

Riku Kyllönen

ROBOTTIVENEEN RUNGON KONSEPTISUUNNITTELU

ROBOTTIVENEEN RUNGON KONSEPTISUUNNITTELU

Riku Kyllönen
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Riku Kyllönen
Opinnäytetyön nimi: Robottiveneen rungon konseptisuunnittelu
Työn ohjaaja: Helena Tolonen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2018 Sivumäärä: 54

Työssä kehitettiin havainnollistava 3D-konseptimalli siitä, millaisia autonomisen robottiveneen runkorakenne ja toiminta voisivat olla. Työn tilaajana toimi Aquamarine Robots Oy, jonka nykyisen robottiveneen runkorakenteessa havaitut rakenteelliset ja toiminnalliset ongelmat johtivat uuden runkorakenteen konseptisuunnittelun tilaamiseen.

Suunnittelussa kehitettiin osaratkaisuja, jotka täyttäsivät työn tilaajan asettamat toiminnalliset, rakenteelliset sekä esteettiset vaatimukset ja jotka voitaisiin yhdistää johdonmukaiseksi ja toteutuskelpoiseksi kokonaisuudeksi. Tärkeimpiä vaatimuksia olivat riittävän pienet ääriimitat, riittävän suuret ja helposti tavoitettavat laitetilat, kyky toimia matalassa vedessä, kuljetuksen ja käytön aikana syntyvien rasiusten sieto ja orgaaninen muotoilu.

Rungon muotoilussa hyödynnettiin teknistä vertaiskehittämistä poimimalla piirteitä olemassa olevista vesialuksista. Näitä olivat esimerkiksi matalan syväyksen kalastusveneiden laakea pohja ja katamaraania muistuttavan polkuveneen tunnelilla jaettu vettä syrjäyttävä tilavuus. Aluksen yleisilmeen määrittävänä muotoilureferenssinä käytettiin ryhävalasta, koska nykyinen alus on muotoiltu myös valaan mukaan.

Konseptimallin suunnittelussa ja simuloinnissa käytettiin SolidWorks 2017 -CAD-ohjelmistoa. Valmiilla konseptimallilla kyettiin havainnollistamaan laitteen muotoilu, rakenteen osat sekä niiden valmistettavuus ja moottoroidun perämoottoreiden laskumekanismien toiminta. Mallilla tehdyn virtausanalyysin suuntaa antavista tuloksista voitiin arvioida, että aluksen geometria ei aiheuta merkittäviä ongelmia 5 solmun nopeudessa.

Konseptimallista kyettiin osoittamaan, että rakenne täyttää kaikki määritettävissä olevat mitoituksen, laitteiston käytettävyyteen ja aluksen toimintoihin liittyvät vaatimukset. Hankalasti määritettäviä tai jatkokehitystä edellyttäviä ominaisuuksia kuten rasiuksen sietoa ja virtausvastusta pyrittiin arvioimaan objektiivisesti. Konseptiehdotuksen rakenteen todettiin täyttävän suurimman osan asetetuista vaatimuksista ja sitä voidaan täten pitää onnistuneena. Konseptimallia tai sen osia voidaan käyttää tulevaisuudessa jatkokehityksen ja mahdollisen tuotteistamisen perustana. Työn tilaaja oli tyytyväinen opinnäytetyön lopputuloksiin ja piti konseptia toteutuskelpoisena.

Asiasanat: vene, robotti, teollinen muotoilu, konseptisuunnittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 NYKYINEN ALUS.....	6
2.1 Aluksen toiminta.....	7
2.2 Runkorakenteessa havaitut ongelmat.....	10
3 UUELLE RUNKORAKENTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET.....	11
4 KONSEPTIMALLIN LUOMINEN.....	13
4.1 Suunnittelutyön esitystapa.....	14
4.2 Muotoilureferenssit.....	15
5 RUNGON MUOTOILU.....	18
5.1 Rungon yksityiskohtainen muotoilu.....	20
5.1.1 Rungon yläpuolisko ja huoltoluukku.....	20
5.1.2 Rungon alapuolisko.....	22
5.2 Rungon osien valmistustekninen tarkastelu.....	25
6 RUNGON RAKENTEELLINEN VIIMEISTELY.....	28
7 PERÄMOOTTORIN LASKUMEKANISMI.....	30
7.1 Mekanismin luonnos.....	30
7.2 Mekanismin konseptimalli.....	33
8 ALUKSEN KONSEPTIMALLI.....	38
8.1 Sisäiset laitetilat.....	40
8.2 Aluksen virtausanalyysi.....	41
8.3 Aluksen väritysehdotukset.....	44
9 KONSEPTIN ARVIOINTI.....	47
9.1 Vaatimusten täyttymisen arviointi.....	47
9.2 Muut toiminnot.....	51
9.3 Johtopäätös ja saatu palaute.....	51
10 YHTEENVETO.....	52
LÄHTEET.....	53

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Aquamarine Robots Oy, joka on vuonna 2013 Oulun yliopiston oheisyrittäjänä perustettu robottijärjestelmiä myyvä, vuokraava ja operoiva yritys. Yrityksen päätuote on robottivenejärjestelmä, joka koostuu anturialustana toimivasta veneestä, pilvipohjaisesta ohjausjärjestelmästä sekä käyttökohteen ja mittaustehtävän mukaan kustomoidusta anturoinnista ja apulaitteistosta. (1, [linkki YRITYS](#), [linkki PALVELUT](#), [linkki TUOTTEET](#).) Yrityksen nykyisen robottiveneen runkorakenteessa havaitut ongelmat ovat johtaneet laitteen jatkokehityksen tarpeeseen.

Työ on rajattu käsittelemään rungon ja sen mekanismien konseptisuunnittelua mekaniikkasuunnittelun ja teollisen muotoilun näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella havainnollistava konseptimalli siitä, millainen päivitetty robottiveneen rakenne voisi olla.

Konseptimallissa tavoitellaan nykyistä laitteistoa parempaa toimivuutta, helpompaa käsiteltävyyttä, runkorakenteeseen paremmin integroituja toimintoja ja esteettisesti miellyttävää muotoilua. Työn lopputuloksena syntyvää konseptimallia voidaan käyttää designin tarkasteluun, ehdotetun rakenteen toiminnallisuuden arvioimiseen sekä perustana mahdolliselle jatkokehitykselle.

Suunnittelussa hyödynnetään teknistä vertaiskehittämistä eli technical benchmarkingia, jossa nykyisestä ja vastaavista laitteista löytyviä, toimivaksi havaittuja osaratkaisuja ja -toimintoja sisällytetään konseptimallin rakenteeseen. Luonnostelu, suunnittelu ja mallin analysointi tehdään SolidWorks 2017 -CAD-ohjelmaa ja sen laajennuksia käyttäen.

