



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VEDENHAPETUSLAITTEI- DEN HUOLTOLAUTAN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Antti Markkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Antti Markkanen			
Työn nimi Vedenhapetuslaitteiden huoltolautan suunnittelu			
Päiväys	20.5.2013	Sivumäärä/Liitteet	47/1
Ohjaaja(t) lehtori Tatu Westerholm, yliopettaja Esa Hietikko			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Vesi-Eko Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella katamaraanityyppinen kokoontaitettava vedenhapetuslaitteiden huoltolautta Vesi-Eko Oy:lle. 3D-mallinnus sekä piirustusten teko toteutettiin Autodesk Inventor Professional -ohjelmalla. Huoltolautan päätarkoituksena on huoltaa veden alla sijaitsevia Mixox-hapettimia, mutta sitä voidaan käyttää myös veden pinnalla olevien Visiox-ilmastimien huoltoon. Hapettimien ja ilmastimien tehtävänä on parantaa lampien, järvien ja merien kuntoa tuomalla pintavedestä lisää happea syväveteen tai tuomalla syvävesi pintaan ja liuottamalla siihen ilmakehän happea.</p> <p>Työn alussa käsitellään toimeksiantajaa ja sen osallisuutta vesistöjen hoitoon. Tuotekehitysprosessissa paneudutaan lautan suunnittelun eri vaiheisiin teoreettisesti sekä esitellään opinnäytetyön kannalta parhaaksi havaittuja suunnittelutapoja. Tuotekehityksessä tukeuduttiin kirjallisuuteen sekä yritykseltä löytyviin materiaaleihin, koska huoltolautan tapauksessa kyseessä oli uuskonstruktio ja aiempaa kokemusta samanlaisesta tapauksesta ei ollut. Työn suorittamisosio sisältää huoltolautan tärkeimmät komponentit ja kokoonpanot sekä työskentelyvaiheet. Myös materiaalinvalinta on kerrottu yksityiskohtaisesti. Suorittamisosiossa esitetään kuvia käyttämällä monimutkaisimmat sekä sanoin vaikeasti kuvattavat konstruktio. Lopuksi yhteenveto tiivistää työn ja tuo esiin lopputulokset.</p> <p>Työn tulokseksi laadittiin lautan valmistamiseen tarvittavat 3D-mallit sekä työpiirustukset. Yrityksen on tarkoitus valmistaa lautta alihankkijan toimesta ja suorittaa vesillelasku kesällä 2013. Aikataulu riippuu suuresti ostettavien osien toimitusaikojen pituudesta. Suunnittelun perusteella huoltolautta soveltuu hyvin tehtäväänsä ja vastaa yrityksen tarpeita.</p>			
Avainsanat hapetus, ilmastus, katamaraani, tuotekehitysprosessi, uuskonstruktio, ponttoni, syväys, kantavuus, kokoontaitettavuus			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Antti Markkanen			
Title of Thesis Service Raft Design for Water Oxygenator Machines			
Date	20 May 2013	Pages/Appendices	47/1
Supervisor(s) Mr. Tatu Westerholm, Lecturer and Mr. Esa Hietikko, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Water-Eco Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to design a foldable catamaran type service raft for water oxygenators for Water-Eco Ltd. 3D-modelling and drawings were made using the Autodesk Inventor Professional software. The main function of the raft is to maintain underwater Mixox-oxygenators, but it could also be used for Visiox-aerators, which lay on the surface of the water. These two machines are used to enhance the state of the water system. Oxygenators pump oxygen rich surface water to deep water, while aerators pump deep oxygenless water to the surface and mix it with oxygen from the atmosphere.</p> <p>First, a general description of Water-Eco Ltd. was drawn up. It tells what the company is doing to the water system to make it prosper. Second, the product development process was studied to enlighten the design steps of the raft in a theoretical way and to unravel the best design methods. Lot of literature was used in the product development process because the raft was a neoconstruction and had never been made before. Third, the most important parts, assemblies and working steps of the thesis were included in the implementation section. Pictures were used to describe complex assemblies in an easier way and to pinpoint the exact locations of the components.</p> <p>As a result of this thesis Water-Eco Ltd. got 3D-models and drawings, which will be used in the manufacturing of the raft. The manufacturing will be done by a subcontractor. The raft is going to be launched in the beginning of summer 2013, but the launch is highly affected by the delivery schedule of the purchased parts. The designing showed that the raft is suitable for its purpose and fulfills the company's needs.</p>			
<p>Keywords oxygenation, aeration, catamaran, product development process, neoconstruction, pontoon, draft, carrying capacity, foldability</p>			
Public			

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vesi-Eko Oy:lle tuotekehitysprojektina. Työssä suurena apuna olivat koko yrityksen väki ja varsinkin koneinsinööri Jussi Komulainen. Koulun puolelta välttämätöntä apuaan tarjosivat lehtori Tatu Westerholm, yliopettaja Esa Hietikko sekä tutkimuspäällikkö Esa Jääskeläinen.

Haluaisinkin kiittää kaikkia edellä mainittuja henkilöitä sekä koko koulun väkeä opinnäytetyön onnistumisesta ja yhteisistä vuosista. Suuret kiitokset myös luokalle ja kaikille valmistuville insinööreille.

Kuopiossa 20.5.2013

Antti Markkanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VESI-EKO OY	8
2.1	Hapetus	8
2.2	Ilmastus.....	8
3	TUOTTEEN KUVAUS.....	9
3.1	Tarve.....	10
3.2	Yleistietoa katamaraanista.....	10
3.3	Lautan ominaisuudet	10
4	TUOTEKEHITYSPROSESSI	12
4.1	Tehtävän alkuselvittely ja vaatimuslista.....	13
4.2	Luonnostelu (konseptisuunnittelu).....	15
4.3	Kehittely (rakennesuunnittelu).....	17
4.4	Materiaalit ja korroosio	19
4.4.1	Hiiliteräs	20
4.4.2	Alumiini	23
4.5	Viimeistely (detaljisuunnittelu)	25
5	TYÖN SUORITTAMINEN	27
5.1	Työn alkutilanne ja aikataulutus.....	27
5.2	Parhaan materiaalin valinta	28
5.2.1	Hiiliteräs	28
5.2.2	Merialumiini	29
5.3	Ponttonien suunnittelu ja kantavuus.....	30
5.3.1	Kantavuus.....	32
5.3.2	Syväys.....	33
5.4	Taittomekanismi.....	34
5.5	Perämoottori.....	40
5.6	Nosturi.....	41
5.7	Lisäponttonit.....	42
6	YHTEENVETO.....	44

LÄHTEET

LIITTEET

LIITE 1 Vaatimusluettelo

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella Vesi-Eko Oy:lle kokoontaitettava huoltolautta, jonka tehtävänä on helpottaa vedenalaisten Mixox-hapettimien ja tarvittaessa myös Visiox-ilmastimien huoltotöitä. Hapettimia ja ilmastimia käytetään estämään järvien happikatoa, joka voi pahimmillaan johtaa kalakuolemiin, sinileväkukintojen voimistumiseen ja liian yksipuoliseen lajistoon. Lauttaa käytetään aika ajoin merellä, joten sen tulee olla tarpeeksi vakaa myös kohtuullisen vaativissa meriolosuhteissa.

Työn aikataulu oli vain muutaman kuukauden mittainen, mikä tarkoitti melko kiireellistä alkusuunnittelua ja pikaista työskentelyn aloittamista. Varsinainen työnteko aloitettiin helmikuussa. Lautan vesilaskun tuli tapahtua jo vesistöjen jäiden lähdön aikaan toukokuun alussa. Suunnittelu ja piirustusten teko tuli suorittaa huhtikuun puoleenväliin mennessä, jotta lautan valmistus voisi tapahtua huhtikuun ja toukokuun alun aikana.

Työ toteutettiin 3D-mallinnuksena. Työkaluna käytettiin Autodesk Inventor Professional-ohjelmaa, koska se oli jo valmiiksi yrityksen käytössä. Lautan piti olla erillisen vaatimuslistan mukainen, mutta muotoilun ja taittomekanismin toteuttamiseen annettiin melko paljon vapautta. Työnteko aloitettiin puhtaalta pöydältä, mutta yritys antoi kuitenkin paljon apua lautan ensimmäisten komponenttien, ponttonien suunnitteluun. Lauttaan tuli yli 40 erilaista komponenttia mukaan lukien valmiina olleet pukkinosturi ja perämoottori. Kaikista muista paitsi osto-osista tehtiin 3D-mallit sekä piirustukset, joiden avulla alihankkija pystyisi itsenäisesti valmistamaan lautan alusta loppuun.

Raportti alkaa yrityksen toiminnan käsittelyllä ja rehevöitymisen yleiskuvauksella. Tuotteen kuvauksen jälkeen siirrytään tarkastelemaan tuotekehitysprosessia ja lautan varsinaista käyttötarkoitusta. Loppuosioita ovat työn suorittaminen ja yhteenveto, joissa keskitytään eri näkökulmiin aina tuotteen valmistuksesta lopputuloksiin ja työn onnistumiseen.

2 VESI-EKO OY

Järvien rehevöityminen on usein huomaamattomasti etenevä tapahtumaketju. Sillä tarkoitetaan järvien perustuotannon liiallista kasvua. Lisääntynyt kasvimassa kuluttaa hajotessaan yhä enemmän happea, joka voi varsinkin talvisin johtaa happikatoon. Happikadon seurauksena kalakuolemat lisääntyvät ja lajisto muuttuu särkivaltaisemmaksi. Myös fosforin määrä järvestä lisääntyy, mikä voimistaa edelleen rehevöitymisreaktiota. (Sarvilinna ja Sammalkorpi 2010, 11.)

Työn toimeksiantaja on vuonna 1981 perustettu Vesi-Eko Oy. Yritys on erikoistunut vesistöjen kunnostuksen suunnitteluun ja urakointiin. Vakituiseen henkilökuntaan kuuluu neljä henkilöä, joista kaksi on limnologeja, yksi FM (geologia) sekä yksi koneinsinööri. Vesi-Eko Oy:n toimiala kattaa vesistöjen hoitoon ja kunnostukseen liittyvät lupa- ja asiantuntijapalvelut, hapetus- ja ilmastusurakoinnin, pöyhintäurakoinnin sekä laitemyynnin. Yritys hoitaa vesistöjen kunnostuksia myös Suomen ulkopuolella Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa ja on näin ollen alansa johtavia yrityksiä koko Euroopan alueella. (Vesi-Eko Oy, 2013.)

Vesi-Eko Oy osallistuu tutkimuslaitosten kanssa erilaisiin veden tilan tutkimuksiin ja uusien kunnostusmenetelmien kehittämiseen, joka pitää yllä tietoutta alan uusimmista innovaatioista ja auttaa tulevaisuuden kehityksessä (Vesi-Eko Oy, 2013).

2.1 Hapetus

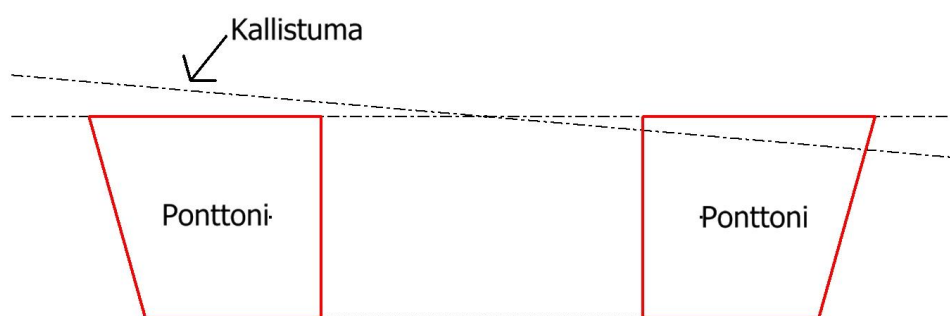
Ruoppaaminen on tehokasta, mutta kallista. Jos pintavesi on riittävän hapekasta, vaihtoehtona ruoppaukselle voidaan käyttää yhtä tehokasta ja noin 20 kertaa halvempaa Mixox-hapetusta. Hapetus siirtää pintavettä hapettomiin pohjakerroksiin sähkömoottorin avulla ja saa aikaan laaja-alaisen vedenkierron 50–500 ha vaikutusalueella. Hapensiirtokyky on 10–12 kg/kWh. Menetelmä on erinomainen myös maiseman kannalta, sillä laite sijaitsee noin 3 m vedenpinnan alapuolella. Huoltoväli on 1–4 vuotta ja sitä tukee langaton, automatisoitu etävalvonta. (Vesi-Eko Oy, 2013.)

2.2 Ilmastus

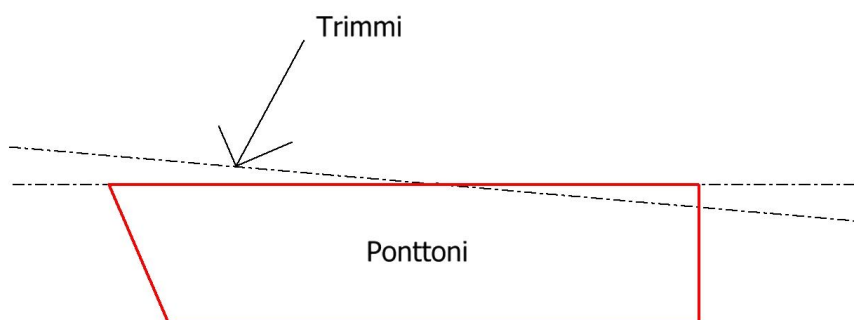
Pintaveden ollessa käyttökelpotonta pohjakerrosten hapettamiseen menetelmänä käytetään Visiox-ilmastusta. Ilmastuksessa siirretään alusvettä pinta-altaaseen ilmakehän hapetettavaksi. Runssahappinen vesi valuu altaasta takaisin syväveteen. Järjestelmän hapensiirtokyky on 1–2 kg/kWh. Laite jää järven pinnalle näkyviin, mutta se on hyvin hiljainen ja huomaamaton eikä heikennä jäätä suurelta alueelta. Huoltoväli on yleensä 1 vuosi, ja myös Visiox-laitteita tukee langaton etävalvonta. (Vesi-Eko Oy, 2013.)

3 TUOTTEEN KUVAUS

Työssä suunniteltu lautta oli kaksiponttoninen katamaraanityyppinen nosturilautta. Lautan tyyppi oli jo alusta asti selvillä, koska hapetinlaitteiden nostamiseen vaadittiin tukeva lautta, jonka avoin keskikohta antoi mahdollisuuden nostaa hapettimen lautan keskipisteen mukaisesti. Tällä nostotekniikalla vältettiin liiallinen sivuttaissuuntainen kallistuminen (kuvio 1) sekä liiallinen keula- ja peräsyvyyksen ero eli trimmi (kuvio 2).



KUVIO 1. Havainnekuva kallistumisesta



KUVIO 2. Havainnekuva trimmistä

3.1 Tarve

Vesi-Eko Oy:llä on jo käytössään kaksi vesistöjen kunnostukseen liittyvää lautaa. Toinen lautoista on pöyhintälaitte ja toinen Visiox-laitteiden huoltoon tehty lautta. Tarve uudelle lautalle syntyi, koska vedenalaiset Mixox-laitteet oli vaikea huoltaa nykyisellä kalustolla. Kalustoa ei ollut alun perinkään suunniteltu kyseisiä huoltotöitä varten. Huoltoon tarvittaville työkaluille ei ollut lautoilla tilaa, kuten ei myöskään nosturia, jolla hapetin voitaisiin nostaa 3 m:n syvyydestä. Nostotyö osoittautui vanhalla kalustolla todella vaivalloiseksi. Jo itse hapettimen massa 150 kg oli liikaa muoviponttoniselle pienelle lautalle. Lisäksi uuden lautan tarvetta korosti merellä tehtävä työskentely, jossa tarvittiin huomattavasti vakaampaa kalustoa, joka pystyisi toimimaan myös kohtalaisella tuulennopeudella.

3.2 Yleistietoa katamaraanista

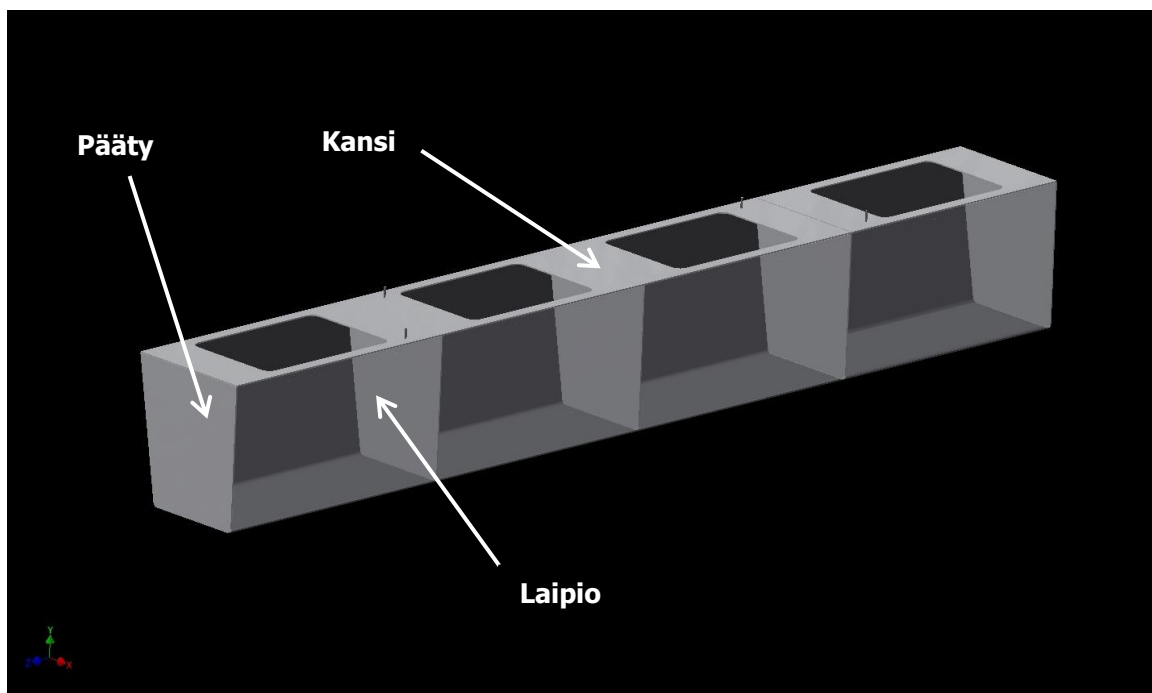
Katamaraanilla tarkoitetaan toisiinsa yhdistettyä kaksirunkoista alusta tai yksirunkoista alusta, jossa on kaksi samansuuntaista köliä. Alun perin polynesialaisten käytössä olleet puutukeista tehdyt katamaraanit innoittivat länsimaalaisia laivanrakentajia kopioimaan perusmallin 1900-luvun alussa ja kehittämään sitä edelleen. He innostuivat katamaraanin käytettävyydestä sen vakauden ja vaivattoman melottavuuden vuoksi, mitkä mahdollistivat etenemisen rankassa Eteläisen Tyynenmeren aallokossa. (Encyclopedia, 2012.)

Kaksirunkoisesta aluksesta on tullut laajalti käytetty työ- ja huvialus myös nopeutensa vuoksi. Suurnopeuskatamaraanilautat voivat ylittää jopa 40 solmun (74 km/h) maksiminopeuteen. Katamaraanien pituus vaihtelee 3–100 m, ja ne kuuluvat maailman nopeimpiin purjehdus- ja moottorialuksiin. (Encyclopedia, 2012.)

3.3 Lautan ominaisuudet

Vedenhapetuslaitteiden huoltolautalta ei vaadittu suurta nopeutta. Tärkeimmät vaatimukset sen sijaan olivat käytettävyys sekä kokoontaitettavuus. Lautan ponttoneiden materiaaliksi valittiin 5000-sarjan alumiinilevy, koska korroosionkestoa täytyi olla järvi- ja varsinkin merivesiolosuhteiden vuoksi (liite 1). 5000-sarjan alumiinit ovat myös helposti hitsattavia, mikä edesauttaa osien liittämistä.

