOKORUNKO3	0.000	2
4	Runko välipaalkki	KOKORUNKO1	0.000	2
3	Runko päätypalkki	KENLUKOKONPANO	0.000	4
2	Keinu	KEHTOASSEMBLY	0.000	1
1	Keinu	KEHTOASSEMBLY	0.000	1

<p>Karelia AMMATTI-INDUSTRIALISUUS</p> <p>Yhteystiedot: Osoite: Kasattava versio</p>	<p>ISO 2768-m</p> <p>SAKAS SIZE</p>	<p>A3</p> <p>SAKAS SIZE</p>	<p> KOKORUNKOKOKONPANO Veneenhuoltoaine Kasattava versio </p>	<p> Kokonaisuus: Koko: 0.000 kg Tilavuus: 0.000 m³ Paksuus: 0.000 mm </p>
---	---	--	---	---

Drawing file name: KOKORUNKOKOKONPANO

Sheet No: 1/1

Sheet Size: A3

Sheet Date: 20.04.2020

REVISION: Numbel / Description: Pvm / Date: Määrätty / By:

Tämä suunnitelma on osa Kareliala Oy:n tuotteen teknistä dokumentaatiota. Sen sisältöä ei saa kopioida, jäljentää tai muuten julkistaa ilman Kareliala Oy:n kirjallista lupaa. Kaikki oikeudet pidätetään. Mikäli jokin osa on jätetty pois, on se tarkoitettu vain ohjeelliseksi. Koko asiakas on tarkoitettu vain ohjeelliseksi. Koko asiakas on tarkoitettu vain ohjeelliseksi. Koko asiakas on tarkoitettu vain ohjeelliseksi.

Suuremmalle venekoolle soveltuvan version kokoonpanopiirustus