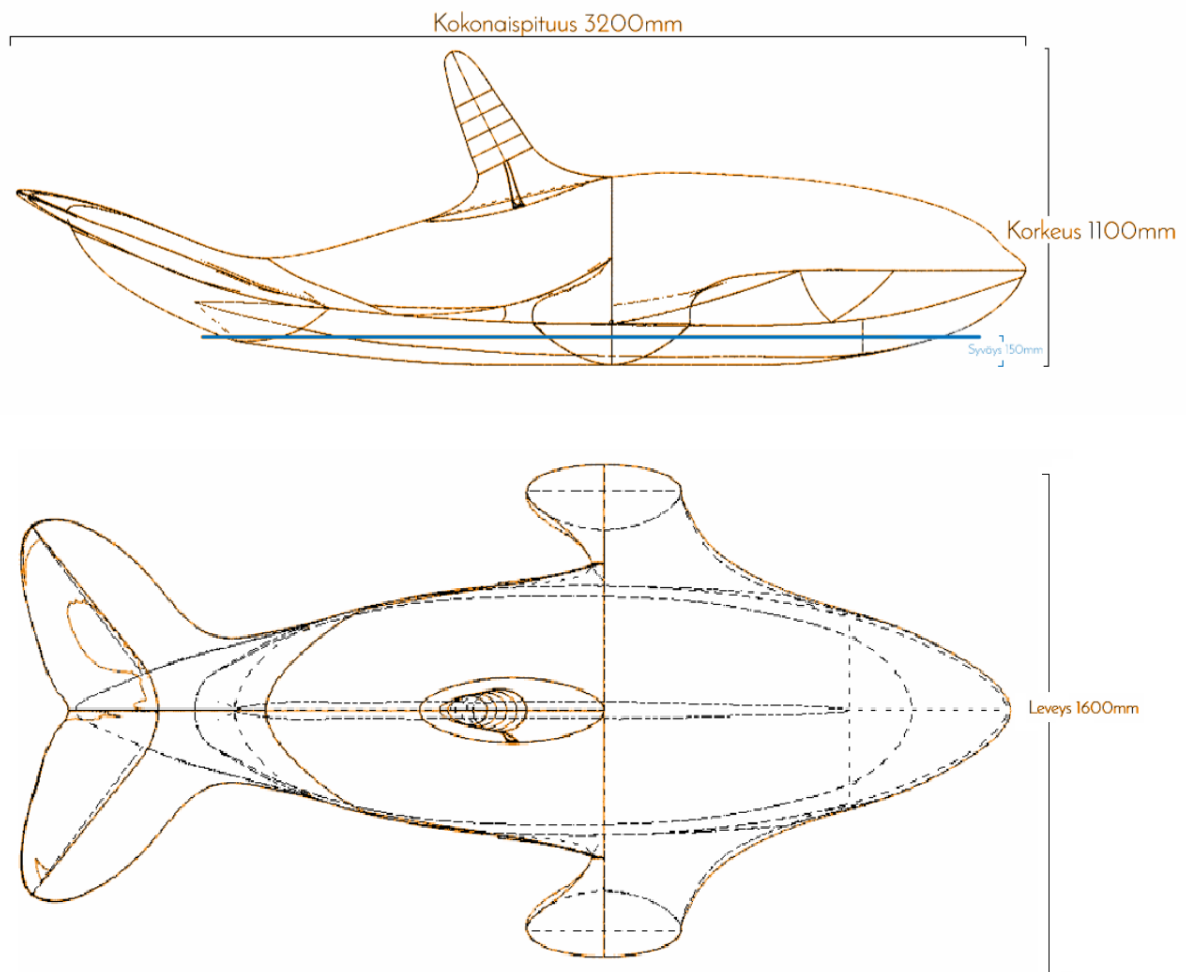
2 NYKYINEN ALUS

Aquamarine Robots Oy:n miehittämättömän aluksen runkona toimii mittatilaustyönä teetetty lasikuituvalmisteinen trimaraani eli kolmirunkovene, joka on muotoiltu muistuttamaan miekkavalasta (kuva 1). Rintaeviä muistuttavat sivurungot toimivat alusta vakauttavina ponttoneina, joihin laitteen voimanlähteinä toimivat sähköperämootorit kiinnitetään.



KUVA 1. Robottiveneen runko

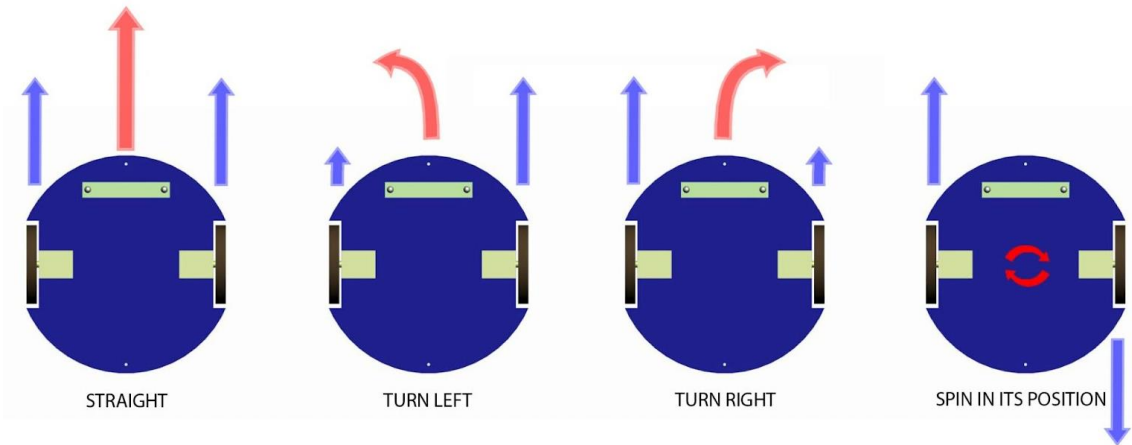
Päärunko on kokoluokaltaan pienen soutuveneen kokoinen (kuva 2). Sen sisällä sijaitsevassa kiuvas-tilassa sijaitsevat aluksen akku- ja laitetilat. Aluksen lasikuituisen kuorirakenteen lisäksi runko sisältää vanerista ja teräksestä valmistettuja sisärakenteita, joihin sisälle asennettavat laitteet pääasiassa kiinnitetään.



KUVA 2. Aluksen rungon päämitat sekä syväys (1, linkki TUOTTEET)

2.1 Aluksen toiminta

Aluksen autonomiseen toimintaan tarvittavana ohjausjärjestelmänä toimii pilvipohjainen web-sovellus, jossa tapahtuvat aluksen reitin ja mittaus toimintojen suunnittelu, ajon reaaliaikainen valvonta sekä kerätyn mittausdatan välittäminen. Alus kykenee navigoimaan annettua reittiä pitkin hyödyntämällä GPS-paikannusta. Aluksen ohjaus tapahtuu ilman peräsintä robotiikassa yleisesti käytettyä differentiaaliohjausta (kuva 3) käyttäen. Perämoottoreiden nopeuksia ja pyörimissuuntia säätämällä saadaan aikaan haluttu kääntö tai liikesuunta.



KUVA 3. Differentiaaliohjauksen toimintaperiaate kaksipyöräisessä robotissa (2)

Aluksen virtalähteenä toimii kolmen 12 V:n ja 80 Ah:n vapaa-ajan akun muodostama akkuryhmä. Akkujen 240 Ah:n kokonaiskapasiteetilla aluksen käyttöaika on noin kahdeksan tuntia (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Robottialuksen tekniset tiedot (1, linkki TUOTTEET)

Toiminta-aika	8 tuntia
Massa	120 kg
Kantavuus	100 kg
Voimanlähde	kaksoissähkömoottorit
Lataus	220 V
Akusto	12 V 240 Ah
Toimintalämpötila	0 - 50 °C

Järjestelmän vakiovarustuksella (taulukko 2) alus kykenee perustoiminnallisuuteen, kuten autonomiseen navigoimiseen, videokuvan välittämiseen sekä veden syvyys- ja lämpömittaukseen. Toiminnallisuutta kyetään laajentamaan lisävarusteilla (taulukko 2). Lisävarusteiden avulla alus kykenee esimerkiksi vesistön pohjan kuvantamiseen sekä vesinäytteiden ottamisen eri syvyyksistä. Lisävarusteet ovat asiakasprojektien yhteydessä.