Käytettävyydellä tarkoitettiin tässä tapauksessa hapetinlaitteiden kuljettamista paikoilleen, asennusta sekä huoltoa. Lautalla tuli olla mahdollisuus säilyttää riittävä määrä työkaluja, joiden oli oltava helposti saatavilla. Parhaat paikat työkaluille olivat molempien ponttoneiden sisään tehtävät vesitiiviit osastot. Ponttonissa on yhteensä 4 osastoa (lisäosat mukaan lukien 6 kappaletta), mikä tarkoittaa yhtä osastoa jokaisella metrillä. Vesitiiviit väliseinät eli laipiot erottavat osastot toisistaan (kuva 1). Yhden osaston tilavuus on 240 dm^3 , joten sinne mahtuu helposti suuri työkalupakki. Kannessa oleva osastoon johtava aukko on kooltaan 600 mm x 400 mm ja se on varustettu vesitiiviillä luukulla.



KUVA 1. Ponttoni ja laipiot

Kokoontaitettavuus oli tärkeä ominaisuus kuljetettavuuden vuoksi. Se osoittautui hyvin vaativaksi mekanismiksi toteuttaa, sillä lautta tuli saada leveysuunnassa 900 mm kapeammaksi alkuperäisestä pituudestaan. Lopputulos kuitenkin onnistui hyvin ja lautta kaventui 1 321 mm.

Lautan perusmittoja käyttökunnossa:

- pituus = 4 m, lisäponttoneilla saavutettava pituus 6 m
- leveys = 2,7 m
- korkeus = 3,8 m.

Lautan perusmittoja kuljetuskunnossa:

- pituus = 4 m
- leveys = 1,4 m
- korkeus = 3 m.

Hapettimien sähkömoottoreita varten joudutaan asennuspaikalle kuljettamaan myös 400 V:n pääjännitekaapelia. Näin ollen lautta täytyy toimia hinaajana, joka jaksaa vetää kaapelin rannasta asennuspaikalle. Voimanlähteenä käytetään perämoottoria. Ensimmäisenä moottorivaihtoehtona oli 7,3 kW:n perämoottori, mutta siitä luovuttiin matalan tehon vuoksi. Tilalle asennetaan 14,7 kW:n moottori, jossa on enemmän hinauskapasiteettia.

Nosturina käytetään valmiiksi ostettua pukkinosturia, jonka nostokapasiteetti on 1 000 kg. Nostettava hapetin painaa 150 kg, mutta vedellä täytyessä paino voi nousta jopa 500 kg:aan.

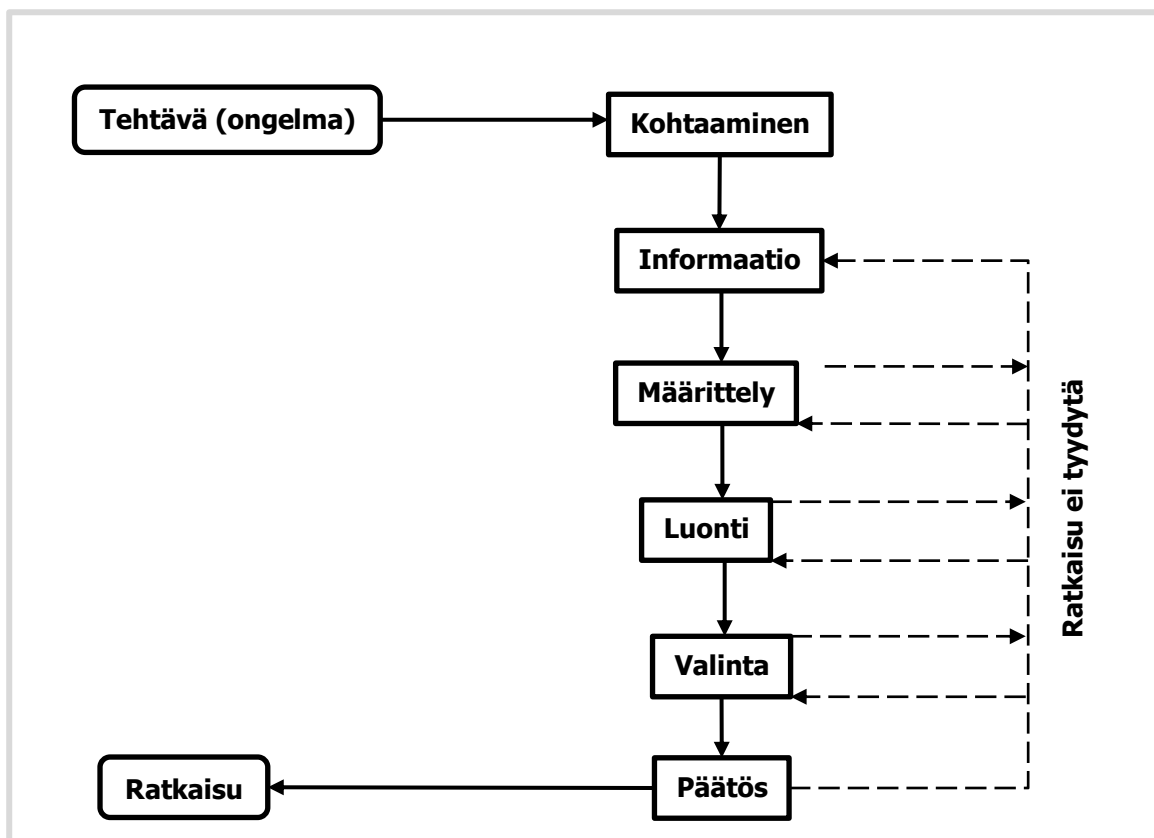
4 TUOTEKEHITYSPROSESSI

Tuotekehitys on määrätietoista ja valveutunutta toimintaa uusien tuotteiden tai palveluiden kehittämiseksi tai jo ennestään olemassa olevien tuotteiden parantamista. Usein tuotekehityksen harjoittaja on yritys. Tuotekehityksellä pyritään kilpailuun, oman aseman turvaamiseen markkinoilla ja suuremman voiton tavoitteluun. (Harjula ja Koskinen 2007.)

Lautan tuotekehityksessä käytettiin apuna systemaattista lähestymistapaa, jossa toistuvien iteraatiokierrosten avulla lähestyttiin lopputulosta. Iteraatiolla tarkoitetaan työvaiheiden toistoa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Systemaattisessa lähestymistavassa iteraatiokierrokset tulee pitää mahdollisimman pieninä, jotta suunnittelusta tulee tehokasta. Kierrosten ollessa liian suuria syntyy helposti ongelmia. Jos esimerkiksi vasta tuotteen lopputuloksessa huomataan ongelma, joka vaikuttaa tuotteen suunnittelun alkupäähän, voi ongelman ratkaisu olla liian myöhäistä. Tällainen suuri koko tuotekehityksen käsittävä iteraatiokierros on kohtalokas tuotteen kannalta, koska virheitä on vaikea korjata jälkepäin. Pienet kierrokset ovat tehokkaampia (kuvio 3). Jos tuotteen valinnassa havaitaan virheitä, siirrytään takaisin luomisvaiheeseen jne.

Kuviossa 3 on esitetty ongelmanratkaisun eri vaiheita. Iteraatiokierrokset tulisi pitää edellisen ja seuraavan vaiheen mittaisina. Lautan suunnittelussa käytettiin kyseistä ongelmanratkaisukaaviota sen osoittauduttua toimivaksi.

1. Kohtaaminen: Jokainen ongelma joudutaan kohtaamaan ja analysoimaan. Kohtaamisvaiheessa arvioidaan, mitä olemassa olevaa tietoa suunnitteluun löytyy ja mistä mahdollisesti tarvitaan lisätietoa. Kohtaamisvaiheen intensiteetti riippuu suuresti suunnittelijan tietotasosta.
2. Informaatio: Kaikki tieto samanlaisista tuotteista, mahdolliset suunnittelun rajoitukset ja tuotteen ongelmien ratkaisukeinot auttavat vähentämään *kohtaamisen* ongelmakenttää ja selventämään tuotteen vaatimusten luonteen.
3. Määrittely: Suunnittelun ongelmia tarkastellaan abstraktisti päämäärien saavuttamiseksi (Think outside the box). Mielikuvitteellinen tarkastelu auttaa löytämään uusia näkökulmia sekä tuo esille tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja.
4. Luonti: Määrittelyssä saatuja ideoita kehitetään edelleen ja yritetään päästä lähemmäs todellista tuotosta.
5. Valinta: Arvioidaan ja valitaan paras mahdollinen tuotos. Kaikissa prosessin vaiheissa on suoritettava arviointi ja valinta, koska jokainen vaihe vaikuttaa lopputulokseen.
6. Päätös: Tehdään päätös lopulliseen ratkaisuun jatkamisesta. Myös jokaisen vaiheen jälkeen tulisi tehdä päätös jatkamisesta. Jos edellinen vaihe toteuttaa suunnitelmaa, voidaan jatkaa seuraavaan vaiheeseen. Tarvittaessa nouseaan vaiheissa takaisin, kunnes haluttu tulos on saavutettu. (Pahl, Beitz, Feldhusen ja Grote 2007, 126.)



KUVIO 3. Yleinen prosessin ongelmanratkaisukaavio (Pahl ym. 2007, 127)

Myös tuotekehitysprosessin onnistumisen kannalta on tärkeää, että se noudattelee tiettyjä perusvaiheita, joita ovat

1. alkusuunnittelu ja tehtävän selvittely
2. luonnostelu
3. kehittäminen
4. viimeistely.

Jokainen vaihe tukee toista. On tärkeää, ettei tuotteen tekemistä jatketa, jos havaitaan ongelma. Tarvittaessa siirrytään takaisin edelliselle tasolle. Seuraavissa luvuissa käsitellään kaikki viisi lautan tuotekehityksen kannalta tärkeää vaihetta teoreettisesti. Tuotekehityksen koko aihealue on hyvin laaja, joten ei ole työn kannalta tarpeellista esittää kaikkea tietoa. (Pahl ym. 2007, 128–132.)

4.1 Tehtävän alkuselvittely ja vaatimuslista

Ennen varsinaista tuotteen rakenne eli konstruktioprosessia täytyy yrityksellä olla olemassa tuotteita, jota varten konstrukti-osaston tulisi etsiä teknillisesti ja taloudellisesti suotuisia ratkaisuja. Kyseinen vaihe voitiin opinnäytetyössä jättää pois, koska yrityksellä oli valmis tuotteen kuvaus ja ehdot.

Ensimmäinen vaihe tuotekehityksessä ja uuden tuotteen suunnittelussa on tehtävänannon saaminen ja tehtävään perehtyminen. Suunnittelijan täytyy saada täysi ymmärrys asiakkaan tarpeista. Tämä tapahtuu yleensä tehtäväkuvauksen avulla, jossa ei ole pelkästään tietoja tuotteesta, vaan myös ai-

kataulu- ja kustannustietoja. Suunnitteluosaston täytyy tehdä läheistä yhteistyötä asiakkaan kanssa, jotta voidaan saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä tarpeet tuotteen tulee tyydyttää?
- Mitä ominaisuuksia tuotteelta vaaditaan?
- Mitä ominaisuuksia tuotteelta ei vaadita?

Edellä mainitusta prosessista saadaan aikaan vaatimuslista, jonka avulla uuden tuotteen suunnittelu voidaan aloittaa. Listaa varten tulee tehdä selväksi vaaditut tavoitteet ja rajoitukset, jotta virheitä voitaisiin välttää parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä voidaan toteuttaa kiinteiden vaatimusten, vähimmäisvaatimusten ja toivomusten avulla: (Pahl ym. 2007, 145)

1. Kiinteät vaatimukset (K) pitää täyttää kaikissa mahdollisissa tilanteissa. Niiden täyttämättä jättäminen ehdottomasti hylkää ajatellun ratkaisun käyttämisen. Esimerkiksi lautassa kiinteitä vaatimuksia ovat kokoonlaitettavuus ja merivedenkestävyys. Jos näitä ei toteuteta, lautta ei täytä toimintojaan eikä sitä voida käyttää suunnitellulla tavalla.
2. Vähimmäisvaatimuksella on raja-arvo, jonka ylittäminen tai alittaminen sallitaan. Raja-arvon pienestä muutoksesta ei ole haittaa, mutta radikaalimpi arvon ylittäminen tai alittaminen voi johtaa vakavampiin seurauksiin. Esimerkkinä lautan massa, joka suunnittelun jälkeen ylittää peräkärryn kanssa kokonaisuudessaan 750 kg ja yhdistelmän kokonaisuudessa on yli 3 500 kg (TraFi, 2013). Vähimmäisvaatimuksen ylittämisen vuoksi kuljettaja joutuu suorittamaan BE-luokan ajokortin, joka oikeuttaa vetämään enintään 3 500 kg painavaa hinattavaa ajoneuvoa (TraFi, 2013). Vaatimuksen ylittämisestä ei näin ollen aiheutunut ongelmia tuotteelle, vaan rahallisia kustannuksia yritykselle.
3. Toivomukset huomioidaan mahdollisuuksien mukaan niin, että kohtuulliset ylimääräiset kustannukset ovat sallittuja ja toivomuksen toteutumattomuus ei aiheuta ongelmia tuotteen valmistumisen tai käytön kannalta. Lautan vaatimuslistassa ei ole yhtään toivetta, mutta esimerkiksi toiveesta voidaan pitää lautan hyviä virtausominaisuuksia suorituskyvyn parantamiseksi ja polttoainekulutuksen minimoimiseksi.

Kaikki edellä mainitut kolme vaatimusta on myös varustettava tiedoilla määrästä ja laadusta. Tietojen ei tarvitse olla vielä lopullisia vaatimuslistan jatkuvan muuttumisen vuoksi. Määrällä tarkoitetaan tässä tapauksessa yleisiä lukumääriä, kappalelukuja ja myös määriä aikayksikköä kohti, joita ovat esimerkiksi nopeus (v), teho (P) sekä kiihtyvyys (a). Laadulla ilmaistaan sallitut poikkeamat ja erityisvaatimukset, kuten merivedenkestävyys ja nosturin kapasiteetti. (Pahl ja Beitz 1990, 64.)

Vaatimuslista tarkoittaa kaikessa yksinkertaisuudessaan vaatimusten ja toivomusten luetteloa, jonka avulla tuotetta käsittelevät osastot (suunnittelu, myynti, tuotekehitys jne.) pystyvät toteuttamaan vaadittavan konstruktion. Vaatimuslista on pidettävä jatkuvasti ajan tasalla ja näin ollen se on työskentelyn perusasiakirja.

Listan rakenteen (liite 1) on oltava selkeä. Yläkenttään merkitään listan laatijan tai yrityksen nimi sekä päiväys. Myös listaan liittyvän projektin tai tuotteen nimi tulee olla yläkentässä. Ensimmäinen sarake kertoo mahdollisen muutoksen päivämäärän. Seuraavassa sarakkeessa kirjaintunnuksella merkitään vaatimuksen luonne. Keskisarakeessa kuvataan vaatimus kirjoittamalla mahdollisimman tarkasti kaikki siihen liittyvät osat sekä määrä ja laatu. Oikeanpuolimmaisessa sarakkeeseen merkitään projektista vastaavan henkilön nimi tai tunnusmerkit. Tämänkaltainen muoto ei ole kuitenkaan

aina pakollinen. Yleensä yrityksen standardointiosaston kanssa tulee päättää paras mahdollinen muotoilu, jotta listaa voitaisiin käyttää osana laajempaa järjestelmää.

Yleensä tuotteen suunnittelun edetessä tulee uutta tietoa tai vaatimukset muuttuvat, jolloin edellistä listaa täydennetään tai tehdään kokonaan uusi vaatimuslistan alajaos. Vaatimuslista on tämän takia aina tilapäinen. Lista voi olla myös osa suurempaa kokonaisuutta, jolloin esimerkiksi tuotteen osista saadaan suoraan tilausvahvistukset. Jos lista liitetään osaksi yrityksen toiminnanohjausjärjestelmää, saadaan aikaan arvokas tietopankki, joka mahdollistaa tuotteen vaivattoman jatkokehittelyn.

Viime vuodet ovat osoittaneet, että ainakin suunnittelun saralla vaatimuslista on todella tehokas menetelmä oikeiden ratkaisujen ja suunnitelmien kehittymiseen. On kuitenkin olemassa joitakin käytännön vaiheita, joihin vaatimuslista ei välttämättä anna tarkkaa vastausta. Näitä ovat esimerkiksi kustannustehokas tuotanto, kokoonpanon vaivattomuus ja esiin tulevat ongelmat. Suunnittelijan täytyy jo alkuvaiheessa perehtyä näihin käytännön ongelmiin ja ottaa ne huomioon projektin edetessä. (Pahl ym. 2007, 157.)

4.2 Luonnostelu (konseptisuunnittelu)

Luonnostelulla tarkoitetaan abstrahointia, toimintorakenteen laatimista ja sopivimpien vaikutusperiaatteiden etsimistä. Optimaalisen tuloksen tavoittelussa suunnittelijan pitäisi poistua omista kiinteistä työtavoistaan, ennakkokäsityksistä sekä ajattelustaan ja antaa uusien abstraktien ideoiden virrata. Tyhjälle paperille piirtäminen ja useamman ihmisen aivoriihi ovat osa aloitusta, jolla pyritään saavuttamaan uusia ideoita. Perusperiaate on, että kaikki ideointiväylät jätetään avoimeksi, kunnes löydetään oikea tai lähellä oikeaa oleva ratkaisu. Suunnittelijan tulisi kyseenalaistaa kaikki vaatimuslistan rajoitukset ja tehdä läheistä yhteistyötä asiakkaan kanssa saadakseen selville, voidaanko joistakin rajoitteista peräti luopua. Lisäksi suunnittelijan pitää osata hylätä sellaiset fiktiiviset rajoitukset, jotka hän on itse asettanut ja hyväksynyt, mutta joita ei kannata toteuttaa. Luonnostelu auttaa fiktiivisten rajoitusten löytämisessä ja väärin rajoitusten eliminoimisessa.

Alla kolme esimerkkiä abstraktista ideoinnista:

- Älä suunnittele autotallin ovea vaan yritä suunnitella lukitus niin, että autosi on suojattuna säältä ja varkailta.
- Älä suunnittele kiilauraa akseliin, vaan mieti paras keino akselin ja rattaan yhdistämiseksi.
- Älä suunnittele kiinnitintä, vaan mieti paras keino kappaleen pitämiseksi paikoillaan.

Abstrahoinnissa jätetään huomiotta yksilöllisyys ja tilapäisyys. Niiden sijaan korostetaan yleispätevyyttä ja oleellista. Tarkoituksena on tunnistaa sekä kokonaistoiminto että ongelmaa luonnehtivat edellytykset sitoutumatta mihinkään tiettyyn ennaltamäärättyyn ratkaisuun. Ensimmäinen vaihe luonnostelun toteuttamisessa on vaatimuslistan mukaisten toimintojen ja reunaehtojen analysointi tehtävän ydinolemuksen esille tuomiseksi. Yleispätevyys ja oleellisuus selvitetään tutkimalla vaatimuslistasta toiminnolliset riippuvuudet ja reunaehdot yhdessä vaiheittaisen abstrahoinnin kanssa: (Pahl ym. 2007, 165)

1. Jätetään omista ajatuksista vaatimuslistan toivomukset huomiotta.
2. Jätetään ne vaatimukset huomiotta, jotka eivät koske toimintaa ja oleellisia ehtoja.
3. Määrälliset tiedot muutetaan laadullisiksi ja supistetaan oleellisiksi lausumiksi.
4. Laajennetaan vaatimuslistaa entisestään.
5. Muotoillaan ongelma neutraalisti ratkaisuun verrattuna.