TAULUKKO 2. Järjestelmän vakio- ja lisävarusteet (1, linkki tuotteet)

Varusteet:
GPS-paikannus
Digitaalikompassi
4G-datamodeemi
Syvyyskaikuluotain
Veden lämpötila-anturi
Videokamera
NMEA2000-väylä
Lisävarusteet:
Sähkövinssi 15 metrin syvyyteen laskettavalla näyteenottopäällä
Kuvantava kaikuluotain
Ysi EXO2 -anturi

Alusta on käytetty asiakassovelluksissa mm. Utajärven ja Lestijoen pohjien syvyyskartoittamiseen kaikuluotauksella Ramboll Finland Oy:lle sekä Jäälijärven syvyyden, pohjan kovuuden ja kasvillisuuden analysoimiseen ELY-keskukselle (1, linkki ASIAKKAITA). Monet aluksen lisävarusteista asennetaan rungon ulkopintaan metallisia apurakenteita käyttäen (kuva 4).



KUVA 4. Sähkövinssillä, EXO2 -anturilla, vesinäytteen keräyslaitteistolla ja lisälaitteiden apurakenteilla varustettu alus (1, linkki ASIAKKAITA)

2.2 Runkorakenteessa havaitut ongelmat

Aluksen rungossa on havaittu käytön yhteydessä rakenteellisia ongelmia, jotka vaikeuttavat laitteen kuljettamista ja käsittelyä. Suuren leveytensä takia aluksen kuljettaminen edellyttää normaalia leveämmän peräkärryn käyttämistä. Kärryn lastaamisen ja sieltä purkamisen yhteydessä veneen alla joudutaan käyttämään venerullilla varustettua lastausrampia aluksen pohjan vaurioitumisriskin takia (kuva 5).



KUVA 5. Lastausramppi

Aluksen käytettävyyttä heikentää haastava vesille laskeminen ja rantautuminen. Kyydistä purkamisen ja rantaveteen laskun aikana laitteen perämootoreiden tulee olla yläasennossa (kuva 4), jotta niiden potkurit eivät vaurioituisi. Käyttäjän tulee saattaa alus kahlaamalla tai venettä käyttäen niin kauas rannasta, että veden syvyys on riittävä moottoreiden laskemiseen. Moottorit lasketaan ja lukitaan käyttöasentoon manuaalisesti. Rantautumisen yhteydessä alus on noudettava rantaan syvästä vedestä, sillä käyttöasentoon lukitut moottorit estävät alusta lähestymästä rantaa itsenäisesti.

3 UUELLE RUNKORAKENTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET

Aquamarine Robots Oy:n sisäisesti listaamien sekä yhteisissä suunnittelukeskusteluissa esiin nousseiden vaatimuksien pohjalta luotiin vaatimuslista (taulukko 3). Työssä tehtävässä konseptisuunnittelussa pyritään luomaan lopputulos, joka täyttää listatut vaatimukset mahdollisimman hyvin. Konseptin onnistuminen tullaan arvioimaan vertaamalla lopullisen konseptimallin designia vaatimuslistaan. Koska kyseessä ei ole tarkoista määreistä koostuva tekninen spesifikaatio, on osa vaatimuksista tulkinnanvaraisia.

TAULUKKO 3. Rungon uudelleensuunnittelun vaatimuslista

KV/VV/T	Vaatusmus
	Geometria
KV	Mahduttava Jaxal kuomukärryyn
KV	Leveys <1400 mm, pituus <3000 mm
KV	Perämootorit sijoitettu 1000 - 1400 mm etäisyydelle toisistaan
T	Esteettisesti miellyttävä muotoilu
T	Kyky käyttää nykyisiä lisävarusteita ilman merkittäviä ulkoisia muutoksia runkoon
	Toiminnallisuus vedessä
VV	Rantautumissyväys <150 mm
T	Vesillelasku ilman syvään veteen saattamista
VV	Kallistusvakaa sisävesistössä <10 m/s tuulessa
T	Virtausvastus minimoitu ajosuunnassa
KV	Kääntyminen differentiaaliohjausta käyttäen paikoillaan
KV	Potkureiden etäisyys pinnasta >350 mm
	Rasituskestävyys
KV	Pohjan kestettävä kiviä, teräviä esineitä sekä kuljetuksen aikaista hankausta
KV	Rungon jäykkyys: kestettävä kantamista ja vetämistä
KV	Kestettävä moottoreiden aiheuttamat rasitukset

(jatkuu)

TAULUKKO 3. (jatkuu)

	Sisäiset laitetilat
VV	Tilavaraukset: 400 x 400 x 300 mm (3 kpl)
VV	Akut: Exide 80 Ah (1 - 3 kpl)
VV	Akkulaturi (1 - 2 kpl)
KV	Sähkövinssi: 400 x 300 x 400 mm
T	Kaikkien laitteiden asennus ja poisto helposti
KV	Laitteiden asennuskiinnitykset ilman rungon (pohjan) läpäisyä
	Ulkoiset laitteet
VV	GPS-antenni/-kompassi moottoreiden keskellä, kääntöpainopisteessä
VV	Sähkövinsillä laskettava anturi esim. Ysi EXO2
T	Kaapelinlaskupiste moottoreiden keskellä
VV	3G/4G hainevä antenni
KV	Moottoroitu kamera, esim. Zavio
VV	Kaikuluotain veneen pohjaan, lähelle GPS-antennia (1 - 2kpl)
	Käsiteltävyys
KV	Vetokoukku keulaan
VV	Kantokahvat, riittävä määrä
KV	Luukut mm. akkujen helppoon poistoon
	Valmistettavuus
T	Runko pääosin kahdesta osasta, jotka liitetään toisiinsa
	KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

4 KONSEPTIMALLIN LUOMINEN

Moniosaisen järjestelmän konseptimallin suunnittelun haasteellisuus syntyy siitä, että vaikka sen osaratkaisut olisivat itsessään selkeitä ja yksinkertaisia, tulee ne koota yhdeksi johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi, jolla on omat vaatimukset mm. käyttöympäristön, koon ja valmistustapojen asettamien rajoitteiden takia. Hyvä käytännön esimerkki tästä on Victorinoxin valmistama sveitsiläinen linkkuveitsi (kuva 6), johon sisällytetyt osatoiminnot ovat itsessään yksinkertaisia, mutta niiden soveltaminen siirtoon, minimalistiseen ja samalla ergonomiseen rakenteeseen on haastavaa.



KUVA 6. Victorinox Spartan linkkuveitsi (3)

Tässä työssä suunniteltava laite koostuu lukuisista yksityiskohdista ja alirakenteista, joilla pyritään yhdessä toteuttamaan laitteelle asetetut rakenteelliset ja toiminnalliset vaatimukset. Usean erillisen ja yhteensopimattoman osakonseptin laatimisen sijaan työssä pyritään luomaan yksi kokonaisuus, joka on realistinen ehdotelma siitä, millainen uusi alus voisi mahdollisesti olla. Työssä syntyvää

ehdotelmaa ei ole tarkoitettu määrittämään laitteen rakennetta täydellisesti, vaan toimimaan havainnollistavana esityksenä laitteen ja sen alirakenteiden toiminnasta sekä antamaan alustavia arvioita laitteen teknisistä ominaisuuksista. Konseptissa ei oteta kantaa siihen, onko juuri tämä kokonaisuus kaikilta osin optimaalinen. Mahdollisen jatkokehitysprojektien aikana on syytä laatia kilpailuvia konsepteja, jolloin ehdotelmia voidaan vertailla ja yhdistellä, parhaan mahdollisen lopputuloksen saamiseksi.

4.1 Suunnittelutyön esitystapa

Muotoiluun painottuva konseptisuunnittelu pohjautuu järjestelmällisen kehitysprossin sijaan pitkälti suunnittelijan intuitioon, luovuuteen sekä subjektiivisiin näkemyksiin ja on siksi rakenteeltaan usein hyvin kaoottista. Suunniteltava konsepti on alati muuttuvassa tilassa, sillä suunnittelun edetessä syntyy uusia havaintoja, ideoita sekä parannusehdotuksia ja niitä implementoidaan konseptin rakenteeseen jatkuvasti. Erilaisia ehdotuksia kokeillaan ja hylätään lukuisia kertoja, kunnes lopputulos täyttää suunnittelulle asetetut vaatimukset aikataulurajoitteiden puitteissa mahdollisimman hyvin.

Uudenlaista laitetta kehittäessä konseptin lopullista rakennetta on alussa mahdotonta arvioida tai määrittää. Tästä syystä konseptia tehtäessä sekä 3D-mallinnusta että mallintamisen dokumentointia on vaikeaa lähestyä kronologisesti johdonmukaisessa järjestyksessä. Konseptia hahmottelevassa mallinnuksessa tehdään paljon testejä ja arvauksia, joita palataan myöhemmin muokkaamaan, kun rakennetta on voitu suunnitella pitemmälle ja niiden vaikutus kokonaisuuteen ymmärretään paremmin.

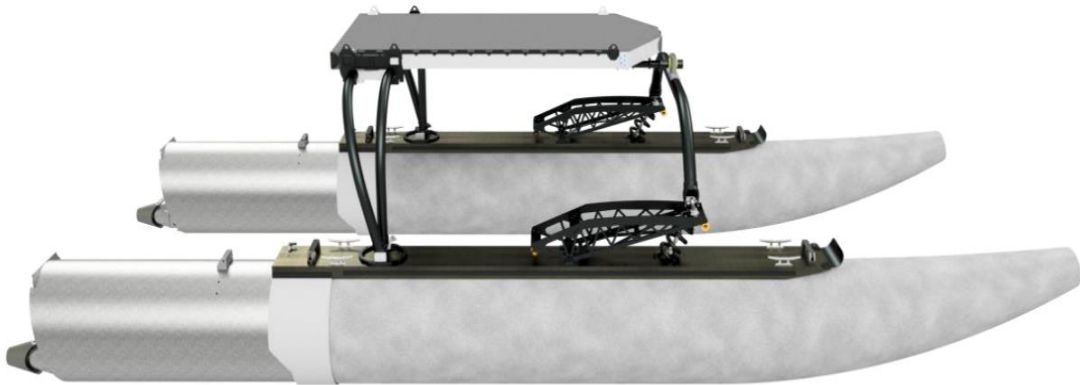
Näiden lukuisten muutosvälivaiheiden dokumentoiminen ei ole käytännössä mahdollista, niiden suuren lukumäärän sekä nopeatahtisen ja suurelta osin subjektiivisten valintaperusteiden takia. Erityisesti esteettisiä valintoja sisältävässä muotoilussa konseptimallin muokkauksia tehdään monesti täysin intuitiivisin ja mielivaltaisten perustein, kun joku piirre tai ominaisuus ei vain tunne sopivalta. Näitä muutoksia ei ole helppoa perustella selkokielisesti, joten niiden arvioiminen tai dokumentointi ei tuo prosessille lisäarvoa.

Näistä syistä tässä työssä esitellään vain lopullinen konseptimalli sekä siinä käytettävien komponenttien rakenteet, syventymättä suunnittelun varrella käsin piirrettyihin skitseihin, rakenteen muutosten välivaiheisiin tai hylättyihin ehdotelmiin. Suunnittelun sisällön jäsentely tapahtuu komponenttilähtöisesti, eli käsitellen yksittäiset rakenteet omina kokonaisuuksinaan, ottamatta kantaa niiden todellisuudessa pitkälti rinnakkain tapahtuneeseen suunnitteluun ja mallintamiseen.

Esitystavan tavoitteena on korostaa lopullisen konseptimallin rakentuminen useista osaratkaisista, joiden suunnittelussa ja yhteen kokoamisessa käytetään sekä teollisen muotoilun esteettistä sekä tunnistettavaa designia ja käyttöergonomiaa tavoittelevaa ajattelutapaa, sekä mekaniikka-suunnittelun valmistustekniikkoihin, rakenteellisiin tekijöihin ja mekaaniseen toiminnallisuuteen nojaavaa ajattelutapaa.

4.2 Muotoilureferenssit

Aquamarine Robots Oy:n kanssa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että laitteesta ei toivottu rakenteellisen tai teknisen näköistä. Tämä johti siihen, että aluksessa ei voitaisi käyttää esimerkiksi kelluntaponttoneilla varustettua runkorakennetta (kuva 7).



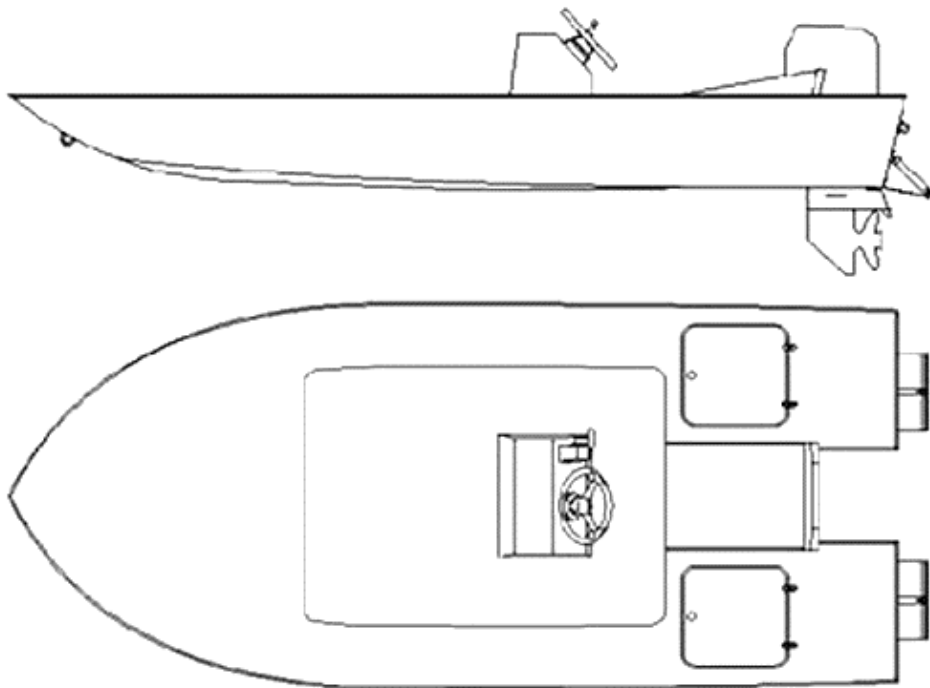
KUVA 7. 8' WAM-V USV -robottivenealusta (4)

Laitteen muotokielen toivottiin vastaavan nykyisen miekkavalasta muistuttavan aluksen tavoin luontoa, sisältäen orgaanista muotoilua ja luoden mielikuvan vesieläimestä. Muotoilun perustaksi päädyttiin valitsemaan ryhävalas (kuva 8), jonka siluetti on helposti tunnistettava ja jonka kehon visuaaliset yksityiskohdat sekä mittasuhteet tarjoavat useita detalleja, joita sisällyttää aluksen yleisilmeeseen.