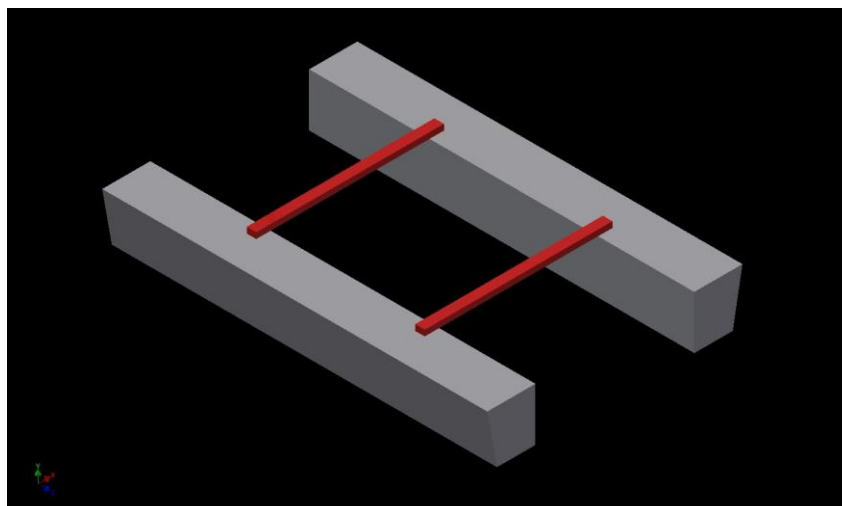
Kaikki vaiheet eivät ole välttämättömiä. Lautan abstrahointia on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Lautan vaatimuslistan abstrahointia

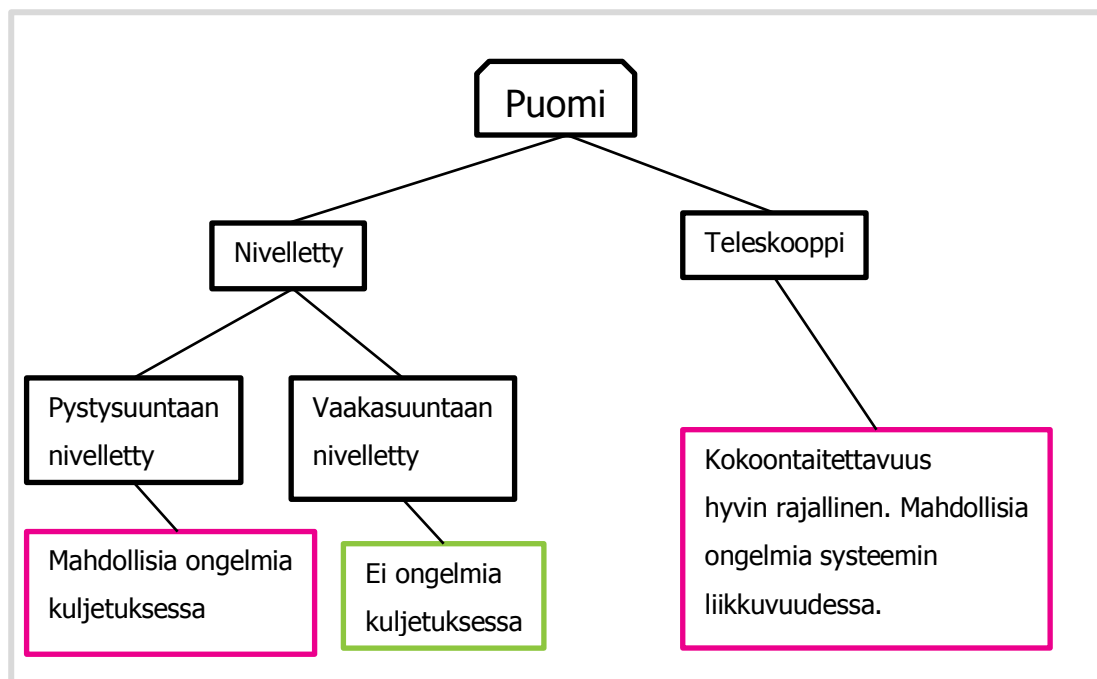
1. VAIHE	2. VAIHE	3. VAIHE
Pituus 4 000 mm.	Pituus 4 000 mm.	Lautan ulkomitat erilaisia.
Ponttonien vapaaväli enintään 1 650 mm.	Ponttonien vapaaväli enintään 1 650 mm.	Kantavuudet ja valmistuskustannukset vaihtelevat.
Hinattavan ajoneuvon kokonaismassa enintään 750 kg.	Bruttokantavuus \geq 2 000 kg. Nettokantavuus \geq 1 000 kg.	
Bruttokantavuus \geq 2 000 kg. Nettokantavuus \geq 1 000 kg.	Valmistuskustannukset \leq 12 000 €.	
Valmistuskustannukset \leq 12 000 €.		

Jos ratkaistava tuote tai tehtävä on monimutkainen, kannattaa koko systeemi jakaa osasysteemiin. Samalla tavoin kuin suurissa teknisissä sovelluksissa on kokoonpanoja, alikokoonpanoja ja osia. Uusissa tuotteissa osatoiminnot ja niiden yhteenliittyminen ovat aluksi tuntemattomia. Tämän vuoksi uuskonstruktioihin olisi vitaalia esittää toimintorakenne. Tunnetun tuotteen toimintorakennetta voidaan muunnella siitä tehdyn vaatimuslistan mukaisesti. (Pahl ja Beitz 1990, 81–82.)

Lautan tapauksessa kyseessä oli uuskonstruktio, joten toimintorakenne muodostui vaatimuslistasta sekä abstraktista ongelmanmuotoilusta (Pahl ja Beitz 1990, 93). Kokoontaittomekanismissa tuli lähteä liikkeelle todella karkeasta vaatimuslistan mukaisilla mitoilla tehdystä mallista, josta kävi selville mekanismin kokonaisrakenne. Etsimällä uusia ratkaisuja, saatiin selville raja-arvot, jotka määrittivät kokoontaittomekanismin. Ensimmäisessä vaiheessa lautan ponttonien päälle luotiin suuntaa antavat vaakapuomit (kuva 2), joiden avulla mekanismin hahmotus helpottui. Puomien rakenne hajotettiin osatoimintoihin (kuvio 4), jonka avulla selvitettiin paras mekanismi.



KUVA 2. Karkea luonnos lautan taittomekanismista



KUVIO 4. Ongelman jako osatoimintoihin

Luonnosteluvaiheen jatkamiseksi tuli löytää vaikutusperiaatteita, jotka sisältävät välttämätöntä tietoa prosessin toteuttamiseksi. Vaikutusperiaatteiden haku painottui tavanomaisiin menetelmiin ja intuitiivisiin menetelmiin. Tavanomaisista menetelmissä tukeuduttiin paljon kirjallisuuteen sekä erilaisiin internetistä löytyviin luotettaviin lähteisiin, jotka ovat esillä opinnäytetyön lopussa. Intuitiivisista menetelmistä esille nousi positiivisella tavalla aivoriihi, jolla tarkoitetaan uusien ajatusten tulvaa. Aivoriihen tarkoitus on koota ryhmä erilaisia henkilöitä yhteen, jotta saadaan aikaan paljon ennakkoluottomia ideoita sekä uusia ennenkuulumattomia ratkaisuja. Vähäisten näkökulmien ja toisaalta liiallisen passiivisuuden estämiseksi ryhmään pitäisi kuulua vähintään 5 ja enintään 15 henkilöä. Henkilöiden ei tulisi olla myöskään saman alan edustajia tai asiantuntijoita. Ryhmän rikastuttamisessa auttaa vaikkapa kokonaan eri alalta olevan henkilön, esimerkiksi muotoilijan ottaminen mukaan. Lautan kokoontaittomekanismin suunnittelussa aivoriihestä oli paljon hyötyä, koska sillä saatiin aikaan uusia ideoita ja näkökulmia. (Pahl ja Beitz 1990, 99–106.)

Luonnosteluvaiheen loppuun liittyy parhaan kokonaisuuden valinta pistearvioinnilla. Arviointilla päästään ratkaisumuunnelmien keskinäiseen vertailuun. Siinä pitää ottaa huomioon kaikki vaikuttavat seikat oikeassa suhteessa toisiinsa, eikä käyttää pelkästään pistemäisiä osanäkökohtia, kuten valmistuskustannuksia ja käyttövarmuutta.

4.3 Kehittely (rakennesuunnittelu)

Luonnostelun tarkoituksena oli saada aikaan toimivia ideoita abstrahoinnin avulla, määritellä toimintomalleja ja luoda vaikutusrakenteita. Kehittelyn osa-alueet liittyvät sitä vastoin konkreettisen rakennemallin luomiseen. Työvaiheet, valmistusmenetelmät sekä materiaalit päätetään, kuten myös tuotteen päämitat ja kolmiulotteiset rajoitteet. Jos kehittely osoittautuu hyvin laajaksi, on syytä tehdä luonnostelun tapaan alikokoonpanoja eli osakehitelemiä. Kehittelyvaihe päättyy tuotteen toimin-

non, laadun sekä kestävyuden arviointiin. Valmistuspiirustusten teko ajoittuu vasta kehittelyn jälkeiseen vaiheeseen, jolloin tiedetään, että tuotteen rakenne ei muutu enää suuresti.

Kehittelystä ongelmallisen tekee monien työvaiheiden samanaikaisuus ja yksityiskohtainen tiedonhankinta. Lisäksi korjauksia edellisiin vaiheisiin voi joutua tekemään paljon. Kehittelyn kuluessa tulisi siirtyä abstraktista lähestymistavasta konkreettiseen ja karkeasta suunnittelusta kohti hienompaa. Nykyaikana parametrinen 3D-suunnittelu (CAD) on helpottanut työntekoa hyvin paljon. Mallien luominen on vaivatonta ja muutosten teko helppoa. Kehittyneillä tietokoneohjelmilla voidaan suorittaa mallien lujuustarkastelua sekä toimintaa myös konkreettisesti käytössä.

Kehittelyyn kuuluu olennaisena osana rakennemuotoilu. Siinä määritellään, kuinka tuote kaikkine osineen tulisi muotoilla, jotta se täyttäisi seuraavat kolme pääsääntöä: yksikäsitteinen, yksinkertainen ja turvallinen. Nämä säännöt ovat muodostuneet rakennemuotoilun kivijalaksi, ja niiden avulla voidaan vaikuttaa tuotteen moitteettomaan toimintaan, vaivattomaan ylläpitoon sekä turvallisuuteen. (Pahl ja Beitz 1990, 184.)

Yksikäsitteisyudessa on varmistettava, että kaikilla osatoiminnoilla on selvä tehtävänjako. Tällä tarkoitetaan toiminnallista yksikäsitteisyyttä, joka vaikuttaa selkeästi kokoonpanojen toimivuuteen. Yksikäsitteistä peruskonstruktiota varten on tunnettava tuotteeseen vaikuttavat kuormitustilat. Jos kuormitustilatietoja ei ole saatavilla, on tukeuduttava oletuksiin, joiden avulla selvitetään tuotteen elinikä. Turhat kaksoisjärjestelyt, joissa yleensä varmistetaan jonkin osan kiinnipysyvyys tai varmuus tulisi jättää pois. Näiden järjestelmien rasitusten laskeminen on työlästä ja yleensä ylimääräinen varmistus aiheuttaa enemmän haittaa kuin hyötyä. Kaksoisjärjestelyissä tapahtuu yleensä suurempaa kulumista ja ne voivat aiheuttaa yllättäviä rasituskohtia huomaamattomiin paikkoihin.

Yksinkertaisuudesta puhuttaessa tulee yleensä mieleen mahdollisimman vähillä komponenteilla toteutettu tuote ja että komponenttien vähyyys vaikuttaa suoraan tuotteen kulumiseen, valmistuskustannuksiin sekä laatuun. Todellisuudessa tämä on vain osatotuus, sillä komponenttien vähyyden lisäksi niiden täytyy olla myös geometrialtaan ja järjestelyltään yksinkertaisia. Yleensä komponenttien rakenteen ollessa yksinkertainen helpottuu myös kokoonpanon käsittely ja rakenne. Peruskonstruktion geometriset muodot tulisi sopia välittömästi yhteen lujuusopin sääntöjen kanssa. Tällä tarkoitetaan vakio Profiilien suosimista ja standardoitujen komponenttien käyttämistä mahdollisimman pitkälle. Käytä neliötä tai suorakulmiota nelikulmion sijasta sekä standardoituja toleranssiluokkia omien eromittojen paikalla. (Pahl ja Beitz 1990, 190.)

Turvallisuus on oletettavastikin tärkein osa rakennemuotoilua. Sillä pyritään estämään vaaraa aiheuttavat mekanismit kokonaan. Turvallisuustekniikka on terminä laaja käsite. Se voidaan käsittää paremmin suorittamalla jako kolmeen aihealueeseen, joita ovat välitön, välillinen ja opastava turvallisuustekniikka. Välittömässä turvallisuustekniikassa tuote tai komponentti kestää sille asetetut vaatimukset (safe-life), aiheuttaa rajoitetun vahingon, joka vahingoittaa tiettyä aluetta vaikuttamatta tuotteen toimintaan (fail-safe) tai pääjärjestelmän vahingoittuessa kytkee päälle varajärjestelmän (reserve). Välilliseen turvallisuustekniikkaan kuuluvat suojarjestelmät ja turvalaitteet. Näitä ovat

esimerkiksi sulakkeet, hätäseis-kytkimet sekä käynnistymisenesto. Opastavalla turvallisuustekniikalla kehoitetaan sanoin tai kuvin tunnistamaan ja välttämään vaaranpaikat. Se on näistä kolmesta vaihtoehdosta turvattomin, koska käyttäjän pitää itse tunnistaa vaarat välttääkseen tapaturman aiheutumisen. Opastusta voidaan käyttää hyväksi sellaisissa paikoissa, joissa henkilöltä vaaditaan ponnistelua vaaran aiheuttamiseksi (esimerkiksi sähköpylväät).

Koneenrakennuksen rakennemuotoilussa tulee usein kyseeseen vaikuttavat voimat ja niiden johtuminen. Kaikissa rakenteissa tulisi välttää teräviä mutkia sekä poikkipintojen äkkinäisiä muutoksia. Ulkoiset kuormat voivat aiheuttaa esimerkiksi vääntö- ja taivutusmomenttia, jotka aiheuttavat kappaleeseen veto- ja puristusrasituksia, joista taas johtuu kappaleen kimmoiset tai plastiset muodonmuutokset. Voima tulisi johtaa paikasta toiseen mahdollisimman lyhyttä reittiä pitkin, jotta vältetään suurilta muodonmuutoksilta ja varsinkin plastisilta muodonmuutoksilta. Kimmoisessa muodonmuutoksessa kappale palautuu rasituksen jälkeen alkutilaansa, mutta plastisessa muodonmuutoksessa kappale myötää eli muokkautuu palautumattomasti. Liian pitkälle viety plastinen muodonmuutos lopulta murtaa kappaleen ja voi aiheuttaa vaaratilanteen. (Pahl ja Beitz 1990, 217.)

Jos kehitelmästä on muodostunut suuri kokonaisuus, voidaan suorittaa luonnosteluvaiheen mukainen pisteytys tai arviointi parhaasta kehitelmästä. Arvioinnista on suotavaa muodostaa ohjelista, jossa päätunnuksien avulla selvitetään tuotteen ominaisuuksia. Päätunnuksia ovat esimerkiksi toiminto, vaikutusperiaate, turvallisuus ja kuljetus.

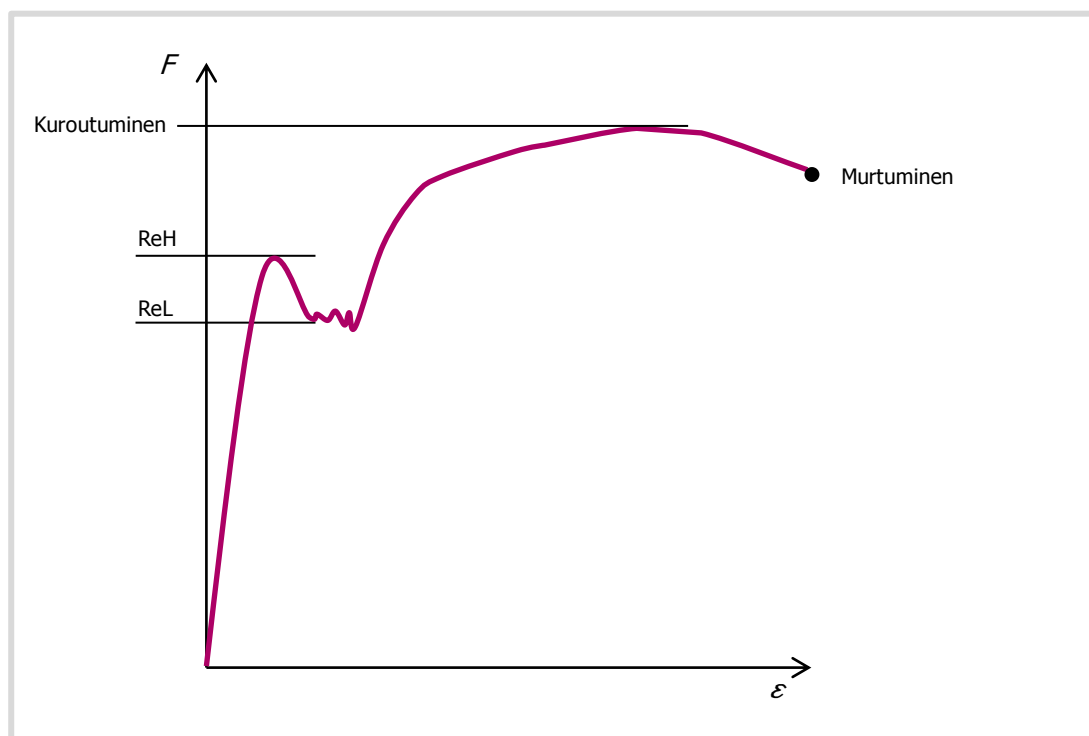
4.4 Materiaalit ja korroosio

Korroosio-sanaa käytetään yleensä kuvaamaan kaikkien rakennemateriaalien kemiallista ja sähkökemiallista tuhoutumista. Runsaasti valmistusenergiaa vaativan prosessin tuote muuttuu korroosion vaikutuksesta lähes alkuasuunsa, joka on malmimineraalia muistuttava, hapettunut ja vähäenerginen tila. Korroosiota nimitetään usein myös käänteiseksi metallurgiaksi. Siinä missä metallurgialla yritetään aikaansaada ja jalostaa metalleja, korroosio pyrkii muuttamaan ne takaisin alkuperäiseen muotoonsa.

Materiaalinvalinnassa korroosio on tärkeä huomioonotettava seikka, koska sitä tapahtuu jatkuvasti ja korroosion ehkäisemiseen käytettävät kustannukset ovat miljardiluokkaa. Yleisiä haittavaikutuksia ovat rakenteen heikkeneminen ja tätä kautta vaaratilanteiden aiheutuminen. Nykypäivänä vaaratilanteita ovat aiheuttaneet esimerkiksi uimahallien katot, joissa rakenneteräs on korrodoitunut kloorin hapettavasta vaikutuksesta ja näin ollen pehmentänyt metallia. Jokaisen rakenneosan erilainen ulkopinta edistää korroosion vaikutusta. Teräksellä yleisin korroosionmuoto on ruostuminen eli hapettuminen: rauta-ionit (Fe^{2+} , Fe^{3+}) reagoivat happimolekyylien (O_2) kanssa muodostaen rautaoksidia (Fe_2O_3). Korroosiolajeja on monia erilaisia, ja kaikkein tärkeimmäksi opinnäytetyön kannalta osoitautui sähkökemiallinen korroosio. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 17–18.)

4.4.1 Hiiliteräs

Hiiliteräkset ovat raudan (Fe), hiilen (C) ja muiden alkuaineiden yhdistelmiä, joissa on hiiltä korkeintaan 1,7 %. Jos hiilipitoisuus nousee yli tämän rajan, luokitellaan metalli valuraudaksi. Hiiliteräkset voidaan edelleen jakaa muun muassa rakenne-, kone- ja työkaluteräksiin, joille asetetut vaatimukset eroavat toisistaan. Jos vertaillaan erilaisia rakenneteräksiä keskenään, vähiten lujia ovat seostamattomat hiiliteräkset, joiden myötöraja (R_e) on 200–260 MPa ja lujimpia nuorrutusteräkset ($R_e = 450–900$ MPa). Myötörajalla tarkoitetaan sitä aluetta, jossa kimmoinen muodonmuutos muuttuu plastiseksi eli kappaleen muoto muuttuu palauttamattomasti. Sitkeällä metallilla on kaksi myötörajaa, ylempi (R_{eH}) ja alempi (R_{eL}). Yleensä alempaa myötörajaa käytetään lujuuslaskennassa, koska silloin varmuus myötämiseen on suurempi. Myötämistä seuraa kuroutuminen, joka tarkoittaa esimerkiksi terästangon halkaisijan pienenemistä. Teräksen murtuminen tapahtuu lopulta sitkeästi kuroumakohdasta. Edellä mainittua tapahtumaa voidaan kuvata yleisellä sitkeän teräksen voima-venymäkuviolla (kuvio 5).