KUVA 8. Piiros ryhävalaasta (5)

Rungon pohjan muoto vaikuttaisi merkittävästi laitteen toimivuuteen vedessä, joten aiemman veneensuunnittelukokemuksen puuttumisen takia sen muotoilussa turvauduttiin tekniseen vertaiskehittämiseen. Pohjan muotoa suunniteltaessa imitoitiin markkinoilla olevien toimivaksi todettujen veneiden pohjien muotoiluratkaisuja. Koska alukselta edellytetään alle 150 mm syväästä, pohjan muotoreferenssiksi valittiin mataliin vesistöihin suunniteltujen veneiden laakeita runkomuotoja (kuva 9, kuva 10).



KUVA 9. PH15 (Phantom 15) matalan veden kalastusvene (6)



KUVA 10. Shallow Sport matalan syväyksen venerunko (7)

Muotoilureferenssiksi valittiin myös kahden hengen polkuvene (kuva 11). Sen pohjan vettä syrjäyttävä tilavuus koostuu kahdesta keskitunnelin erottamasta puoliskosta. Tämä rakenne lisää aluksen sivuttaissuuntaista kallistusvakautta. Tätä ominaisuutta tarvitaan esimerkiksi silloin kun kuorman painojakauma ei ole tasainen tai kun matkustajat astuvat veneeseen tai poistuvat siitä.

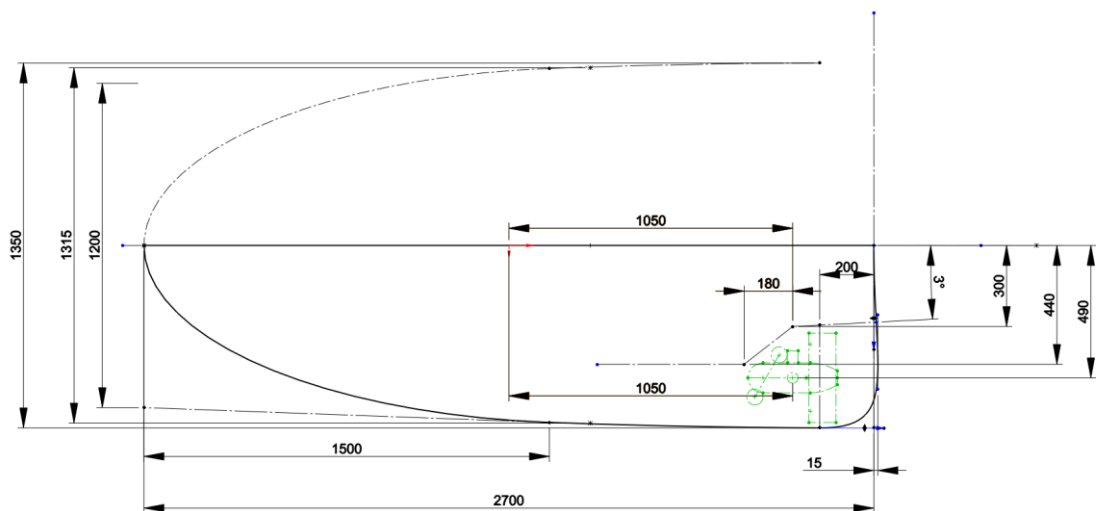
Rungon muoto muistuttaa kaksirunkoisen veneen eli katamaraanin rakennetta. Katamaraanista poiketen keskellä kulkeva tunneli on tässä tapauksessa veden pinnan alla. Tämä kasvattaa aluksen virtausvastusta mutta pienentää samalla sen syväästä. Pieniin nopeuksiin tarkoitetussa aluksessa lisääntynyt virtausvastus ei ole merkittävä haitta.



KUVA 11. Pelican Cascade -polkuvene (8)

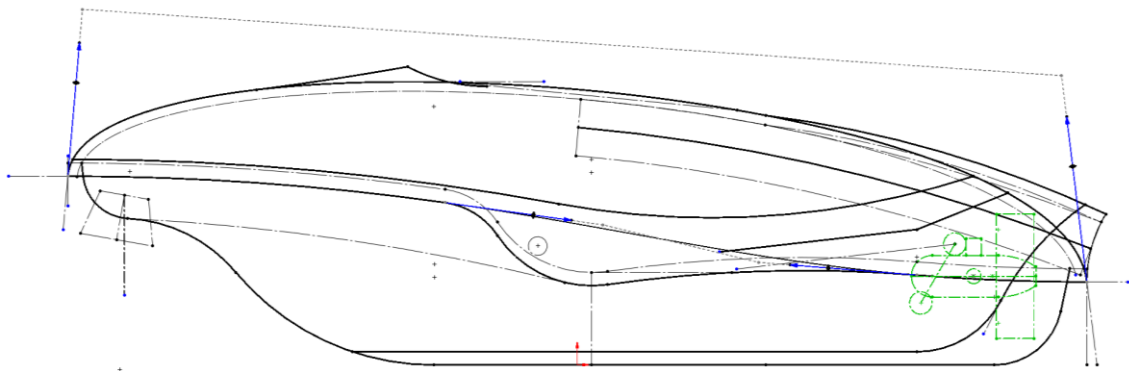
5 RUNGON MUOTOILU

Aluksen sivu- ja pystynäkymistä luoduista perusluonnoksista (kuva 12, kuva 13) hahmotetaan laitteen perusmuoto. Luonnoksiin sisällytettiin laitteen äärimitat sekä komponenttien ja visuaalisten yksityiskohtien paikoitukseen tarvittavia mittoja. Pelkkää visuaalista muotoilumallia tehtäessä ei yleensä käytetä tarkkaa mitoitusta, mutta koska tätä mallia käytetään myös mekaniikkasuunnittelun ja simulaation näkökulmasta, on eduksi, että kaikki mitat ovat täysin määritellyjä, jolloin malli ei muutu odottamattomasti muutos- ja korjaustoimenpiteiden aikana.