KUVIO 5. Erään teräksen voima-venymäkuvio (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka ja Tuomikoski 2006, 66)

MPa:a (megapascal) käytetään kuvaamaan muun muassa veto- ja puristusjännitystä. Siinä Newtonin (N) suuruinen voima vaikuttaa neliömillimetrin (mm^2) pinta-alalla. MPa on yleinen yksikkö lujuuslaskuissa sen helpon johdettavuuden vuoksi ja se on perusyksikkönsä pascalin (N/m^2) kerrannainen. Esimerkkinä yksikön käyttämisestä voidaan ajatella tapaus, jossa määritetään 10 mm terässauvan (S 235) myötämiseen tarvittava vetovoima.

Esimerkki 1:

Millä voimalla läpimitataan 10 mm terässauvaa (S 235) pitää vetää, jotta tapahtuu myötämistä?

Vastaus:

Sauvan teräslaji ja myötölujuus voidaan päätellä nimestä S 235. S (structural) tarkoittaa rakenneterästä, jonka myötölujuuden minimi ohuimmassa kohdassa on 235 MPa. Tulee tietää sauvan poikkipinta-ala ja myötämiseen tarvittava jännitys, jotta laskun voi ratkaista. Poikkipinta-ala ratkaistaan kaavaa 1 käyttäen

$$A = \pi r^2, \quad (1)$$

jossa A = poikkipinta-ala ja r = sauvan säde. Tästä saadaan edelleen kaavan 2 mukainen poikkipinta-ala

$$\pi \times 5^2 \text{ mm}^2 \approx 78,5 \text{ mm}^2, \quad (2)$$

josta voidaan johtaa normaalijännityksen kaavaa (kaava 3) käyttämällä

$$\sigma = \frac{N}{\text{mm}^2}, \quad (3)$$

laskun vastaus (kaava 4),

$$235 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 78,5 \text{ mm}^2 \approx 18\,450 \text{ N}. \quad (4)$$

Newtonit voidaan selventämisen takia vielä muuttaa kilogrammoiksi (kaava 5)

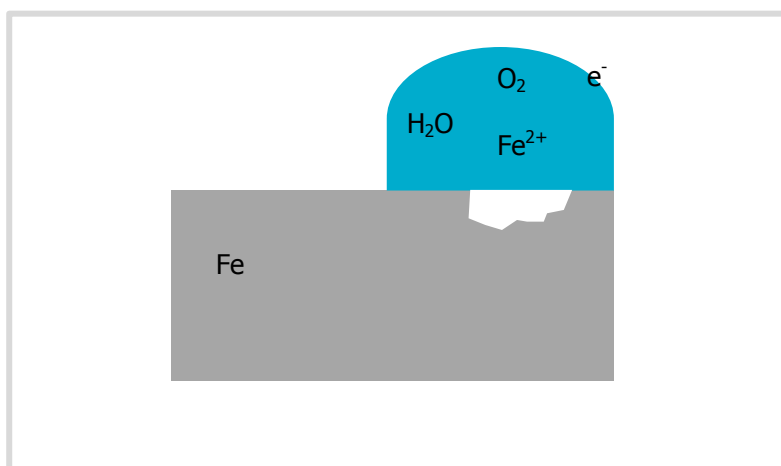
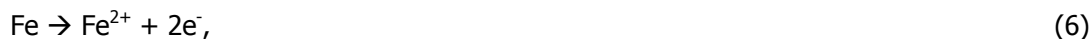
$$\frac{18450 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 1\,880 \text{ kg}. \quad (5)$$

Sauvan minimaaliset plastiset muodonmuutokset vaativat siis melkein 2 tonnin vetovoiman. Esimerkki antaa melko konkreettisen käsityksen tavallisen rakenneteräksen lujuudesta. Erilaisten alkuaineiden ja lämpökäsittelyjen avulla teräksen lujuutta voidaan muovata hyvin erilaiseksi. Lujuusväli voi vaihdella jopa 700 MPa. (Koivisto ym. 2006, 134–149.)

Hiiliterästen ja yleensäkin terästen yleisin korroosionmuoto on sähkökemiallinen korroosio eli ruostuminen. Sähkökemiallisen korroosion syntymiseen tarvitaan anodi, katodi sekä elektrolyytti. Korroosiotapahtumassa epäjalompi anodi luovuttaa elektroneja eli hapettuu ja jalompi katodi vastaanottaa elektroneja eli pelkistyy. Elektrolyytti toimii väliaineena, jota pitkin positiiviset ja negatiiviset ionit voivat siirtyä. Anodin ja katodin täytyy olla yhteydessä toisiinsa sekä elektrolyyttiin, jotta korroosiota voi tapahtua. Suurella anodin ja katodin jalousaste-erolla reaktio on voimakas. Tämän vuoksi esi-

merkiksi kuparikatolla ei tulisi käyttää rautanauvoja, koska rauta on epäjalompi ja syöpyy helposti. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 29–32.)

Ruostumisen pääreaktio tapahtuu seuraavien kemiallisen kaavojen mukaan:



KUVA 3. Teräksen ruostuminen

Teräksen ruostumisen kaavoja 6, 7, 8 ja 9 voidaan selventää kuvan 3 avulla. Ruostuminen on sähkökemiallinen prosessi, joten anodina on teräs, katodina veden happi ja elektrolyyttinä vesi. Teräs siis hapettuu ja happi pelkistyy.

Ruostuminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä ja Pohjakallio 2008, 211–213)

1. Rauta-atomit hapettuvat rauta(II)-ioneiksi (kaava 6).
2. Elektronit kulkevat happirikkaalla vesipisaran reunalla ja pelkistävät veden ja hapen hydroksidi-ioneiksi (kaava 7).
3. Hydroksidi-ionien reagoidessa rauta(II)-ionien ja hapen kanssa muodostuu lopulta ruostetta eli rautaoksidia (kaavat 8 ja 9). Ruoste on lopullisessa muodossaan hydratoitunutta rauta(III)-oksidia.

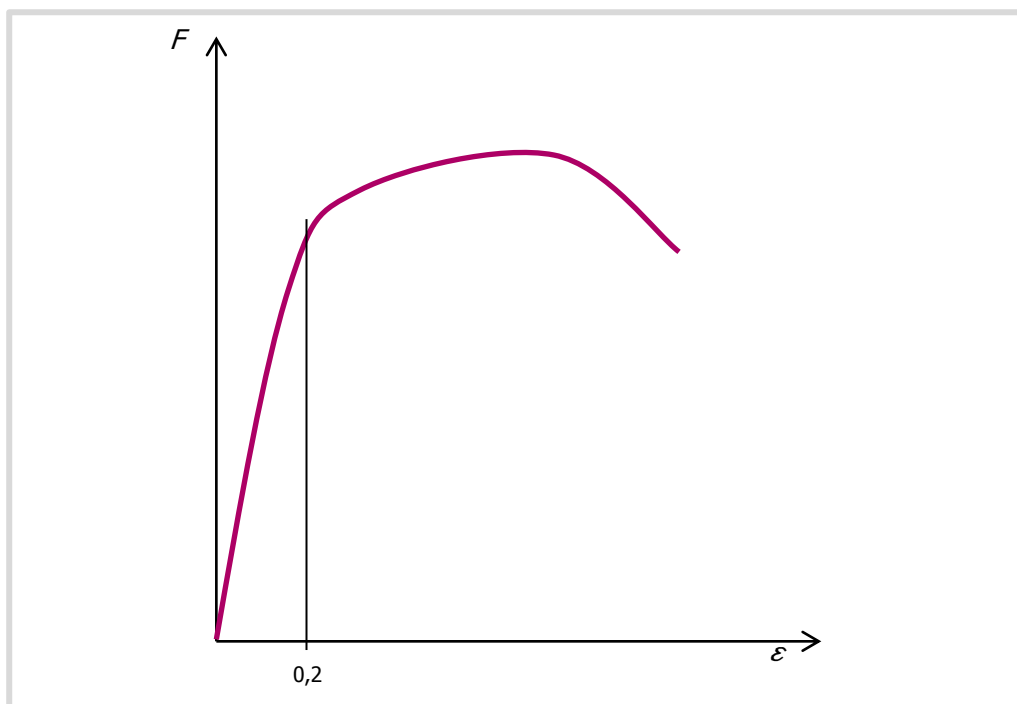
Työn kannalta oli myös tarpeellista tarkastella ilmastollista ja veden aiheuttamaa korroosiota. Sekä ilmastollisessa korroosiossa että veden korroosiossa rakenteen syöpyminen johtuu kosteudesta, joka aiheuttaa teräkseen sähkökemiallista korroosiota. Ilmastollista korroosiota tapahtuu kun ilman suhteellinen kosteus ylittää 60–80 %. Sitä edesauttavat ilmastolliset epäpuhtaudet kuten rikkidioksidi (SO_2) sekä kloridit. Hiiliteräksen korroosionopeus maaseutuilmastossa ensimmäisen kymmenenvuoden aikana on alle 200 $\mu\text{m}/10$ a. Kaupunki- ja meri-ilmastossa alle 500 $\mu\text{m}/10$ a. Hiiliterästä voidaan suojata korroosiolta orgaanisilla ja epäorgaanisilla pinnoitteilla. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 447.)

Meri- tai makeassa vedessä eri teräslaatujen korroosionkestävyys poikkeaa hyvin vähän toisistaan, korroosionopeuden vaihdellessa 50–150 $\mu\text{m}/\text{a}$ välillä. Hiiliteräksen korroosio on seisovassa merivedessä hyvin hidasta, mutta nopeutuu virtauksen kasvaessa, koska virtaus aiheuttaa eroosiovaikutusta ja hapen pääsyä teräksen pinnalle. Meriveden roiskevyöhykkeessä irtonaisen maalipinnan tai rakenteessa olevien rakojen takia korroosio voi olla jopa 10 kertaista, aiheuttaen mahdollisen alkusäyksen rakenteen pettämiselle. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 447–450.)

4.4.2 Alumiini

Alumiini on maankuoren kolmanneksi yleisin alkuaine ja samalla maankuoren yleisin metalli. Alumiinia valmistetaan lämpimän vyöhykkeen kivilajista bauksiitista. Alumiinitonnin tuottamiseen tarvitaan noin 4 tonnia bauksiittia. Välituotteen eli alumiinioksidin valmistus bauksiitista vaatii lämpöenergiaa noin 11 MWh, jonka tuloksena alumiinioksidia saadaan noin puolet bauksiitin määrästä eli noin 2 tonnia. Vasta alumiinioksidista voidaan valmistaa puhdasta alumiinia elektrolyysin avulla, joka vaatii sähköenergiaa noin 16 MWh. Energian määrästä hyvän vertauskuvan antaa neljän hengen 120 m² omakotitalo, jonka energiankulutus on noin 18 MWh/a. Suuren energiankulutuksen ja vaativan teknologian vuoksi alumiinin teollinen valmistus voitiin aloittaa laajempaan tuotantona vasta 1900-luvulla.

Puhdas alumiini johtaa hyvin sähköä, mutta sillä on heikot lujuusominaisuudet (vetomurtolujuus vain 45 MPa). Tästä syystä johtuen siihen sekoitetaan lujuuden parantamiseksi esimerkiksi kuparia ($R_m > 400$ MPa) tai magnesiumia ($R_m < 420$ MPa). Alumiinin rakenteen jäykkyyden vuoksi sen voimavenymä-kuvio eroaa suuresti sitkeän hiiliteräksen kuviosta (kuvio 6). Sillä ei ole selkeää myötörajaa kuten teräksillä, joten sen myötörajaa ei ole järkevää kuvata tarkalla jännitysarvolla. Alumiinin myötäminen ilmoitetaan näin ollen 0,2-arvolla, joka kertoo alumiinin venymän prosentteina. Jos venymä on suurempi kuin 0,2 %, alumiinin katsotaan muokkautuvan plastisesti, mikä tarkoittaa myötörajan ylittymistä. (Koivisto ym. 2006, 163–170.)



KUVIO 6. Alumiinin voima-venymäkuvio (Koivisto ym. 2006, 66)

Alumiini on melko epäjaloin metalli, joten sen ollessa kosketuksissa toisen jalomman metallin esimerkiksi teräksen kanssa, siitä muodostuu elektrolyytin välityksellä anodi ja se alkaa syöpyä. Myös aineet joiden pH on yli 8,5 syövyttävät alumiinia voimakkaasti. Alumiinin korroosionkestävyys on yllättävää sillä se on termodynaamisesti epästabiili ja reaktiivinen metalli. Korroosionkestävyys perustuu ohueen oksidikalvoon, jonka alumiini muodostaa hapen kanssa. Ilmasta hapettunut oksidikalvo on paksuudeltaan 10 – 20 nm tavallisilla alumiinilaaduilla. Oksidikalvon paksuus vähenee alumiinin puhtauden lisääntyessä, ollen 99,98 %:a sisältävässä alumiinissa vain noin 6 nm. Alumiini muuttuu passivaatiokerroksen takia jalommaksi kuin onkaan. Oksidikalvo suojaa alumiinia naarmuilta ja mahdollisilta muilta ainesrikoilta niin kauan kun happea on saatavilla. Hapettomissa olosuhteissa metalli on ilman kalvoa paljon alttiimpi korroosiolle. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 530.)

Korroosion vaikutusta alumiiniin tutkittiin myös – samoin kuin hiiliteräksen tapauksessa – kahdelta osa-alueelta, joita olivat ilmastollinen sekä veden korroosio. Alumiinin korroosio on tuskin havaittavaa puhtaassa maaseutuilmastossa. Meri- ja teollisuusilmastossakin korroosio on hyvin vähäistä ja johtuu suurelta osin kosteudesta, ilman klorideista, rikkidioksidista sekä epäpuhtauksista. Tuhkaa ja hiilimurskaa sisältävä emäksinen maaperä on sitä vastoin alumiinille erityisen syövyttävää. Vähän seostetut alumiinilaadut (merialumiinit), joissa on mukana magnesiumia ja piitä kestävät parhaiten ilmaston ja veden korroosiota. Magnesiumista muodostuva magnesiumoksidi muodostaa osan alumiinin oksidikalvosta ja parantaa näin ollen korroosionkestävyyttä huomattavasti. Kestävyydeltään huonoimpia ovat kuparilla seostetut lujat duralumiinit kuparin jaloudesta johtuen. (Kunnossapitoyhdistys 2004, 531–533.)

Alumiini selviytyy todella hyvin syövyttävistä olosuhteista oksidikalvonsa takia, mutta galvaaninen korroosio on ongelma muun muassa kosteassa meri-ilmastossa. Jos alumiini joutuu kosketuksiin ja-

lomman metallin kuten teräksen kanssa, osat tulisi erottaa toisistaan esimerkiksi muovilla eristämällä tai maalauksen avulla.

TAULUKKO 2. Eri metallien sähkökemiallisia jännite-arvoja (Kunnossapitoyhdistys 2004, 534)

Käytännön potentiaali merivedessä pH 7,5	mV
Hopea (Ag)	+ 149
Nikkeli (Ni)	+ 46
Kupari (Cu)	+ 10
Lyijy (Pb)	- 259
Teräs (Fe)	- 335
Kadmium (Cd)	- 519
Alumiini (Al)	- 667
Sinkki (Zn)	- 806
Tina (Sn)	- 809

Taulukossa 2 on esitetty eri metallien potentiaalieroja merivedessä, jonka pH on vähän yli neutraalin. Alumiinin yläpuolella olevat metallit ovat jalompia ja alapuolella olevat epäjalompia kuin alumiini. Toisin sanottuna yläpuolella olevat pelkistyvät eli hapettavat alumiinia. Mitä suurempi on metallien välinen jännite-ero, sitä voimakkaampaa on myös epäjalomman metallin hapettuminen. Sähköinen potentiaali on kuvattu millivolteina. Jos esimerkiksi alumiini ja kupari ovat kosketuksissa toisiinsa taulukon 2 merivedessä, alumiini hapettuu ja jännite muuttuu positiiviseksi. Kupari sitä vastoin pelkistyy, jolloin jännite muuttuu negatiiviseksi. Kaavasta 10 saadaan kokonaisjännite:

$$+ 667 - 10 \text{ mV} = + 657 \text{ mV.} \quad (10)$$

Kuparin ja alumiinin välinen kokonaisjännite on melko suuri, joka tarkoittaa alumiinin huomattavaa syöpymistä kuparin kanssa.

4.5 Viimeistely (detaljisuunnittelu)

Viimeistelyllä päätetään kehittäelyvaihe ja annetaan viimeiset ohjeistukset yksittäisten komponenttien muodoille, mitoille, pinnanlaaduille ja materiaaleille sekä käydään läpi valmistuskustannukset ja - hinnat. Ehkäpä tärkeimmäksi vaiheeksi muodostuu tuotantodokumenttien viimeistely, jolla tarkoitetaan yksityiskohtaisia osa- ja kokoonpanopiirustuksia sekä selkeitä osaluetteloita. Nykypäivänä osaluetteloiden teko on helpottunut kehittyneiden tietokoneohjelmien myötä. Luettelot voidaan yhdistää yrityksen ERP (toiminnanohjaus) ja PDM (tuotetiedon hallinta)-järjestelmiin, joilla saadaan suora tieto varastomääristä, materiaaleista yms. CAM (tietokoneavusteinen valmistus)-ohjelmilla pystytään suunnittelemaan komponenttien valmistus hyvin tarkoin parametrein. Ohjelmiin voidaan syöttää yksityiskohtaisia tietoja esimerkiksi koneistuskeskusten syöttö- ja lastuamisnopeuksista ja vertailemalla

saada aikaan tehokkaimmat sekä vähiten energiaa kuluttavat parametrit. Komponentit voidaan valmistaa jo tietokoneen näytöllä ja näin valita esimerkiksi parhaat työkalut työn toteuttamiseksi.

Tuotteesta ja tuotantoaikataulusta riippuen suunnitteluosaston täytyisi toimittaa tuotanto-osastolle kokoonpano-ohjeet, logistiset tiedot sekä laadunhallintaan liittyvä aineisto, kuten suoritettavat testaukset. Myös tuotteen käyttäjä tarvitsee käyttö-, huolto- ja korjausohjeet. Tämän vaiheen aikana suunnittelun ja tuotannon tulisi tehdä mahdollisimman tiivistä yhteistyötä, koska molempien tietotaito auttaa pääsemään prosessissa eteenpäin. Tuotteen laadunhallinnan myötä yhteistyötä tulee automaattisesti enemmän, koska syntyneet ongelmat on parasta ratkoa yhdessä.

Viimeistelyn yksinkertaistamiseksi se voidaan jakaa neljään vaiheeseen, jotka ovat: yksityiskohtaistaminen, integrointi, täydentäminen ja tarkistus.

1. Yksityiskohtaistamisen tarkoituksena on muodostaa komponenttien tarkat piirustukset sekä muotojen, materiaalien, toleranssien, pintojen ja sovitteiden optimointi. Tässä tapauksessa optimoinnilla tarkoitetaan sopivimpien materiaalien käyttöä, kustannustehokasta ja vaivatonta tuotantoa ja standardiosien käyttöä mahdollisimman pitkälle.
2. Integroinnissa komponentit liitetään lopulliseen kokoonpanoon ja luodaan kokoonpanopiirustukset, osaluettelot sekä numerointijärjestelmät, joilla voidaan helposti paikantaa komponentti tai alikokoonpano piirustuksesta. Kokoonpanopiirustuksiin on syytä laatia asennusohjeet, mutta jos ne ovat hyvin kattavat, tulee laatia erillinen asennusohjeisto. Integrointiin vaikuttaa suuresti tuotantoaikataulut, toimituspäivät sekä logistiikan hallinta.
3. Tuotantodokumentit täydennetään tuotanto-, kokoonpano-, logistiikka-, ja käyttöohjeilla.
4. Suoritetaan lopullinen dokumentoinnin ja varsinkin yksityiskohtaisten osapiirustusten sekä osaluetteloiden tarkistus, johon liittyy: yleis- ja yrityksen standardien tarkistus, mittojen ja toleranssien paikkansapitävyys ja lopuksi komponenttien hankkimisen vaivattomuus.

Viimeistelyvaiheella on suuri vaikutus tuotteen laatuun ja tuotantokustannuksiin, jotka yhdistyvät suoraan tuotteen menestymiseen markkinoilla. Suorinta ja helpointa tietä kulkeminen viimeistelyssä voi aiheuttaa katastrofaalisia seurauksia esimerkiksi tuotantoon ja tuotteen teknisiin toimintoihin. Tämän takia se tulisi suorittaa aina syvää harkintaa käyttäen. (Pahl ym. 2007, 436–438.)

5 TYÖN SUORITTAMINEN

5.1 Työn alkutilanne ja aikataulus

Työn aiheen löytyminen kesti helmikuun alkuun. Tämä tarkoitti nopeaa työskentelyaikataulua, koska mallien piti olla valmiita jo huhtikuun puoleen väliin mennessä. Ensimmäisessä tapaamisessa yrityksen kanssa selvitimme projektin luonteen sekä vaadittavan osaamisen. Oli alusta asti selvää, kuinka paljon työhön tarvittiin osaamista ja uuden opettelua. Pääosaamisena oli Autodesk Inventor Professional -ohjelman käyttö, mutta myös laskennallista puolta tarvittiin lautan kestävyuden mittaamiseksi. Taulukossa 3 näkyy alkutilanteessa tehty aikataulu, jota pyrittiin noudattamaan mahdollisuuksien mukaan. Aikataulu tehtiin viikkotarkkuudella, koska tarvetta tarkempaan aikataulutukseen ei ollut.

TAULUKKO 3. Huoltolautan työaikataulu

Kuukausi	Suoritettu				Suorittamatta																							
	Tammi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Touko	18	19	20	21	Kesä	22	23	24	25
Alustava opinnäytetyön etsiminen	1	2	3	4	5																							
Ensimmäinen yritystapaaminen 4.2																												
Kick off 14.2																												
Aihekuvaus																												
Vaatimusluettelon laatiminen 15.2																												
Ohjaus- ja hankkeistamissopimus 15.2																												
Seurantalomake 15.2																												
Työsuunnitelman teko 18.2-19.2																												
Ohjaajan tapaaminen 19.2																												
Lautan luonnostelun aloitus 20.2																												
Opinnäytetyöraportin aloitus 21.2																												
Ideointi Komulaisen kanssa																												
Hahmottelu																												
Inventor-suunnittelu alkaa 4.3																												
Lautan mallit valmiit viim. 29.3																												
Opinnäytetyöraportin teko																												
Opinnäytetyöseminaari 26.4																												
Vesillelasku																												

Lautan vaatimuslistan (liite 1) teossa ei ollut suuria ongelmia, koska päävaatimukset olivat jo yrityksellä valmiiksi tiedossa. Listan toteuttamista ja seuraamista helpottivat huomattavasti erillinen tarkistuslista ja skenaarioiden luominen. Pohtimalla vallitsevia käyttöolosuhteita ja käytettävyyttä sai aikaan uusia tilanteita, jotka vaikuttivat merkittävästi vaatimuksiin. Lista ei muuttunut merkittävästi prosessin aikana. Suurin muutos oli lautan massassa, joka kasvoi suunnitellusta n. 300 kg.

Työsuunnitelman teolla selvennettiin tulevaa tehtävää. Siinä piti käydä tarkasti läpi työn oleelliset osa-alueet sekä tehtävänanto. Luonnosteluvaihe käsitti edellä mainitut karkeat mallit lautasta, kuten myös abstraktin ideoinnin. Kaikkein pisimmäksi vaiheeksi osoittautuivat jo ennalta arvatut lautan mallien ja piirustusten kehittäminen sekä opinnäytetyöraportin kirjoittaminen. Mallien muutoksia tapahtui todella paljon, joten Inventor-suunnittelun aikataulu venyi huhtikuun puoleen väliin. Lautta laskeaan vesille kesäkuun alussa, koska nosturi saatiin tilattua huhtikuun puolella välissä ja toimittamiseen menee aikaa vähintään kuukausi.

Lautan piirustukset on tarkoitus saada valmiiksi kokonaan, jotta yritykselle ei jäisi muuta tehtävää kuin valmistuksen lopputoteutus. Mahdolliset valmistuksen aikana esille tulevat välttämättömät muutokset yritys joutuu itse toteuttamaan. Alihankkijan on tarkoitus työskennellä lähellä yritystä helpon valvonnan vuoksi.

5.2 Parhaan materiaalin valinta

Materiaalin valinnassa tuli ottaa huomioon ilmastolliset olosuhteet ja lautalta vaadittavat lujuusominaisuudet. Lauttaa käytetään myös merellä, joten oli löydettävä sellainen materiaali, joka kestäisi koviakin tyrskyjä ja suolaveden korrodoivaa vaikutusta. Tässä tapauksessa suurin tuulennopeus merellä sai olla kohtalainen (7 m/s), joka aiheuttaa vaahtopäistä aallokkoa (Ilmatieteen laitos 2013). Lauttaa käsittelee kaksi henkilöä ja sitä kuljetetaan peräkärryllä, joten huomiota tuli kiinnittää myös lautan massaan.

5.2.1 Hiiliteräs

Lautaan vaikuttavaa korroosiota voitiin käsitellä vaikuttavien ympäristöolosuhteiden mukaan, joita olivat jo aiemmin mainitut ilmastollinen korroosio sekä korroosio veden vaikutuksesta. On toki olemassa muitakin korroosion aikaansaajia, mutta kaksi edellä mainittua ovat lautan tapauksessa todennäköisimmät. Hiiliteräs olisi vaatinut pinnoittamisen, jotta se olisi saatu kestäväksi lautan käyttöolosuhteita. Pinnoittaminen olisi puolestaan lisännyt turhia kustannuksia. Vaihtoehtona olisi voitu käyttää ruostumatonta terästä ($Cr \geq 10,5 \%$), mutta sekään ei osoittautunut järkeväksi kustannusten ja massansa vuoksi.

Tavallinen hiiliteräs on helposti hitsattavaa, koska siihen ei muodostu alumiinin tapaan passiivatiokerrosta. Huono asia hitsauksen kannalta on hiili. Hiilipitoisuus seostamattomassa teräksessä tulisi hitsattavuuden takia olla $C \leq 0,18 \%$. Seosaineet otetaan huomioon hiiliekvivalentin avulla (kaava 11), jonka tulee olla karkenemishalkeamien kannalta $CEV \leq 0,41 \%$.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (11)$$

Kaavan perusteella teräs ei saa sisältää hiilen lisäksi liikaa mangaania, kromia, molybdeenia, vanadiinia, nikkeliä ja kuparia. Lautan materiaalilta vaadittiin hyvää hitsattavuutta, ja hiiliteräksestä olisi voitu helposti valita oikea seos, jonka hitsaus ei olisi muodostunut ongelmaksi.

Lautan kannalta oleellista materiaalin valinnassa oli myös taivutettavuus, koska ponttonit tehtiin levyistä. Hiiliteräs sallii pienen taivutussäteen sitkeytensä vuoksi, mutta koska pienin taivutuskulma oli 90° , tarvetta suurelle sitkeydelle ei ollut. Hiiliteräs on kohtuullisen halpa (harkko 110,0 US\$/t) ja kestävä materiaali, mutta suurimmiksi ongelmakohdiksi sen kannalta muodostuivat vesiolosuhteisiin tarvittava pinnoitus sekä tiheys (LME 2013). Tiheydellä (ρ) tarkoitetaan aineen massan suhdetta sen tilavuuteen (kaava 12):

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (12)$$

Lautan helpon käsiteltävyyden ja kantavuuden vuoksi sen massa tuli saada mahdollisimman alhaiseksi, mihin päästiin käyttämällä pienitiheyksistä materiaalia. Hiiliterästen tiheys vaihtelee seostuk-

sen mukaan, mutta vaihtelut ovat niin pieniä, että tiheys on yleensä aina $7,8 \text{ g/cm}^3$ veden tiheyden ollessa 1 g/cm^3 . Teräksen tiheys on siis melkein 8-kertainen verrattuna veden tiheyteen, joten tuli löytää toinen materiaali, jonka tiheys olisi lähempänä veden tiheyttä mutta samalla lujuusominaisuudet ja korroosionkesto jopa paremmat kuin hiiliteräksellä.

5.2.2 Merialumiini

Lautan käyttöolosuhteissa alumiinin alttius korroosiolle ilman pintakäsittelyä jäi hyvin pieneksi, mikä takaa sen soveltuvuus ponttonien ja muiden osien materiaaliksi vaikutti sopivalta. Koko lautta pyrittiin tekemään alumiinista, jotta galvaanisen korroosion mahdollisuus voitiin poissulkea. Alumiinin valintaa vahvisti myös suuresti sen kuuluminen kevytmetalleihin, joita ovat kaikki ne metallit joiden tiheys on alle 5 g/cm^3 . Alumiinin tiheyden ollessa $2,7 \text{ g/cm}^3$ se jäi reilusti tämän rajan alapuolelle ja voitti täten paikkansa lautan materiaalina. Kustannukset hiiliteräkseen verrattuna ovat korkeat (seostettu alumiini $1\,770,0 \text{ US\$/t}$), mutta muilta osilta alumiini oli ylivoimainen materiaali voittamaan valinnan.

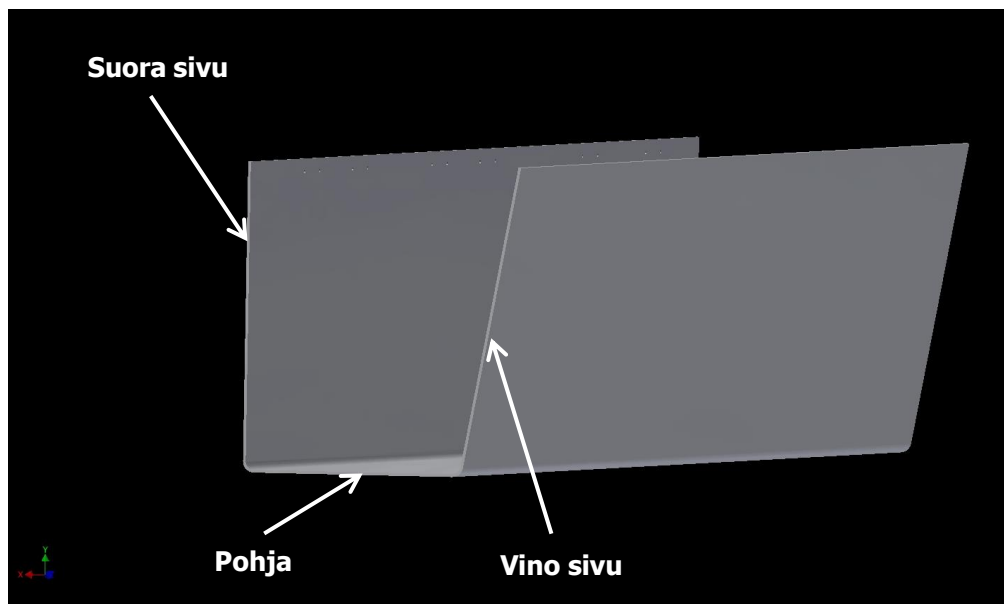
Lautassa ei voinut kuitenkaan käyttää mitä tahansa alumiinia, sillä sen tuli olla mahdollisimman helpposti hitsattavaa sekä hyvin korroosiota kestävä. Alumiinin hitsaus ei ole yksiselitteinen prosessi passivaatiokerroksen takia. Oksidikalvon poistaminen onkin yksi tärkeimmistä hitsauksen vaiheista, koska kalvot aiheuttavat hitsausvirheitä. Lautan hitsauksessa käytetään Mig-hitsausta (Metal Inert Gas), joka on helpoin menetelmä oksidikalvon poistamiseen. Mig-hitsauksessa käytetään nimensä mukaisesti inerttiä eli reagoimatonta suojaakaasua, joka on alumiinin tapauksessa yleensä puhdasta argonia. Suojakaasu suojaa alumiinin pintaa hapelta, ja se estää täten oksidikalvon muodostumisen. Hitsauspistoolin ollessa normaalisti plus-navassa valokaari poistaa kalvon itsestään. Alumiinin täytyy myös olla täysin puhdasta hitsauksen aikana huokosten muodostumisen välttämiseksi. (Koivisto ym. 2006, 174.)

Alumiinilajiksi valittiin täten merialumiiniksikin kutsuttu 5000-sarjan alumiini (EN AW-5083), jonka pääseosaineet ovat magnesium $4,5 \%$ sekä mangaani $0,7 \%$ (Mekaaniset ominaisuudet 2009, 43). Helpoiten saatavilla oleva muokkaustila alumiinilevylle oli H111, joka tarkoittaa muokkauslujittamista (Tilojen tunnukset 1993, 8). $0,2$ -venymisraja tälle kyseiselle muokkauslujitetulle alumiinilevylle oli 125 MPa ja maksimimurtolujuus 350 MPa , jotka osoitettiin laskennallisesti riittäviksi arvoiksi.

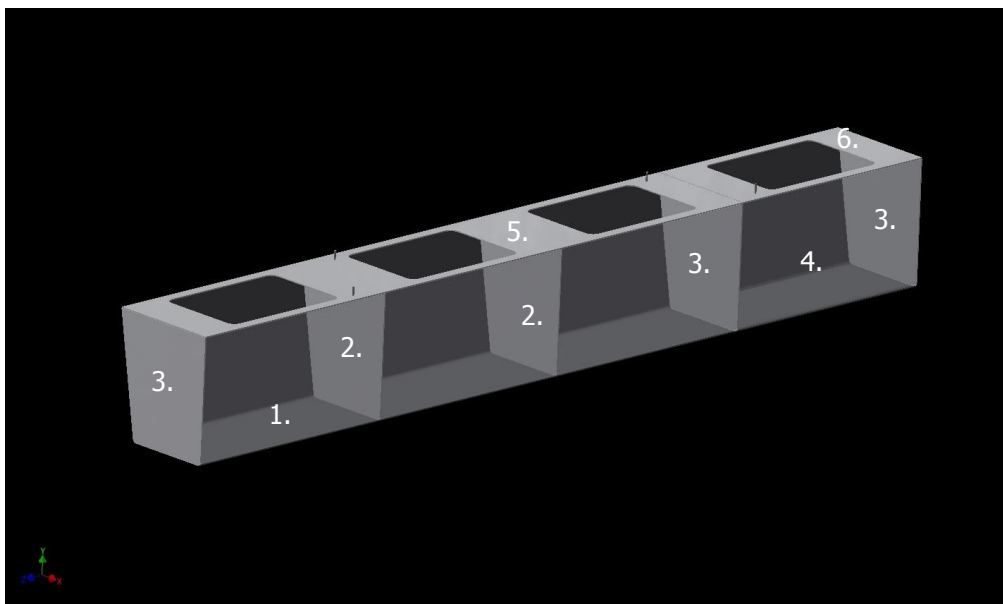
5.3 Ponttonien suunnittelu ja kantavuus

Lautan kaksi kantavaa elementtiä ovat ponttonit, joiden tehtävänä on tukea lauttaa sekä muodostaa lauttaa pinnan päällä pitävä fysikaalinen ilmiö, noste. Ponttonien suunnittelu lähti liikkeelle yhteistyössä yrityksen kanssa, jossa päätettiin niiden päämitat sekä varustelu. Suunnittelussa käytettiin hyväksi peilausta, jolloin yksi ja sama ponttoni kävi molemmille puolille. Ponttonien materiaalin valinnan jälkeen oli selvää, että ne tulisi tehdä alumiinilevystä. Levyaihio sai olla pituudeltaan 3 000 mm, leveydeltään 1 500 mm ja paksuudeltaan 5 mm. Aihion pituuden ja leveyden rajoitukset tuli ottaa huomioon särmättävyyden ja hitsauksen helpottamiseksi. Näistä edellä mainituista syistä johtuen ponttonit suunniteltiin kahdesta runko-osasta, jotka valmistusvaiheessa tullaan kiinnittämään toisiinsa hitsaamalla.

Ensimmäinen ja pisin runko-osa (kuva 4) on pituudeltaan 2 990 mm. Tämä mitta johtuu edellä mainituista aihion rajoituksista. Mitta ei ole tasan 3 000 mm, koska huomioon tuli ottaa rungon molempiin päihin hitsattavat päädyt. Toisesta runko-osasta ei ole erillistä osakuva, koska se eroaa runko 1:stä vain pituutensa puolesta. Ponttonin runkojen särmäys suunniteltiin kahdesta kohtaa, pyöristyksen sisäsäteen ollessa alumiinilaadulle sallitut 15 mm. Suoran sivun taivutuskulma oli jo nimensäkin perusteella 90° ja vinon sivun 80°. Runkoon tuli suunnitella vino sivu, jotta nosteen kasvu olisi suoraan verrannollinen ponttonin uppoumaan. Näin välttyttiin täysin suoran ponttonin yllättävältä käyttäytymiseltä. Rungolla on korkeutta 550 mm, pohjan suoran mitan ollessa 400 mm. Rungon yläosan leveys vaikutti suoraan kävelytason leveyteen, jonka vuoksi sen tuli olla 500 mm. Runkojen 1 ja 2 yhdistämisen jälkeen ponttonin kokonaispituus saatiin vaadittavaksi 4 000 mm (kuva 5).



KUVA 4. Ponttonin toinen runko-osa, runko 1

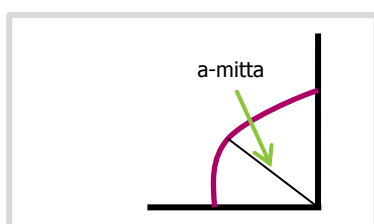


KUVA 5. Kokoamis- ja hitsausjärjestys

Ponttonin pää rakenne koostuu 6 erilaisesta osasta (kuva 5), joita ovat:

1. runko 1
2. laipio
3. pääty
4. runko 2
5. kansi 1
6. kansi 2.

Runko 1:een liitetään hitsaamalla laipiot molemmilta sivuiltaan, jonka jälkeen voidaan kiinnittää rungon 1 molemmat päädyt. Runko 2:een kiinnitetään pääty ja kokoonpano hitsataan runko 1:een. Lopuksi hitsataan molemmat kannet paikoilleen sekä viimeistellään laipioiden vesitiiviys hitsaamalla kannen 1 rei'istä laipiot kokonaan ympäri. Hitsauksen helpottamiseksi kansiin ja päätyihin jää 2 mm:n hitsausvara kaikille sivuille, jolloin a-mitta (kuva 6) saadaan riittävään, yli 3 mm:iin.



KUVA 6. Hitsin poikkileikkaus, johon on merkitty a-mitta

Kuten jo aiemmassa kappaleessa (kappale 3) kuvattiin, ponttoni muodostuu laipioista, jotka muodostavat pääponttonin sisälle 4 osastoa. Näiden osastojen tarkoitus on toimia säilytystilana akuille ja työkaluille. Yhden osaston tilavuus voidaan määrittää kaavan 13 avulla seuraavasti:

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$V = 0,24 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,24 \text{ m}^3,$$

(13)

jossa A on laipion pinta-ala ja L osaston pituus. Perusponttonien kokonaissäilytystilavuus saadaan edelleen kaavan 14 mukaan:

$$V_{\text{kok}} = 0,24 \text{ m}^3 \times 8 = 1,92 \text{ m}^3. \quad (14)$$

Jo perusponttoneissa on säilytystilaa melkein $2\,000 \text{ dm}^3$. Kun tähän vielä lisätään neljän lisäponttonin tilat, saadaan yhteensä $2\,910 \text{ dm}^3$ säilytystilaa. Kaikki tarvittavat työkalut mahtuvat näin ollen hyvin lauttaan kunhan niiden pituus vain pysyy oikeana.

5.3.1 Kantavuus

Yksi ponttonin tärkeimmistä toiminnoista on lautan pitäminen veden pinnalla olosuhteista riippumatta. Tämän kellumisen aikaansaa kokonaan tai osittain vedessä olevaan kappaleeseen vaikuttama nostevoima eli noste. Noste on yhtä suuri kuin kappaleen syrjäyttämän neste- tai kaasuerän massa (Suvanto 2003, 336). Tälle laille on olemassa myös kaava, jota kutsutaan Arkhimedeen laiksi (kaava 15):

$$F_{\text{noste}} = \rho \times g \times V_{\text{upp}}, \quad (15)$$

jossa ρ on kappaletta ympäröivän aineen tiheys, g putoamiskiiltvyys ja V_{upp} upotetun kappaleen tilavuus. Kappaleiden nostaminen vedessä on helpompaa, koska kappaleen massaa kumoaa vedessä vaikuttama nostevoima. Puu kelluu, koska sen tiheys on noin $0,5 \text{ g/cm}^3$, veden tiheyden ollessa 1 g/cm^3 . Läpimitaltaan 10 cm :n teräskuula painaa maan päällä $4,1 \text{ kg}$, mutta vedessä nostevoiman takia vain $3,5 \text{ kg}$. Jotta kuulan saisi kellumaan, sen tilavuuden pitäisi olla yli $4,1 \text{ dm}^3$.