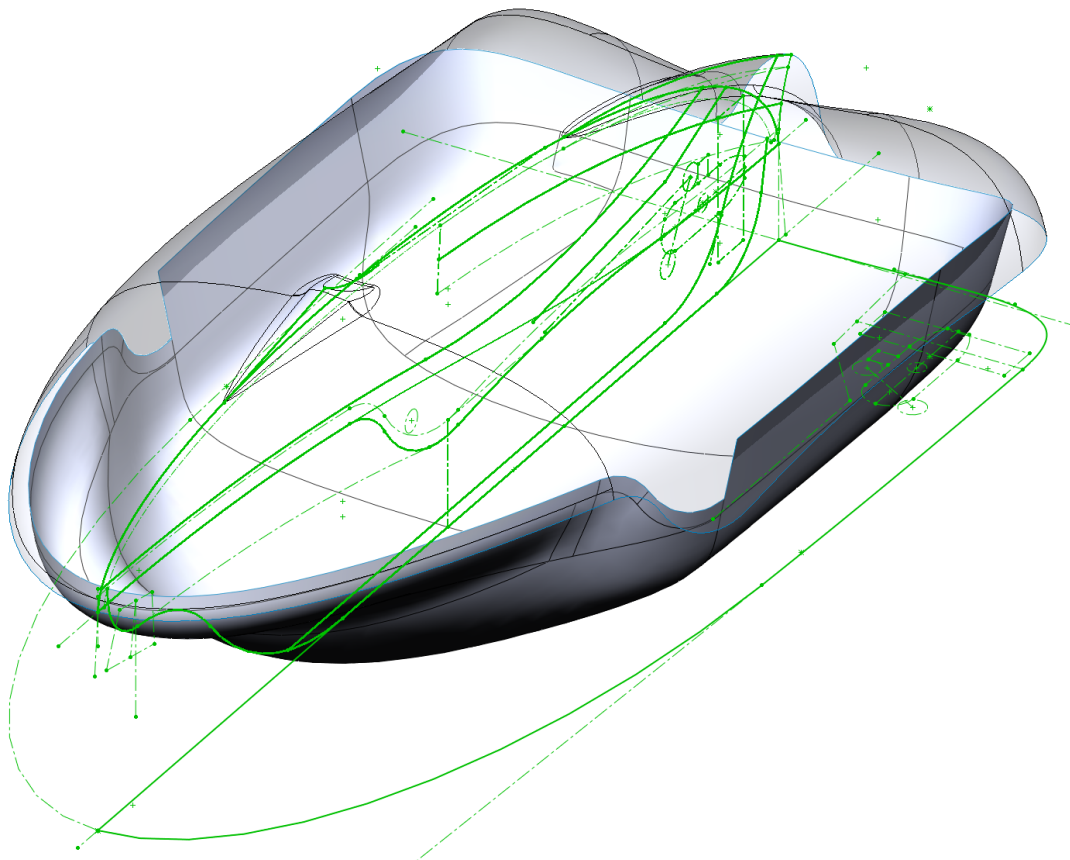
KUVA 12. Pystynäkymän luonnos

Sivunäkymän perusluonnos sisältää merkittävän osan rungon muotoilusta. Siinä määritetään valaan ylävartaloa muistuttava virtaviivainen muoto, valaan leukalinjaa mukaileva runkopuoliskojen saumalinja sekä useiden toimintojen paikoitus.



KUVA 13. Sivunäkymän luonnos. Mittaluvut piilotettu kuvan selkeyttämiseksi

Luonnosten pohjalta luotiin alustava kolmiulotteinen pintamalli, joka koostuu runkorakenteen ylä- ja alapuoliskon pinnoista (kuva 14). Alapuoliskon keulaosion muotoilussa pyrittiin mahdollisimman virtaviivaiseen muotoon, sillä suuri osa laitteen lopullisesta virtausvastuksesta muodostuu keulan synnyttämästä keula-aallosta.



KUVA 14. Muotoilun alustava pintamalli, jossa yläpuolisko asetettu läpinäkyväksi

5.1 Rungon yksityiskohtainen muotoilu

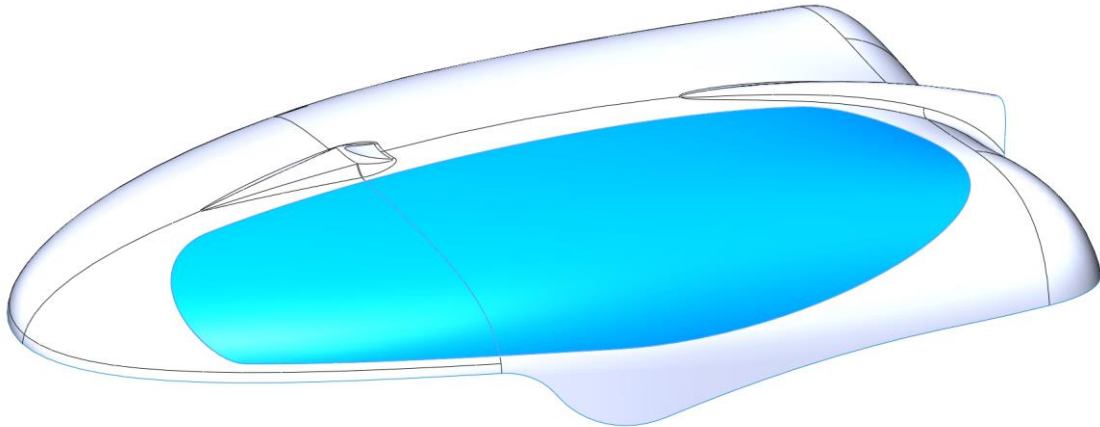
Yksityiskohtaisessa muotoilussa alustaviin runkopuoliskojen malleihin lisättiin piirteitä, joilla on esteettisiä tai toiminnallisia vaikutuksia laitteeseen. Näitä piirteitä olivat mm. huoltoaukot, kiinnityspinnat, väistöt, jäykisteet, materiaalivahvuudet sekä pyöritykset.

5.1.1 Rungon yläpuolisko ja huoltoluukku

Jotta laitteen sisälle voitaisiin tehdä varustelua ja asennus- sekä huoltotöitä, täytyi rungon yläpuoliskoon suunnitella huoltoaukotus. Aukkojen sijoittelua, lukumäärää, muotoa ja kokoa suunnitella huomioitiin sisälle asennettavien laitteiden koko, aukkojen arvioitu vaikutus rakenteelliseen jäykkyyteen, sisätilojen saavutettavuus sekä aukkoihin tarvittavien peiteluukkujen käsiteltävyys.

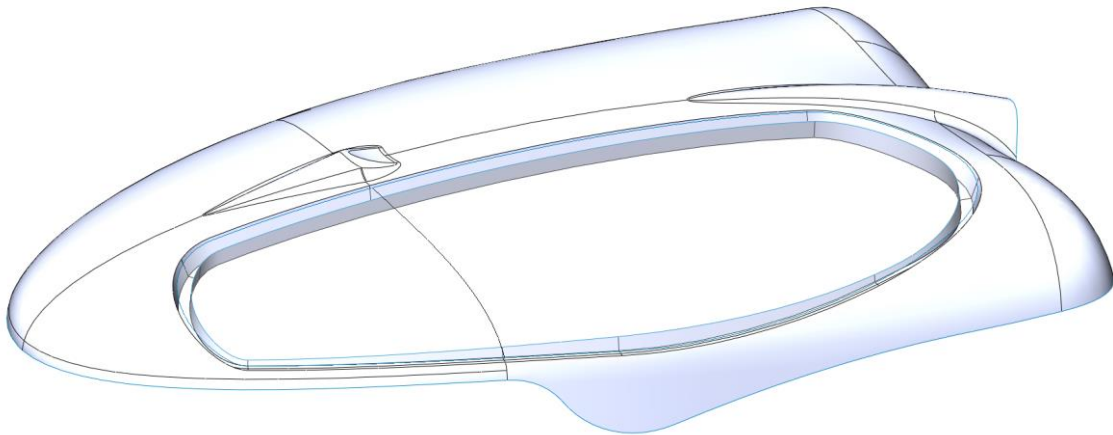
Yksittäisen huoltoaukon pinta-alan kasvaessa, parantuu laitteen sisätilojen saavutettavuus, mutta samalla kasvavat haitallisesti aukon rakennetta heikentävä vaikutus ja aukon peiteluukun koko. Mikäli koko sisätilojen saavutettavuus toteutettaisiin yhdellä suurella aukolla, tulisi sen olla lähes koko yläpuoliskon kokoinen. Tämä johtaisi siihen, että peiteluukku olisi liian kookas ja painava olakseen saranoitu osaksi runkoa ja täytyisi siksi olla kokonaan irrotettava. Yhdelle hengelle painavan luukun käsittely olisi vaikeaa tai jopa vaarallista.

Rakenteessa päädyttiin käyttämään kahta pitkää ja aluksen sivutason suhteen symmetristä huoltoaukkoa (kuva 15). Aukot mitoitettiin siten että käyttäjä yltäisi kädellä mahdollisimman suureen osaan laitteen sisätilasta ja että suurimman tilavarauksen mukaiset laitteet mahtuvat aukkojen lävitse. Yhteen suureen aukkoon verrattaessa tällä ratkaisulla saavutetaan lähes sama sisätilojen saavutettavuus, mutta luukut ovat riittävän keveät olakseen saranoitavissa osaksi rakennetta helpottaen niiden käsittelyä. Aukkojen väliin jäävä kaksoiskaareva sillake toimii holvirakenteena, joka lisää runkopuoliskon jäykkyyttä aluksen pitkittäissuunnassa ja jota voidaan käyttää sisäisten ja ulkoisten komponenttien kiinnityspintana.