Ponttonien kantavuuden mittauksessa tuli ottaa huomioon niiden aiheuttama noste sekä lautan kokonaismassa (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Lautan massat

MASSAT	kg
Miehistö (2 henkilöä)	160
Nosturi	160
Työkalut	150
Akusto	40
Moottori + polttoaine	55
Hapetin	150
Ponttonit kaikkine osineen	372
Etulisäponttonit	84
Takalisäponttonit	88
Yhteensä	1 259

Perusponttonien kokonaistilavuus saadaan ponttonin pään alan sekä pituuden tulona kaavasta 16

$$V_{\text{ponttonit}} = 0,244 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} = 1,952 \text{ m}^3. \quad (16)$$

Perusponttonien ollessa täysin upoksissa saadaan nostevoima Arkhimedeen lakia hyväksikäyttäen kaavan 17 avulla

$$F_{\text{noste}} = 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,952 \text{ m}^3 \approx 19\,150 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}. \quad (17)$$

Vastaukseksi saadaan nostevoima Newtonina, joka voidaan muuttaa helposti kilogrammoiksi jakamalla kaavan 17 tulos putoamiskiihtyvyydellä, jolloin tulokseksi tulee 1 952 kg. Ponttonien nostevoima on siis sama kuin niiden syrjäyttämän veden tilavuuden massa. Kaavasta olisi voinut myös jättää putoamiskiihtyvyyden kokonaan pois, jolloin vastaus olisi saatu suoraan kilogrammoina. Veden tapauksessa noste on helppo laskea, koska kilogramma määriteltiin alkujaan 1700-luvun lopun Ranskassa litran suuruisen vesimäärän massaksi. Veden tiheys ei ole toki aina samanlainen vaan muuttuu hieman lämpötilan sekä suolapitoisuuden mukaan ollen tiheintä + 4 °C:n lämpötilassa. Makean veden tiheys 4 asteisena on noin 0,999 g/cm³, kun samassa lämpötilassa meriveden tiheys on noin 1,027 g/cm³. Näin pienillä eroilla ei ollut lautan kantavuuteen vaikutuksia, joten veden tiheyden oletettiin olevan 1 g/cm³.

5.3.2 Syväys

Syväyksellä tarkoitetaan pystysuoraa etäisyyttä aluksen alimmasta kohdasta vesilinjaan eli toisin sanottuna, kuinka paljon vettä tarvitaan, jotta alus kelluu vapaasti (Satamaoperaattorit 2013). Lautan noste ilman lisäponttoneita oli siis 1 952 kg. Peruslautan syväyksen laskemiseksi tulee tietää lautan kokonaismassa ilman etu- ja takalisäponttoneja sekä hapetinta (taulukko 4)

$$m_{\text{peruslautta}} = 1\,259 - 88 - 84 - 150 \text{ kg} = 937 \text{ kg} . \quad (18)$$

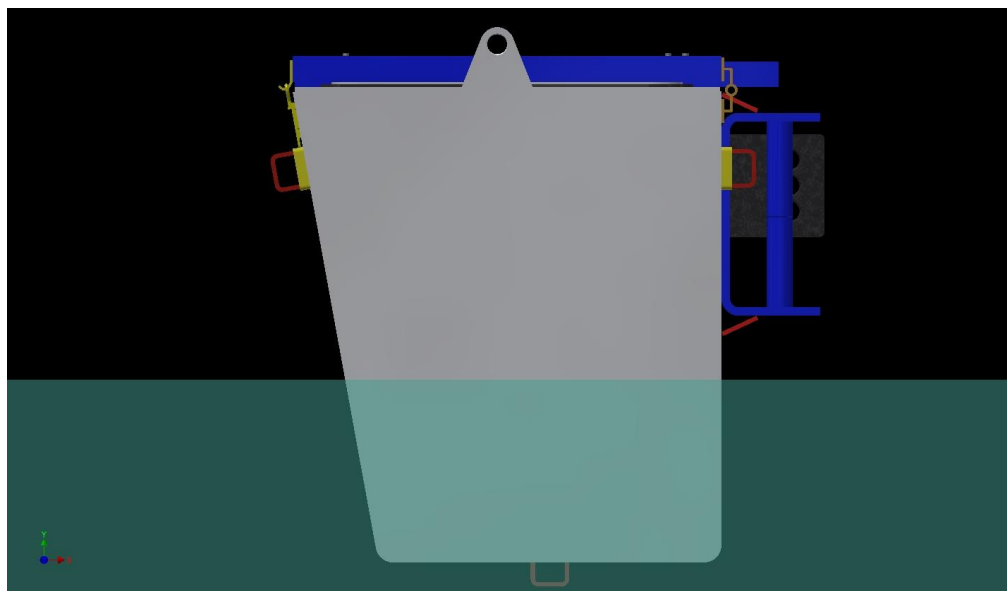
Kaavan 18 erotukseksi saadaan peruslautan massa. Kun tiedetään ponttoneiden kantavuus, niiden korkeus sekä lautan massa, voidaan laskea syväys. Ponttoneiden korkeus on 555 mm, joten syväys voidaan laskea helposti kaavan 19 avulla käyttämällä suoraan verrannollisuutta

$$\frac{1\,952 \text{ kg}}{937 \text{ kg}} = \frac{555 \text{ mm}}{X} \rightarrow X = 266 \text{ mm}. \quad (19)$$

Syväykseksi saadaan siis 266 mm, joka on 11,5 mm ponttonin puolen välin alapuolella. Ponttonit kantavat siis lautan massan erinomaisesti ja pystyvät hallitsemaan myös väliaikaisen lisäkuorman. Hapetinta nostettaessa lautta on paikoillaan, jotta se pysyisi mahdollisimman stabiilina. Kaavaa 19 soveltamalla voidaan edelleen laskea syväys hapetin nostettuna, jolloin saadaan tulokseksi 309 mm.

Lisäponttoneilla saadaan lauttaan lisää kantavuutta sekä stabiiliutta varsinkin meriolosuhteisiin. Ne kiinnitetään perusponttoneihin sivuilta ja pohjasta käyttämällä kolmea lavalukkoa. Lisäkantavuutta lisäponttoneilla saadaan 940 kg kokonaiskantavuuden ollessa yhteensä 2 892 kg. Lisäponttoneilla varustettuna lautan syväys on 213 mm (kuva 7) ja hapetin nostettuna 242 mm. Syväykset ovat suuntaa antavia, sillä ne ovat tosia vain massojen jakaantuessa tasaisesti lautalle. Vaikutukset syväykseen esimerkiksi miehistön liikkeessä lautalla ovat kuitenkin niin pieniä, että niitä ei ole tarpeen käsitellä.

Lautan kantavuuden perusteella voidaan johtaa sen kuollut paino, joka tarkoittaa aluksen lastin sekä henkilöiden suurinta yhteismassaa, jonka lautta voi kantaa uppoamatta (Satamaoperaattorit 2013). Taulukon 4 mukaan lautan yhteismassa on 1 259 kg. Tämän lisäksi lautalle voidaan ottaa lisämassaa vielä 1 551 kg ennen kuin kuolleen painon raja ylittyy. Lauttaa ei tulisi kuitenkaan koskaan lastata niin täyteen, koska syväys on silloin 539 mm, joka on 97 % ponttonin korkeudesta.



KUVA 7. Vesiraja lisäponttoneilla

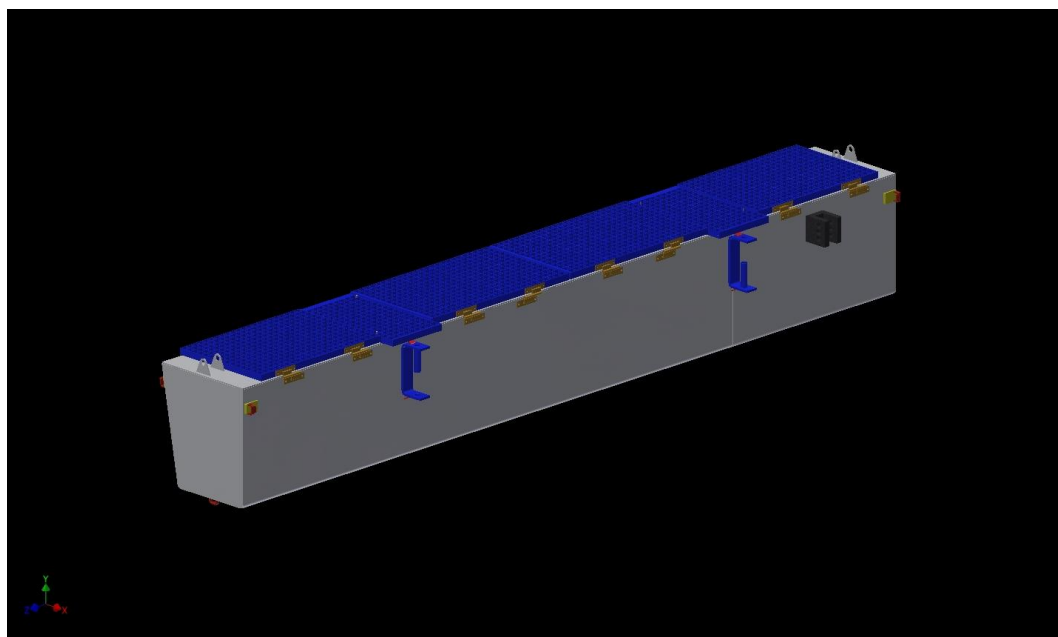
5.4 Taittomekanismi

Suomen tieliikennelain mukaan peräkärryn leveys saa olla enintään 2,6 m. Lautta on käyttökunnossa 2,7 m leveä, joten sen leveys tuli saada kuljetuskunnossa pienenemään vaatimusluettelossa mainittuun 1,7 m:iin. Tämän vuoksi täytyi suunnitella taittomekanismi. Tehtävä oli haastava, koska lautan liikkuvat osat lisääntyivät ja käytettävissä oleva tila väheni. Lautan taittomekanismin suunnittelussa auttoivat ratkaisevasti luonnostelu ja kehittelyvaihe, joiden yhteistuloksena syntyi lopullinen mekanismi. Oli jo alusta asti selvää, että lautan muinakin materiaaleina käytettäisiin mahdollisimman paljon alumiinia, joten taittomekanismikaan ei ollut poikkeus.

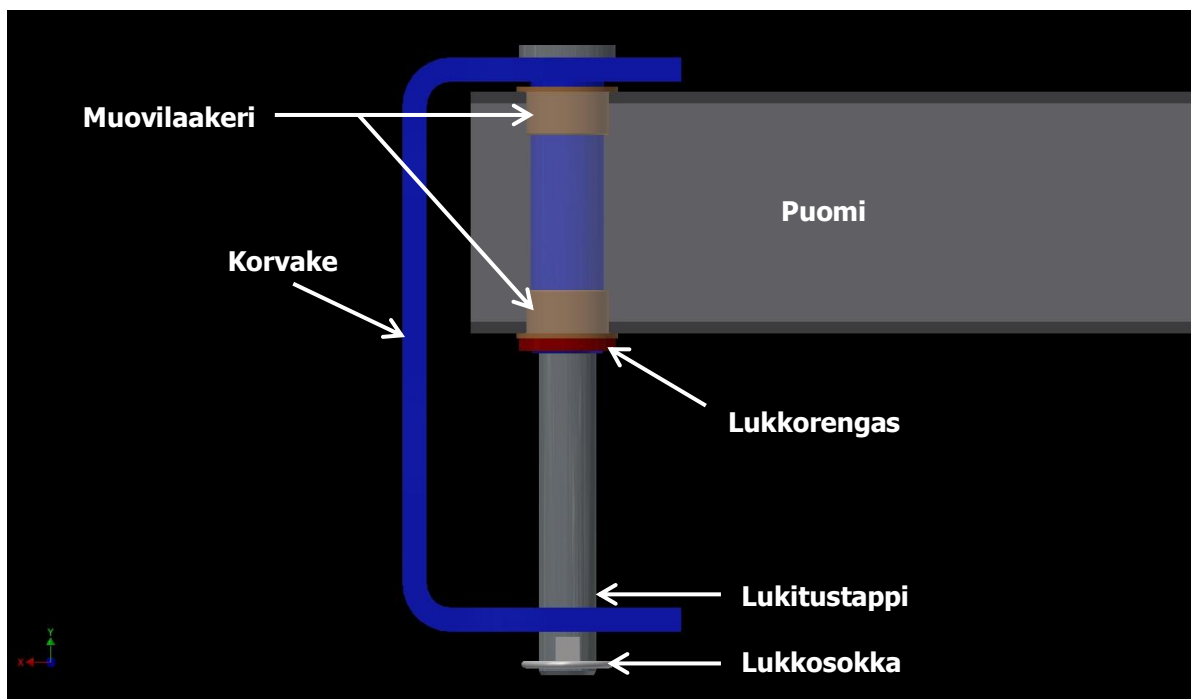
Kaikki lähti liikkeelle kuvan 2 luonnoksesta, jonka avulla hahmoteltiin perustapaus. Lautan ponttonien sisäleveyden piti olla vaatimusluettelon mukainen 1 650 mm, jotta hapetin saataisiin nostettua vaivattomasti ponttonien välistä. Tämä kyseinen sisäleveys määrittä myös taittomekanismin puomien

pituuden. Luonnostelun edetessä kävi selväksi, että puomeja ei voinut laittaa liukaturvaritilöiden ja avattavien luukkujen vuoksi alkamaan ponttonien päältä. Parhaimmaksi paikaksi puomeille osoittautui lopulta ponttonien suora sisäpinta. Puomien rakenteen valinnassa oli esillä kaksi vaihtoehtoa: teleskooppi ja päällekkäiset puomit. Teleskooppiuomit osoittautuivat liian rajoittuneeksi kuljetuskuntoon asettamisen kannalta ja niiden kokoon laittaminen olisi ollut ongelmallista suuren voimantarpeen takia. Näiden seikkojen vuoksi päällekkäiset puomit (80 x 60 x 4 mm) voittivat valinnan.

Puomien kiinnittäminen ponttonien suoraan sisäpintaan oli helpoin toteuttaa alumiinikorvakkeen avulla (kuva 9). Korvakkeen paksuus on 10 mm, ja se hitsataan ponttoniin kiinni taivutettujen reunojen kohdalta. Lisäjäykkyyden varmistamiseksi korvakkeeseen hitsataan vielä erilliset tuet. Lautan kuljetuskuntoon taittamisen aikana puomin täytyy olla herkkäliikkeinen, mikä aikaansaadaan Iglidurin J-luokan muovilaakereilla. Laakerit ovat hyvin kulutusta kestävätkä täysin huoltovapaat, mikä entisestään lisää lautan käyttöastetta. Niiden vaurioitessa ne voidaan poistaa helposti vaurioittamatta alumiinipalkin vastapintaa.



KUVA 8. Vasen ponttoni varusteltuna

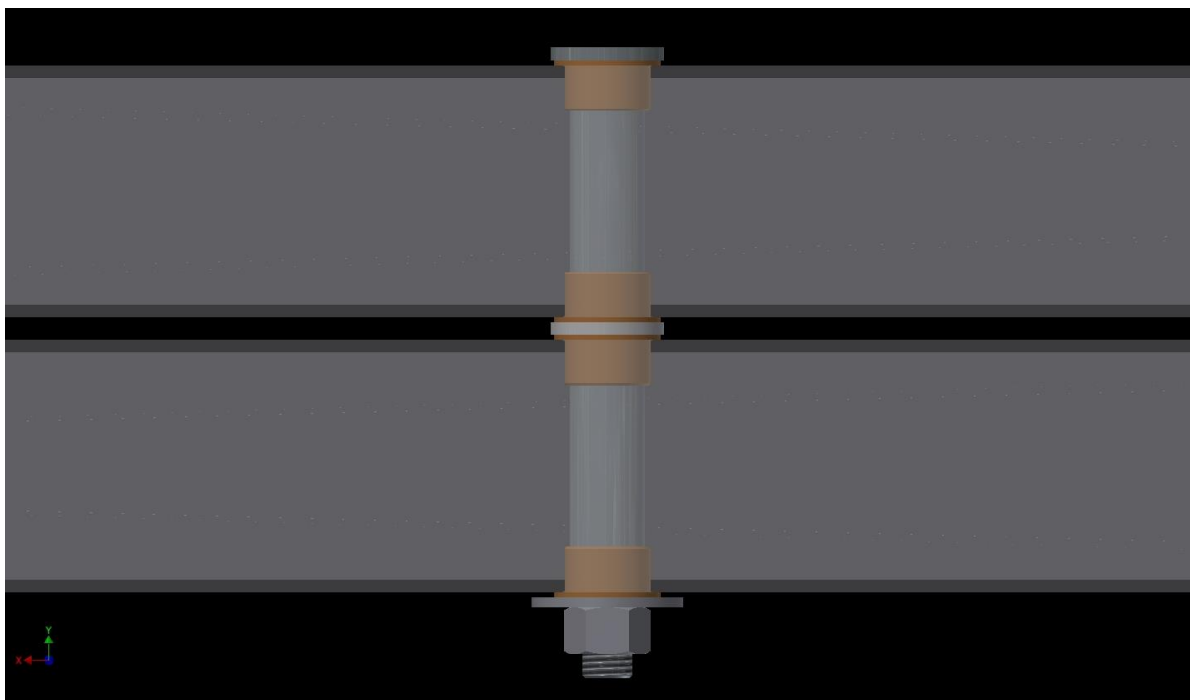


KUVA 9. Korvake ja puomi

Jotta puomi saatiin pysymään korvakkeessa kiinni lautan taittamisen aikana, piti suunnitella mahdollisimman helppokäyttöinen järjestelmä, jonka kokoonpano ei tulisi aiheuttamaan ongelmia. Paras ratkaisu tähän oli $\text{Ø}30$ mm putken sijoittaminen korvakkeeseen. Puomit piti saada taittamisen aikana menemään limittäin toistensa ylä- ja alapuolelle, jonka takia korvakkeet piti kääntää 180° toisiinsa nähden (kuva 8). Tämä aiheutti ongelmaa niiden puomien kiinnityksessä, joissa korvakkeen putki jäi yläpuolelle. Taittamisen aikana painovoima ja ponttonien rasitus olisi pudottanut ilman kiinnitystä olevan puomin ja aiheuttanut lautan hajoamisen. Ratkaisuna suunniteltiin pidätinruuveilla kiinnitettävä lukkorengas, joka estää ylemmän puomin putoamisen taittamistilanteessa.

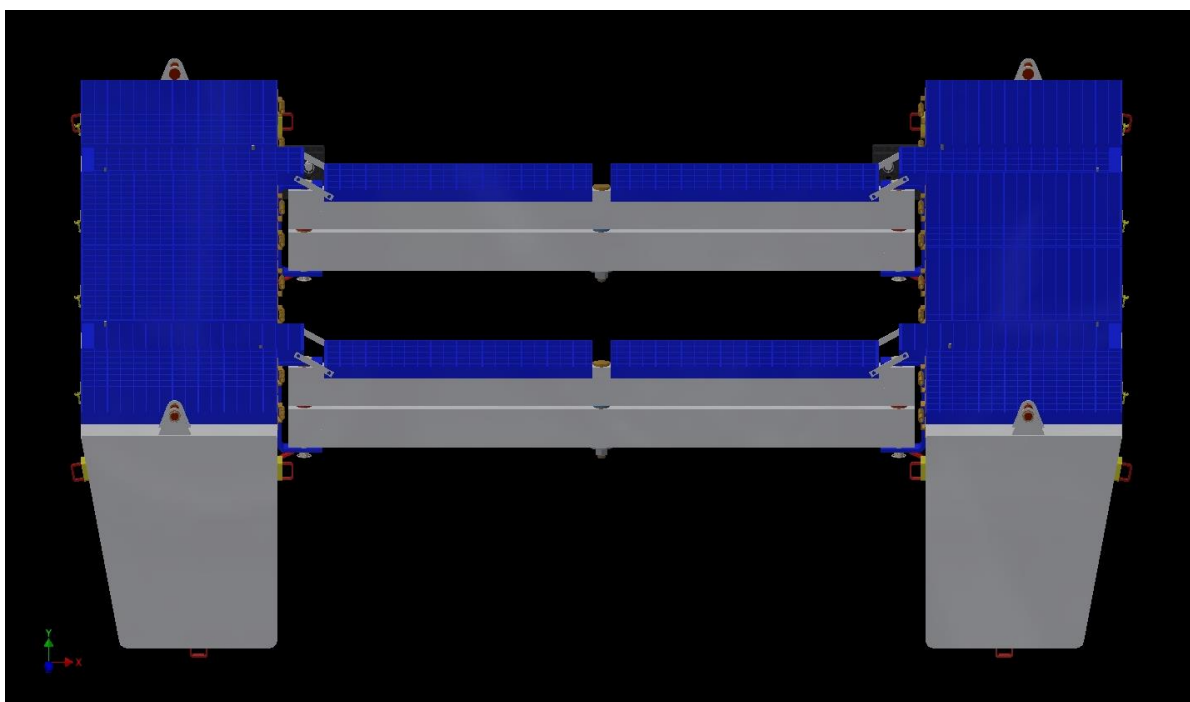
Puomit tulee saada linkkuun jouhevasti sekä helppokäyttöisesti kahden miehen voimin. Tämän vuoksi täytyi suunnitella puomeihin kiintopiste (kuva 10), joka koostuu: lukitustapista, muovilaakereista, välilevystä sekä aluslevystä ja mutterista. Paras paikka kiintopisteelle oli lautan keskikohdassa eli 825 mm ponttonin suorasta sisäsivusta toiseen ponttoniin päin. Kun puomien kiintopiste on lautan keskellä, kokoontaittumisen tapahtuu symmetrisesti ja molemmat puolet saavat mahdollisimman paljon tilaa liikkua.

Kokoonpanotilanteessa muovilaakerit asennetaan ensin puomin $\text{Ø}34$ mm reikiin, jonka jälkeen laakeroitu pää pujotetaan korvakkeen putkeen ja lukitaan lukkorengaalla. Kun molempien ponttoneiden puomit yhdistyvät kuvan 11 mukaan, välilevy asennetaan puomien keskireikien väliin ja kiintopisteen $\text{Ø}30$ mm lukitustappi pujotetaan puomien läpi, jonka jälkeen se varmistetaan M20 aluslevyllä ja mutterilla. Kun molemmat puomit saadaan samaan linjaan korvakkeen kanssa, voidaan pujottaa $\text{Ø}24$ mm lukitustappi korvakkeesta läpi ja varmistaa lukkosokalla. Sama toistuu molemmilla puolilla ponttonia ja molemmissa taittomekanismeissa.

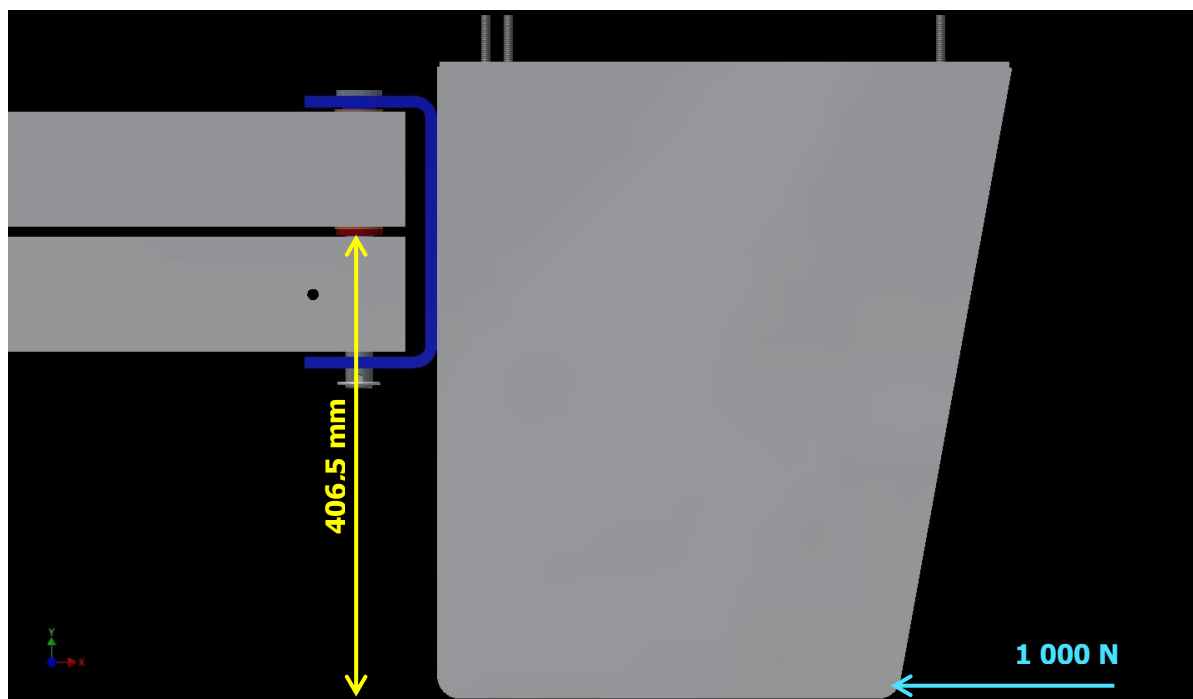


KUVA 10. Kiintopiste

Taittomekanismi muodostuu lautan tukirangaksi ja ottaa näin ollen vastaan suurimmat rasitukset. Kuten kuvasta 11 näkyy, lautan varusteluun kuuluvat alumiiniset liukaturvaritilät, jotka ulottuvat puomien päälle. Miehistön on näin ollen turvallista siirtyä ponttonilta toiselle. Miehistön kulkeminen puomeilla aiheuttaa niihin vähäisiä rasituksia, joita ei laskuissa tarvinnut ottaa huomioon. Suurin rasituksen aiheuttaja on lauttaan vaikuttava aallokko. Kuvassa 12 on esitetty yhdenlaisen aallon vaikutusta lautan lujuuteen.



KUVA 11. Taittomekanismi käyttökunnossa



KUVA 12. Aallon aiheuttama rasitus

Kuvitellussa kuvan 12 tilanteessa aalto aiheuttaa 1 000 N voiman lautan pohjan tasalle, mikä puolestaan aiheuttaa taivutusta korvakkeeseen. Pohja valittiin voiman vaikutuspisteeksi, koska silloin korvakkeeseen ja puomeihin kohdistuvat rasitukset ovat suurimpia pitkän vipuvarren takia. Keltaisella nuolella on esitetty matkaa pohjasta korvakkeen keskiosaan, jossa sijaitsee rakenteen neutraaliakseli. Kokonaisjännityksen laskemiseksi tulee tietää puomiin vaikuttava jännitys, taivutusmomentti sekä taivutusvastus (kaava 20).

σ_{kok} = kokonaisjännitys

σ_{puomi} = puomin jännitys

M_t = taivutusmomentti

W_z = taivutusvastus

$$\sigma_{\text{kok}} = \sigma_{\text{puomi}} + \frac{M_t}{W_z} . \quad (20)$$

Ensin voidaan laskea puomin taivutusmomentti, joka saadaan kaavan 21 mukaan ponttonin pohjaan vaikuttavasta voimasta sekä vaikutusmatkan pituudesta:

$$M_t = 1\,000\text{ N} \times 406,5\text{ mm} = 406\,500\text{ Nmm} . \quad (21)$$

Seuraavaksi tulee tietää taivutusvastus, jonka laskemiseksi tarvitaan taivutusneliömomenttia (I_z).

Kaavan 22 perusteella

$$I_z = \frac{72\text{ mm} \times 210^3\text{ mm}}{12} - \frac{60\text{ mm} \times 198^3\text{ mm}}{12} = 16\,754\,040\text{ mm}^4 . \quad (22)$$

Kaavassa 22 puomin suorakulmioprofiilin leveys hitsisaumoiheen kerrotaan korkeuden kuutiolla ja jaetaan kahdellatoista. Erotuksen avulla poistetaan tyhjä sisäprofiili ja saadaan näin ollen oikea tulos. Taivutusvastus saadaan edelleen kaavasta 23

$$W_z = \frac{I_z}{h/2} \rightarrow \frac{16\,754\,040\text{ mm}^4}{210\text{ mm}/2} = 159\,562,3\text{ mm}^3. \quad (23)$$

Seuraavaksi lasketaan puomin poikkileikkauksen ala, joka tapahtuu vähentämällä suuremman suorakulmion alasta pienempi (kaava 24)

$$A = (210\text{ mm} \times 72\text{ mm}) - (198\text{ mm} \times 60\text{ mm}) = 3\,240\text{ mm}^2, \quad (24)$$

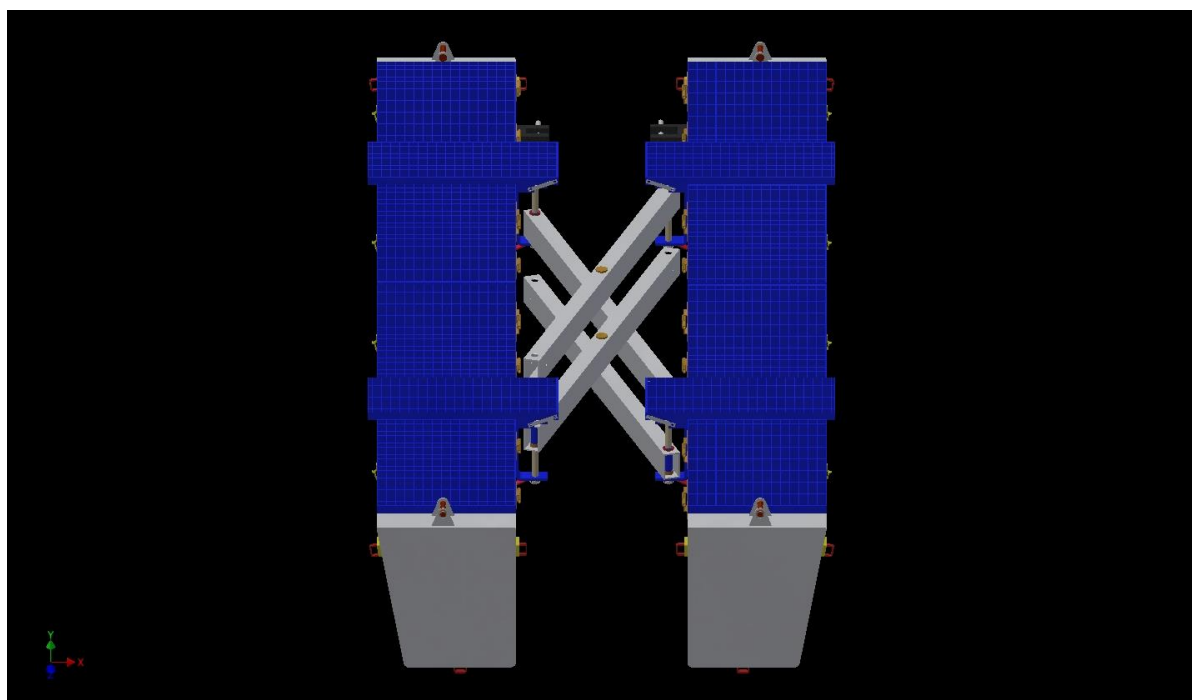
josta voidaan johtaa edelleen puomin normaalijännitys (kaava 25)

$$\sigma_{\text{puomi}} = \frac{1\,000\text{ N}}{3\,240\text{ mm}^2} = 0,31\text{ } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (25)$$

Lopuksi sijoitetaan kaikki tarvittavat arvot kaavaan 20, josta saadaan kokonaisjännitys (kaava 26)

$$\sigma_{\text{kok}} = 0,31\text{ } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + \frac{406\,500\text{ Nmm}}{159\,562,3\text{ mm}^3} \approx 3\text{ } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (26)$$

Kaavasta 26 voidaan päätellä, että puomit kestävät hyvin aallon tuoman rasituksen. Aallot liikkuvat kuitenkin oikeassa tilanteessa moneen suuntaan ja vääntävät lauttaa eri kohdista. Näin ollen myös rasitukset voivat olla moninkertaisia. Puomin venymisraja on tämän takia valittu 120 MPa:iin, jotta saataisiin lisää varmuutta lautan lujuteen.



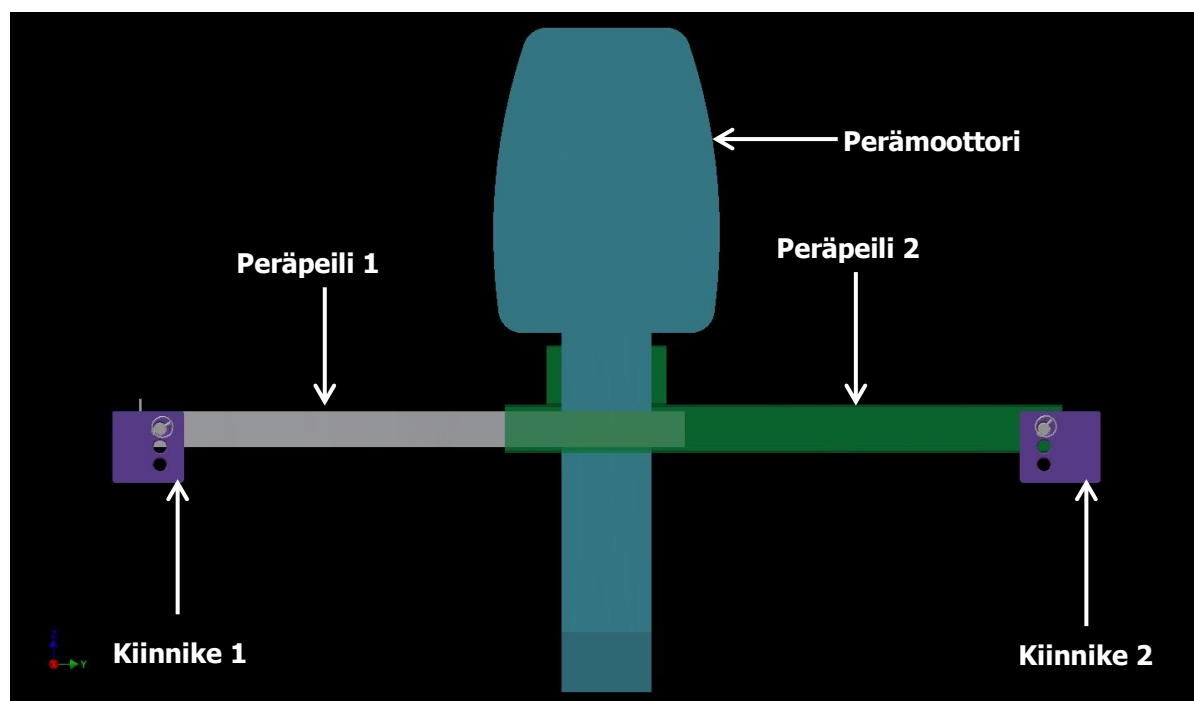
KUVA 13. Lautan osittainen kokoontaitto

Lopputulena taittomekanismin rakenne onnistui todella hyvin. Lautta saatiin taittumaan siististi kasaan (kuva 13) ja leveys väheni vaaditusta 1 700 mm:stä 391 mm, ollen lopulta 1 381 mm. Kuvassa 13 näkyvät vielä korvakkeissa puomien lukitustapit, jotka tietenkin poistetaan kokoontaittamisen yhteydessä.

5.5 Perämoottori

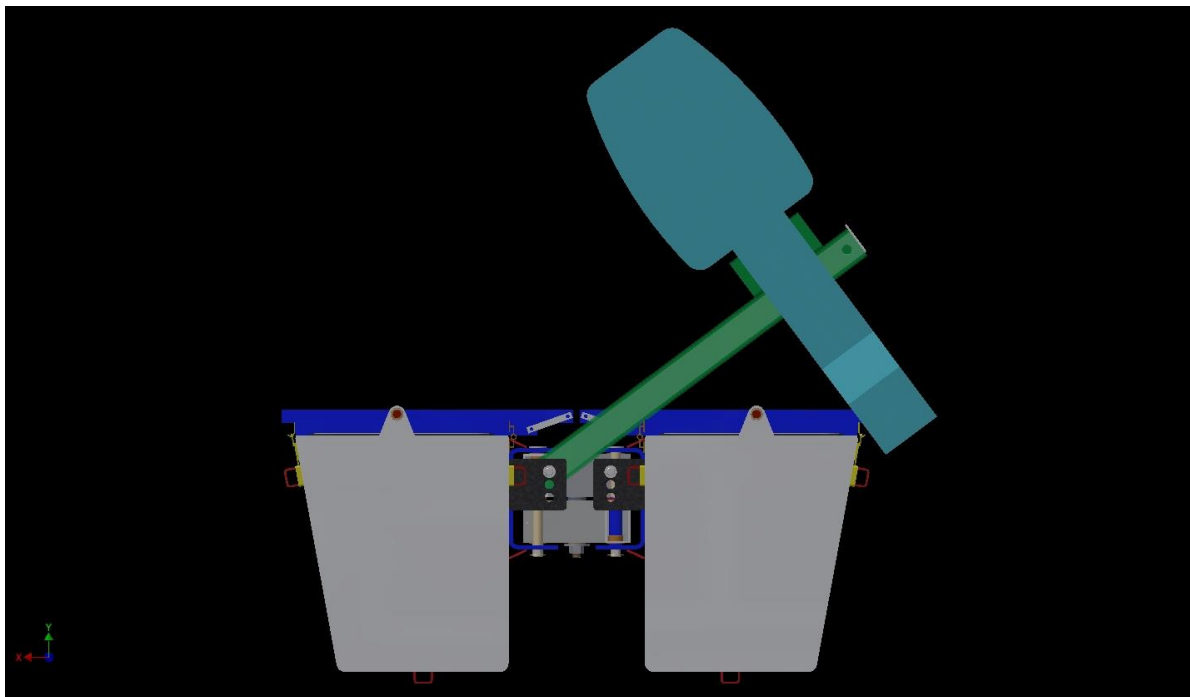
Lautan voimanlähteeksi tarvittiin moottori. Parhaaksi moottorityypiksi osoittautui perämoottori, sen helpon kiinnitettävyyden ja monipuolisen rakenteen vuoksi. Moottorilta vaadittiin myös tehoa lautan massan sekä kaapelinvedon takia, joten lopulta päädyttiin 14,7 kW:n vaihtoehtoon. Moottorin aikaansaamaan nopeuteen ei ollut tarvetta paneutua lautalla ajettavien lyhyiden matkojen sekä sen rakenteen vuoksi. Sitä vastoin kiinnityksen oikeanlainen toteuttaminen oli tärkeää, jotta lautan kokoontaittavuus ei huonontuisi.

Oleellinen osa moottorin kiinnitystä on peräpeili, johon moottori kiinnitetään ruuvien avulla. Tavallisissa veneissä peräpeili on yleensä veneen perässä osana sen runkoa. Lautan tapauksessa peräpeili jouduttiin konstruoimaan erillisistä osista, joita tuli yhteensä 5 kappaletta (kuva 14). Molemmat kiinnikkeet hitsataan kiinni perusponttoneihin. Kiinnike 1:n sisäleveys on 48 mm ja kiinnike 2:n 63 mm. Eriaiset leveydet johtuvat peräpeilin teleskooppirakenteesta. Molemmissa kiinnikkeissä on kolme erilaista kiinnityskorkeutta 30 mm välein, perämoottorin korkeuden muuttamiseksi. Peräpeili 1 (60 x 45 mm) tulee peräpeili 2:n sisään (80 x 60 x 4 mm). Peräpeili 1:n päädyssä on kiinni laippa, jotta kokoontaittilanteessa se ei mene peräpeili 2:n sisään. Moottorin kiinnitys tapahtuu peräpeili 2:n päälle hitsattavaan 100 x 64 x 4 mm:n profiiliin. Peräpeili lukitaan Ø20 mm tapeilla molemmilta puolilta.



KUVA 14. Perämoottori ja peräpeili

Moottorin kokoontaittaminen (kuva 15) tapahtuu nosturin avulla. Peräpeili 2 tuetaan nosturilla, mikä jälkeen irrotetaan peräpeili 1:n lukitustappi. Nosturilla nostetaan peräpeili niin ylös, kuin lautan taittaminen vaatii. Kokoontaittamisen jälkeen moottori lasketaan varovasti lautan varaan, jolloin se pysyy tukevasti paikoillaan kuljetuksen aikana. Käyttökuntoon taitto toistetaan päinvastaisessa järjestyksessä.