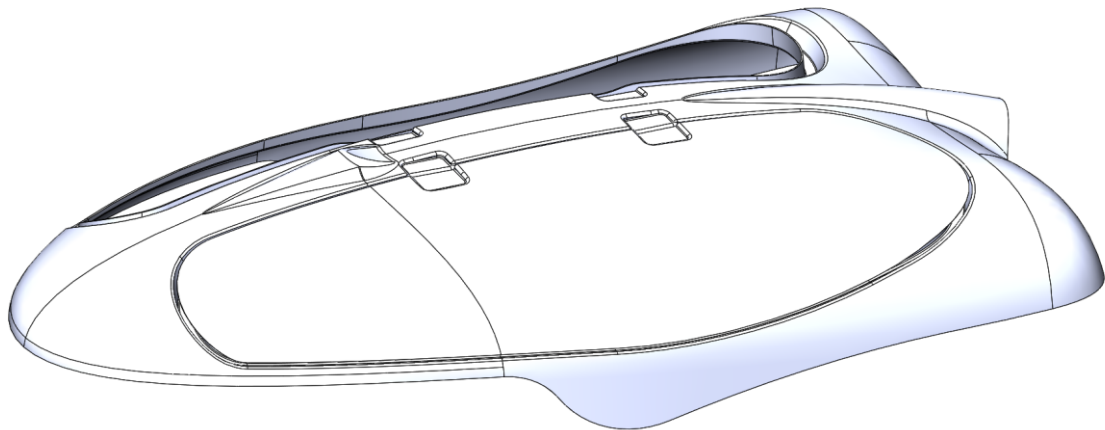
KUVA 15. Vasemmaksi huoltoluukuksi erotettu pinta

Aukon reunaan lisättiin vahvistusmuodoksi kouru (kuva 16), jonka on tarkoitus palauttaa aukon myötä heikentyneeseen runkopuoliskoon rakenteellista jäykkyyttä. Kouru toimii myös ränninä, joka estää valumaveden pääsyn laitteen sisälle ohjaamalla sen ulos laitteen sivulta. Kourun reunan korkeus mukailee peiteluukun sisäpintaa mahdollistaen tiivistyspinnan luomisen tähän rajapintaan.



KUVA 16. Vahvistusmuoto aukon reunassa

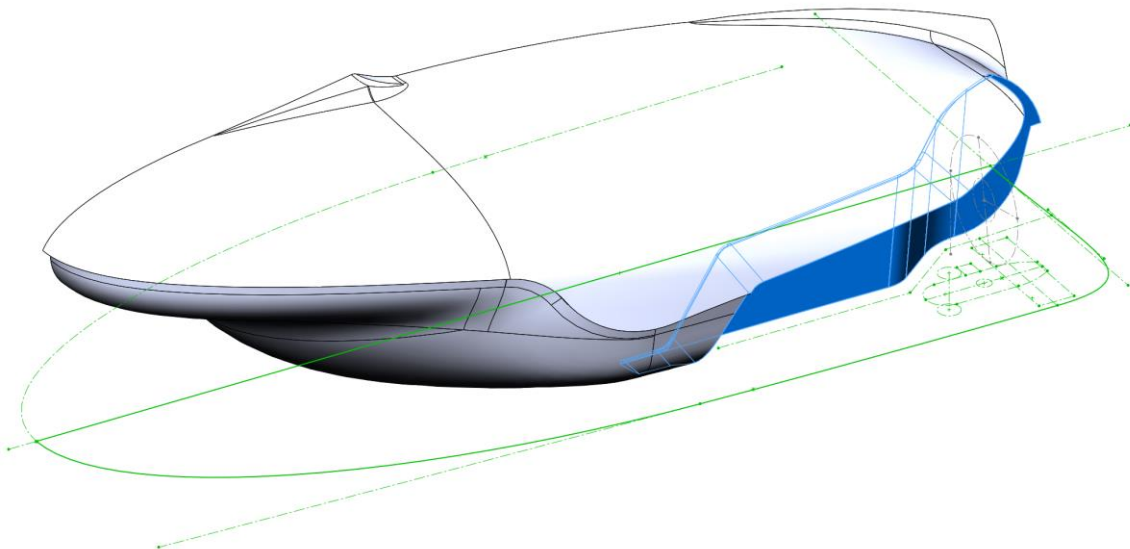
Jotta peiteluukun saranointiin tarvittava saranapari olisi mahdollista asentaa kuperalle pinnalle siten, että saranoiden kiertoakselit ovat samankeskkiset, täytyi yläpintaan sisällyttää samantasoiset kiinnityspinnat (kuva 17). Kiinnityspinnat ovat upotetut, jotta saranat eivät erottuisi merkittävästi kaarevan pinnan muodosta. Aluksen muotoilun on määrä olla symmetrinen, joten aukon ja peiteluukun piirteet peilattiin myös symmetriatason toiselle puolelle. Kansipuoliskon ja kannen seinämävahvuudetta valittaessa arvioitiin 5 mm:n olevan riittävä, sillä näihin osiin ei luukkujen saranoinnin lisäksi kohdistu merkittäviä rasituksia.



KUVA 17. Lopullinen kansipuolisko ja vasen huoltoluukku

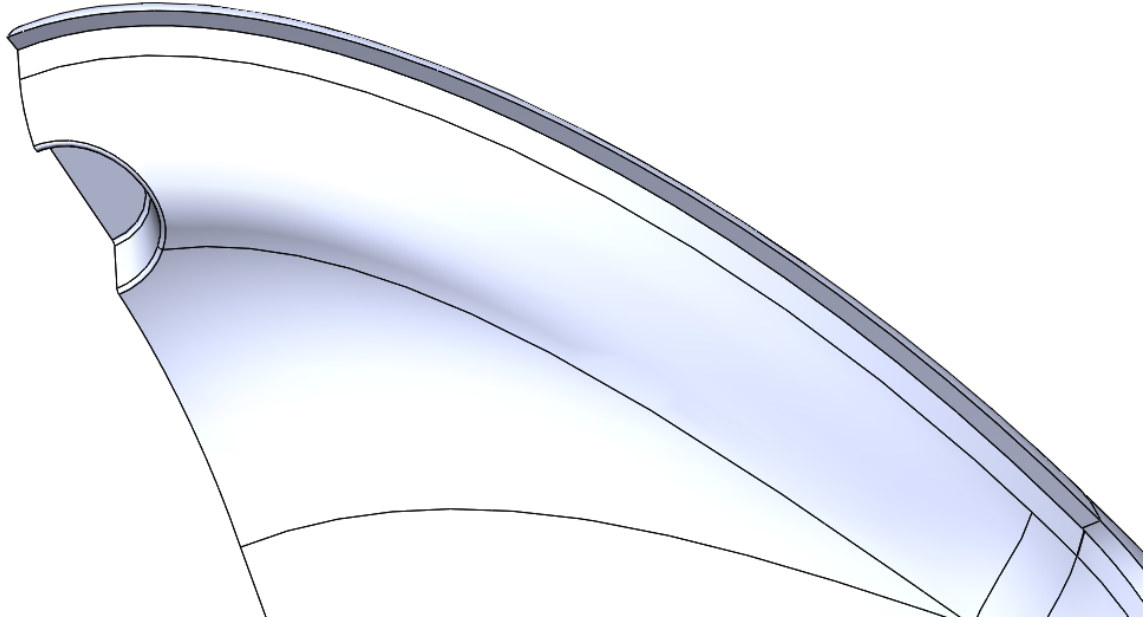
5.1.2 Rungon alapuolisko

Rungon pintamallista luotuun kiinteään malliin lisättiin väistö perämoottorille ja sen laskumekanis-
mille (kuva 18). Väistö pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, jotta aluksen sisäpuolen tila-
vuutta menetettäisiin mahdollisimman vähän.