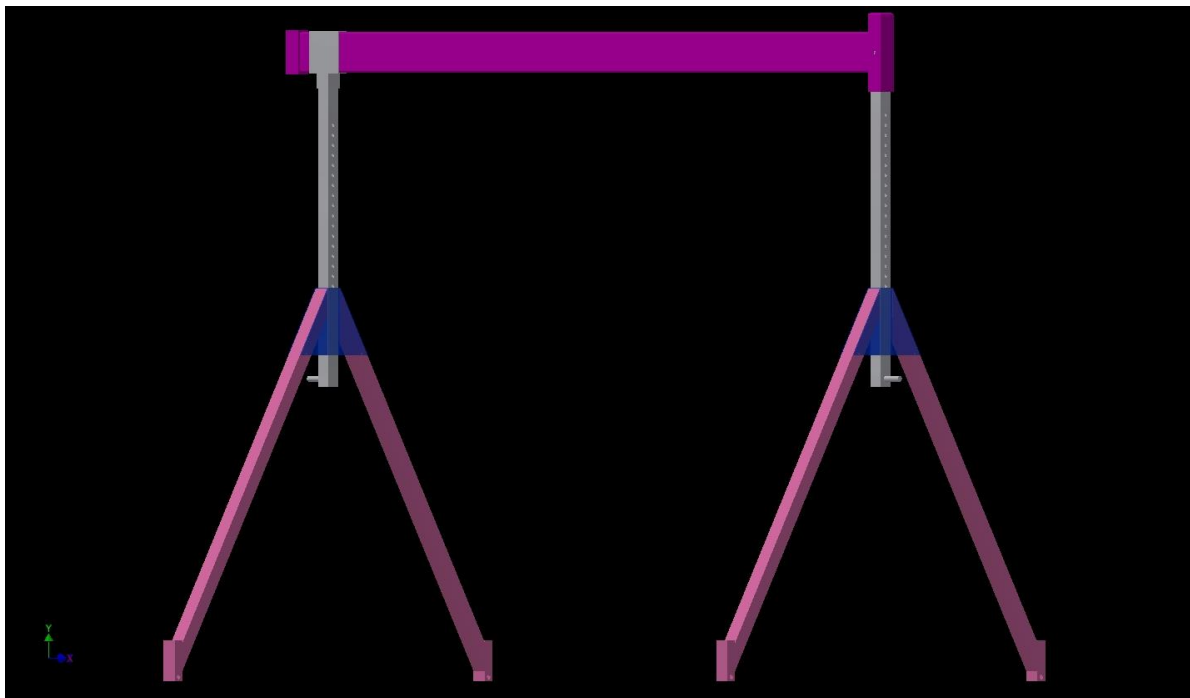


KUVA 15. Perämoottorin kokoontaittuminen

5.6 Nosturi

Nosturin suunnittelu osoittautui ongelmalliseksi, koska se oli osto-osa. Tästä syystä mittojen saanti oli hankalaa. Onneksi projektin lopussa saimme suurimman osan mitoista, joka edesauttoi nosturin taittomekanismin suunnittelua. Taittomekanismin suunnittelua hankaloitti edelleen vähäisten muutosten mahdollisuus, koska nosturin rakenteeseen ei saanut kajota liikaa lujuusominaisuuksien heikkenemisen takia.

Nosturiksi valittiin tyypiltään pukkinosturi (kuva 16) rakenteen keveyden sekä muokattavuuden vuoksi. Nosturi tuli asentaa keskelle lautaa, jotta hapettimen nosto ei aiheuttaisi lautan vakauteen suuria heittoja. Tähän päästiin pienellä nosturin jalkojen muokkauksella. Alkuperäisessä konstruktiossa jalkojen pohjassa oli kiinni alumiinilatta. Nosturin muokkauksessa alumiinilatta poistettiin ja jalan keskeltä porattiin läpi 23 mm:n reikä, joka tuli jalan pohjasta mitattuna 20 mm:n korkeudelle. Jalat asennettiin lautan kanteen hitsattuihin korvakkeisiin ja laakeroitiin. Lopulliseksi kiinnitykseksi niihin asennettiin $\varnothing 20$ mm:n kiinnitystapit, jotka varmistettiin lukkosokalla.



KUVA 16. Pukkinosturi

Nosturin jalkojen leveydessä on jo vakiona säätömahdollisuus. Tätä käytettiin hyväksi nosturin taittamisessa. Jalkojen leveys säätyy laakeroitujen kiinnitystappien ansiosta lautan mukana ja näin ollen nosturille ei tarvitse tehdä mitään ylimääräistä lautan taittamisen aikana. Kun lautta lukitaan käyttöasentoon, myös nosturi lukittuu paikoilleen. Korkeutta voi säädellä pystypuomien avulla. Nosturiin liitetään vielä erillinen sähkönostin, jonka avulla hapettimen nosto sujuu helposti nappia painamalla. Virtalähteenä nostimelle on perusponttonien kahdessa ensimmäisessä osastossa olevat 12 V:n akut.

5.7 Lisäponttonit

Viimeisenä varusteluna lautan suunnitteluun kuuluivat lisäponttonit (kuvat 17 ja 18). Niiden tarkoitus oli parantaa kantavuutta sekä lisätä vakautta. Lisäponttoneilla saatiin myös lisää säilytystilaa. Etummaisiiin ponttoneihin (kuva 17) tehtiin 35° kulma, jotta lautan dynamiikka vedessä parantui. Jokaisessa lisäponttonissa on kolme lavalukkoa, joilla voidaan suorittaa kiinnitys perusponttonissa olevaan vastakappaleeseen. Ponttonien keskittämistä helpottaa kahden sivulavalukon alla olevat keskityslevyt, jotka asettuvat perusponttonin vastakappaleeseen. Ritiälukuut ja ponttonien rungot on tehty perusponttonien rakennetta hyväksikäyttäen.



KUVA 17. Lisäponttoni, vasen-etu



KUVA 18. Lisäponttoni, oikea-taka

6 YHTEENVETO

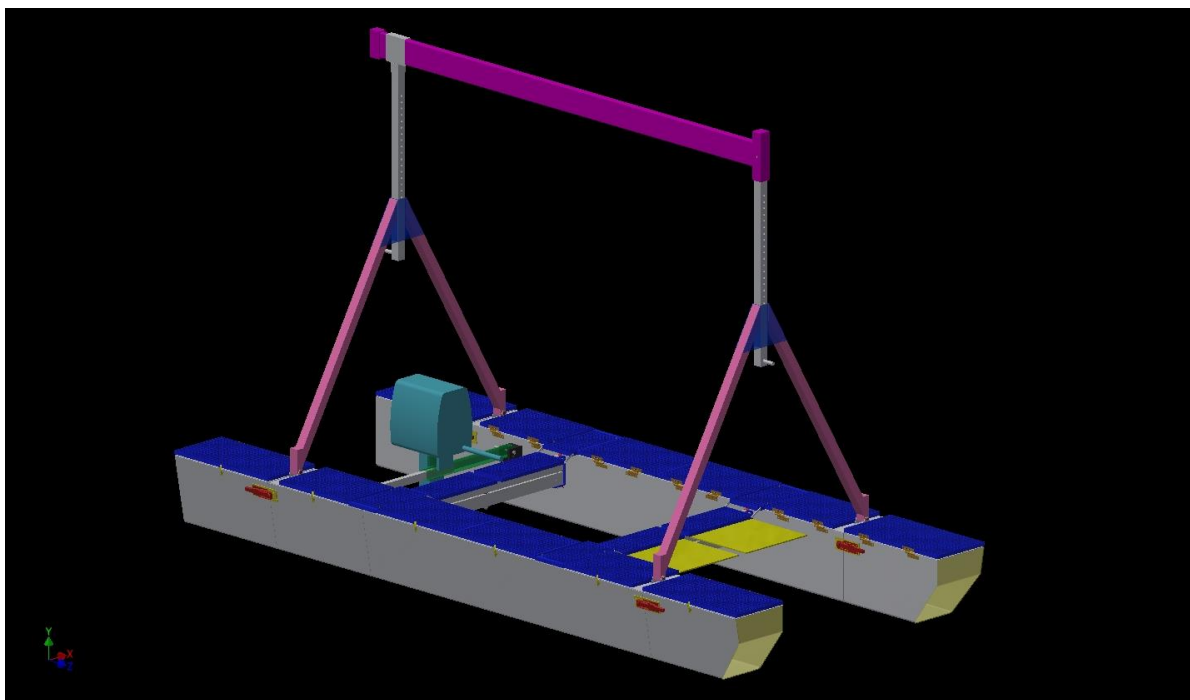
Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua yrityksen tarvitsema huoltolautta kaikkine vaatimuksineen. Suunnittelua edesauttoi suuresti tukeutuminen alkusuunnitteluun, luonnosteluun, kehittelyyn sekä viimeistelyyn. Nämä neljä vaihetta selkeyttivät suunnittelun aloitusta ja kulkua. Ohjaavan opettajan sekä yrityksen kanssa esille nousseet ideat auttoivat työn käsittelyssä ja loppuunsaattamisessa.

Työssä ongelmallisinta oli käyttö- ja kuljetuskunnon välissä kamppailu. Yhden osan muuttaminen vaikutti yleensä moneen muuhunkin osaan, mistä syystä muutosten tekeminen oli välillä työlästä. Parametrinen mallinnus kuitenkin helpotti nopeaa työskentelyä, koska mittojen muutos muutti suoraan tuotteen geometriaa. Näin ollen tarkat mitat voitiin mallinnuksen alussa jättää pois ja lisätä myöhemmin.

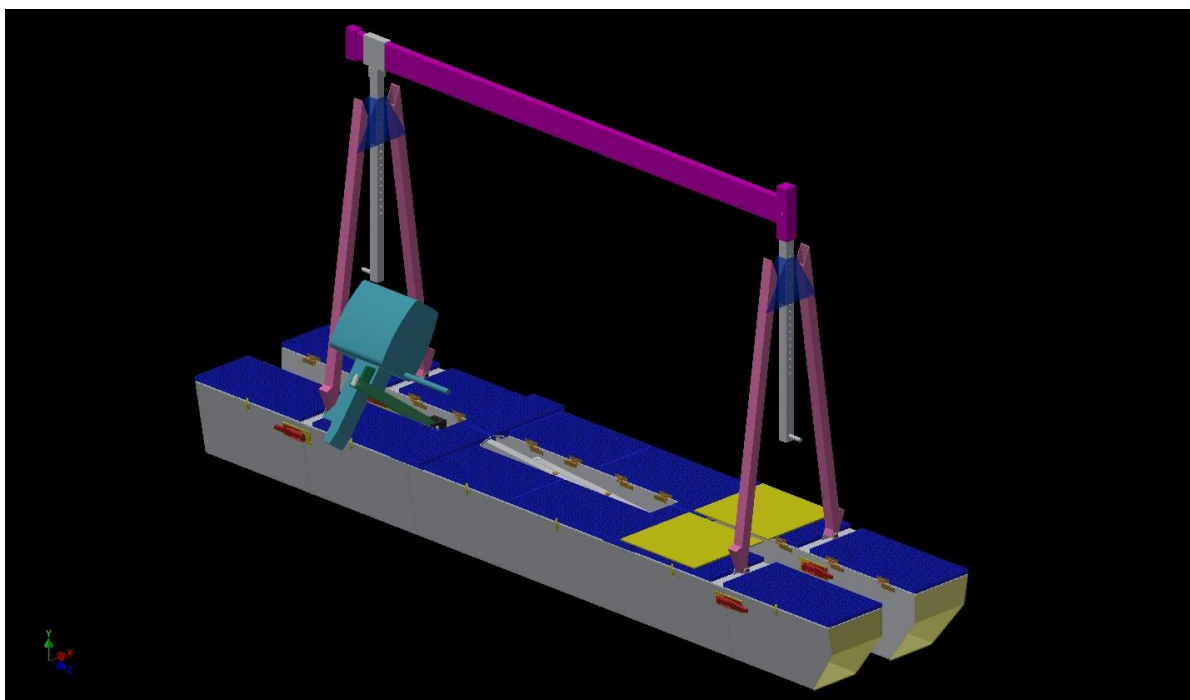
Lautan nosturin sähköistämisen suorittaa sähkötekniikkaan perehtynyt henkilö, koska nosturin virtalähteenä on kaksi melko voimakasta akkua. Lauttaa ohjataan aluksi tavallisena kahvaohjauksena istualtaan puomin päällä. Jatkossa lauttaan voidaan kehittää ohjauspulpetti, joka helpottaa miehistön työskentelyä. Opinnäytetyötä varten ohjauspulpetin suunnittelu olisi ollut liian paljon aikaa vaativa prosessi ja se jätettiin näin ollen tekemättä. Lautta saadaan vesille melko varmasti kesäkuun alussa. Alkuperäisessä suunnitelmassa lautan vesillelaskun piti tapahtua jo toukokuun aikana, mutta nosturin viivästymisen takia aikataulu hieman piteni.

Toukokuussa tapahtuvan valmistuksen jälkeen nähdään, toimiiko lautta yhtä hyvin käytännössä kuin teoriassa. Lautasta tehtyjen mallien ja piirustusten perusteella lautan toiminnan pitäisi olla moitteetonta. Kovassa aallokossa miehistön kastuminen on ilmeistä, koska lautta ei anna varsinaista suojaa olosuhteilta. Lauttaan voidaan kuitenkin lisätä muovista tehdyt roiskeläpät, jotka estävät suurimmat ponttoneista puomeihin aiheutuvat pärskeet (kuvat 19 ja 20).

Työn teosta kaksi ensimmäistä kuukautta meni lautan mallien sekä piirustusten tekemiseen ja viimeiset kaksi kuukautta teoriaosan kirjoittamiseen. Lyhyestä aikataulusta huolimatta lautasta saatiin aikaan käyttökelpoinen alus. Jos aikataulu olisi ollut pidempi, olisimme voineet tehdä lisämodifikaatioita muun muassa ohjauspulpetin lisäyksellä.



KUVA 19. Huoltolautta käyttökunnossa



KUVA 20. Huoltolautta kuljetuskunnossa

LÄHTEET

ALUMIINI JA ALUMIINISEOKSET. Levyt ja nauhat. Osa 2: Mekaaniset ominaisuudet. SFS-EN 485-2. Vahvistettu 2009. 4. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

ALUMIINI JA ALUMIINISEOKSET. Muokatut tuotteet. Tilojen tunnuksset. SFS-EN 515. Vahvistettu 1993. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

ANTILA, Anna-Maija, KARPPINEN, Maarit, LESKELÄ, Markku, MÖLSÄ, Heini ja POHJAKALLIO, Maija 2009. Tekniikan kemia. 10.–11. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

HARJULA, Erno ja KOSKINEN, Pirita 2007. Tuotekehitysprosessi. Lahden ammattikorkeakoulu. Liiketalouden ja markkinoinnin koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2013-04-15]. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11238/2007-11-29-03.pdf?sequence=1>

ILMATIETEENLAITOS 2013 [verkkosivu]. [viitattu 2013-04-19]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

KOIVISTO, Kaarlo, LAITINEN, Esko, NIINIMÄKI, Matti, TIAINEN, Tuomo, TIILIKKA, Pentti ja TUOMIKOSKI, Juho 2006. Konetekniikan materiaalioppi. 10.–11. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

KUNNOSSAPITOYHDISTYS RY 2004. Korroosiokäsikirja. 2. painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

LIIKENTEEN TURVALLISUUSVIRASTO TraFi 2013 [verkkosivu]. [viitattu 2013-04-17]. Saatavissa: http://www.trafi.fi/tieliikenne/ajokortit_ja_tutkinnot/ajokorttiluokat

LONDON METAL EXCHANGE 2013 [verkkosivu]. [viitattu 2013-05-2]. Saatavissa: <http://www.lme.com/>

PAHL, Gerhard ja BEITZ, Wolfgang 1990. Suomentaja: KONTTINEN, Uolevi. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Porvoo: WSOY.

PAHL, Gerhard, BEITZ, Wolfgang, FELDHUSEN, Jörg ja GROTE, Karl-Heinrich 2007. Engineering design, a systematic approach. 3rd edition. London: Springer.


SARVILINNA, Auri ja SAMMALKORPI, Ilkka 2010. Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. Ympäristökeskus. [viitattu 2013-03-04]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=116125&lan=fi>

SATAMAOPERAATTORIT 2013 [verkkosivu]. [viitattu 2013-04-22]. Saatavissa:
<http://www.satamaoperaattorit.fi/pages/fi/merenkulun-tietoa.php>

SUVANTO, Kari 2008. Tekniikan fysiikka. 1.–3. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

THE COLUMBIA ENCYCLOPEDIA, 6th edition 2012 [verkkosivu]. [viitattu 2013-04-10]. Saatavissa:
<http://www.encyclopedia.com/topic/catamaran.aspx>

VESI-EKO OY 2013 [verkkosivu]. [viitattu 2013-04-04]. Saatavissa:
<http://www.vesieko.fi/fi/palvelut-ja-tuotteet>

	<p style="text-align: center;">VAATIMUSLUETTELO</p> <p style="text-align: center;">Sivu 1(2)</p> <p style="text-align: center;">Päiväys: 26.2.2013</p> <p style="text-align: center;">Laatinut: Antti Markkanen</p>
<p style="text-align: center;">Projektin nimi:</p>	<p style="text-align: center;">Vedenhapetuslaitteiden huoltolautan suunnittelu</p>

Muuttaja	K/V/T	Kehitettävän tuotteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:	Vastaava
	<p style="text-align: center;">K</p> <p style="text-align: center;">V</p> <p style="text-align: center;">T</p>	<p>Kiinteä vaatimus: Vaatimuksen tulee toteutua kaikissa tilanteissa</p> <p>Vähimmäisvaatimus: Vaatimuksella on raja-arvo, joka on saavutettava ja jonka ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa</p> <p>Toivomus: Tarve, joka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan</p>	
	<p style="text-align: center;">K</p>	<p>Päävaatimukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lautan tulee olla turvallinen sisä- ja merivesiolosuhteissa kohtalaisella tuulennopeudella (7 m/s). • Lautta on varustettava nosturilla, jolla suoritetaan hapettimien nosto. • Lautta liikkuu perämoottorin avulla. • Lautan tulee olla kokoontaitettava. 	
	<p style="text-align: center;">K</p> <p style="text-align: center;">K</p> <p style="text-align: center;">V</p>	<p>Pituus: 4000 mm. Lisäponttoneilla saavutettava kokonaispituus 6000 mm.</p> <p>Leveys: käyttöasennossa ponttonien vapaaväli enintään 1650 mm. Kuljetusasennossa kokonaisleveys enintään 1700 mm.</p> <p>Korkeus: Muuttuva</p>	

	V	Massa: kuljetusperävaunun ja lautan massa enintään 750 kg.	
	K	Kantavuus: brutto vähintään 2000 kg. Netto vähintään 1000 kg.	
	K	<p>Ponttonien mitat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korkeus 555 mm. • Ponttonien sisäpinnan tulee olla pystysuora. • Pohjan suoramitta 400 mm. • Kannenleveys 500 mm. • Kaltevuuskulma määräytyy levyaihion oikaistun pituuden 1490 mm mukaan. • Aihion mitat 1500 x 3000 x 5 mm. 	
	K	<p>Varustelu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lauttaan kiinnitetään hitsaamalla pukkinosturi (työkuorma 1000 kg), jonka tulee taittua kokoon kuljetusasennossa. • Pääponttonien sisälle painetiiviit osastot metrin välein. • Jokaisessa osastossa tulee olla painetiiviit saranoidut luukut työkalupakkeja varten. Luukun mitat 600 x 400 mm. 	
	K	<p>Materiaalivaatimukset:</p> <p>Lautan on oltava merivedenkestävää ja hitsattavaa magnesium seostettua alumiinihutuplevyä, jonka Mg pitoisuus on vähintään 3 %.</p>	
	K	<p>Turvallisuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lauttaa on voitava käyttää turvallisesti jäätä muodostavissa olosuhteissa. • Kansilevyyn on kiinnitettävä helposti vaihdettavat alumiiniset ritilälevyt liukkauden torjumiseksi. • Lautan vakavuudesta ja viippauksesta ei saa aiheutua vaaraa työntekijöille. • Ei teräviä kulmia työskentelyalueelle. 	
	K	<p>Valmistuskustannukset:</p> <p>Enintään 12 000 €.</p>	
	K	<p>Tieliikenne:</p> <p>Lautan tulee olla Suomen tieliikennelain mukaisessa kuljetusasennossa. Perävaunun leveys enintään 2,6 m.</p>	