KUVA 18. Perämoottorin ja laskumekanismin väistö sinisellä

Keulan alapintaan lisättiin upotus (kuva 19), johon voidaan asentaa kattoasenteinen kupukamera. Asentamalla kamera tähän kohtaan alusta, avautuu sille laaja näkökenttä eteen ja alas, jolloin esimerkiksi esteiden havaitseminen on mahdollista.



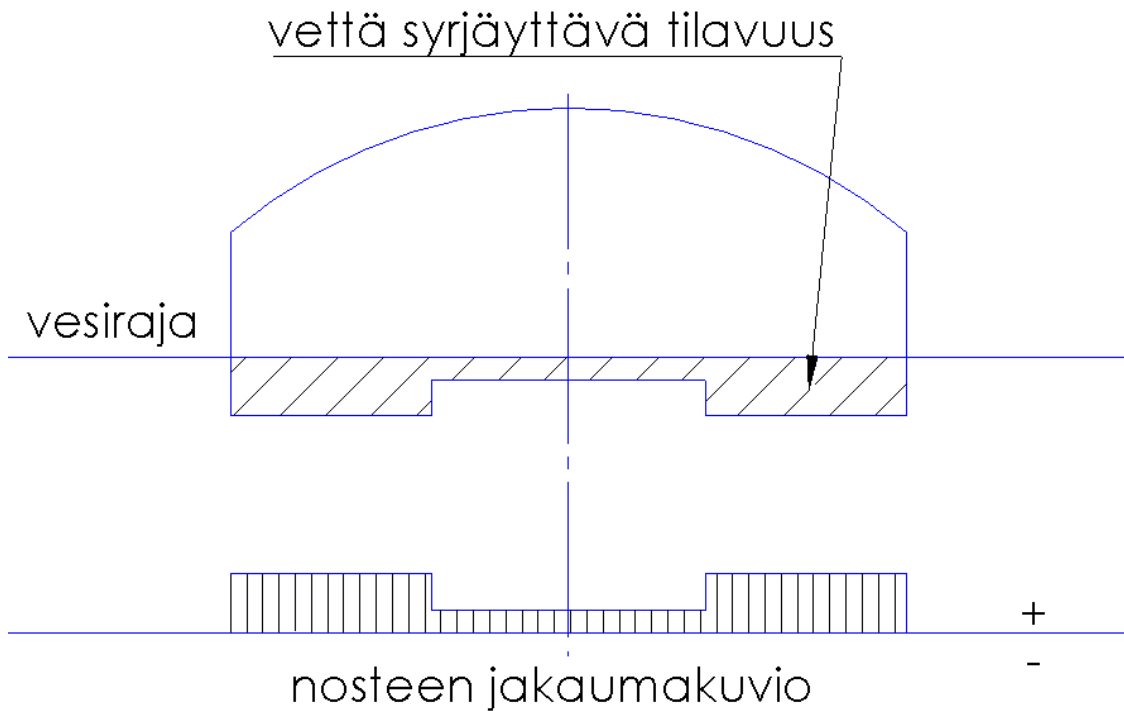
KUVA 19. Kameran upotus keulan alapinnassa

Upotuksen syvyys on mitoitettu siten että siihen asennettuna Zavio CD6330 -kupukamera (kuva 20) muistuttaa ryhävalaan leukakyyhmyä. CD6330 on ulkokäyttöön soveltuva ja pimeänäköominaisuuksilla varustettu moottoroitu valvontakamera (9).



KUVA 20. Zavio CD6330 -kupukamera (9)

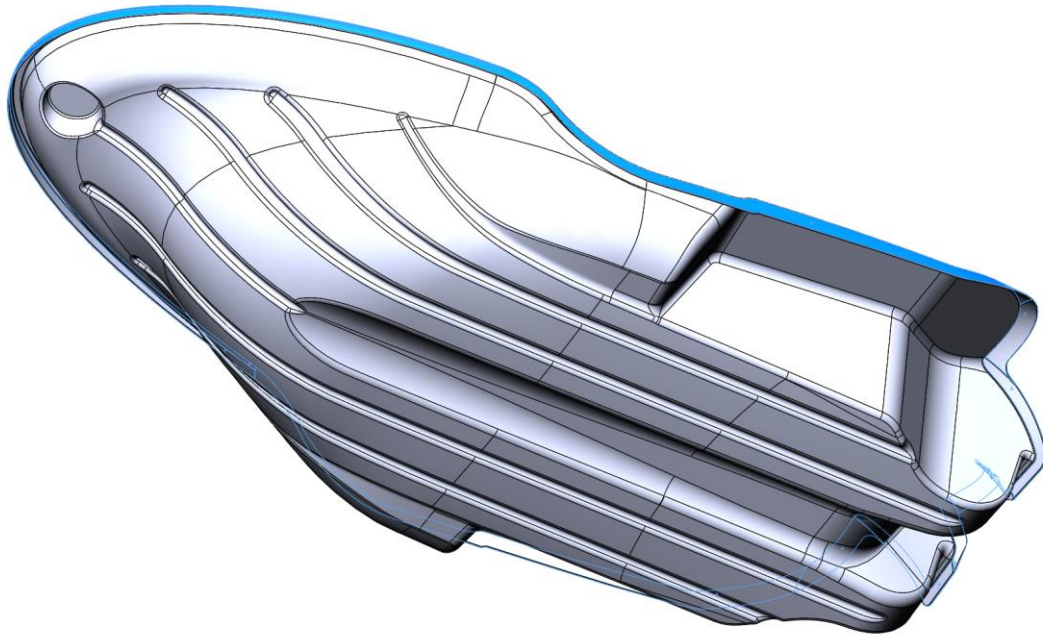
Pohjaan lisättiin muotoilureferenssinä käytetyn polkuveneen tavoin pituussuunnassa kulkeva tunneli. Tunneli kasvattaa laitteen sivuttaista kallistusvakautta siirtämällä suuren osan vettä syrjäyttävästä ja nostetta synnyttävästä tilavuudesta kauemmas keskilinjasta, jolla laitteen massakeskipiste sijaitsee (kuva 21). Tunnelin särmät kasvattavat laitteen sivuttaista virtausvastusta vähentäen aluksen sortoa eli sivuttaista ajelehtimistä.



KUVA 21. Syrjäytetyn veden tuottaman nosteen jakauma

Tunnelin lisäksi pohjaan lisättiin pitkittäissuunnassa kulkevat uurteet, jotka toimivat kuorirakennetta vahvistavina ruotoina. Uurteiden kaksoiskaarevat muodot kasvattavat rungon jäykkyyttä erityisesti pitkittäissuunnassa. Uurteiden muodossa tavoitellaan ryhävalaan leuassa ja rinnassa nähtäviä uurteita.

Alapuoliskon reunaan lisättiin helma, joka lisää osan jäykkyyttä ja toimii vastinpintana, kun puoliskoja liitetään yhteen liimaamalla tai laminoimalla. Helmaa voidaan käyttää laitteen nostamiseen sekä nostokahvojen tai nostolenkkien kiinnittämiseen. Osan muotoilu viimeisteltiin lisäämällä siihen pyöritykset, joilla kasvatetaan särmien kestävyttä ja parantamaan muodon virtausominaisuuksia (kuva 22).



KUVA 22. Alapuoliskon viimeistely muoto, jossa puoliskojen liitospinta merkitty siniseksi

5.2 Rungon osien valmistustekninen tarkastelu

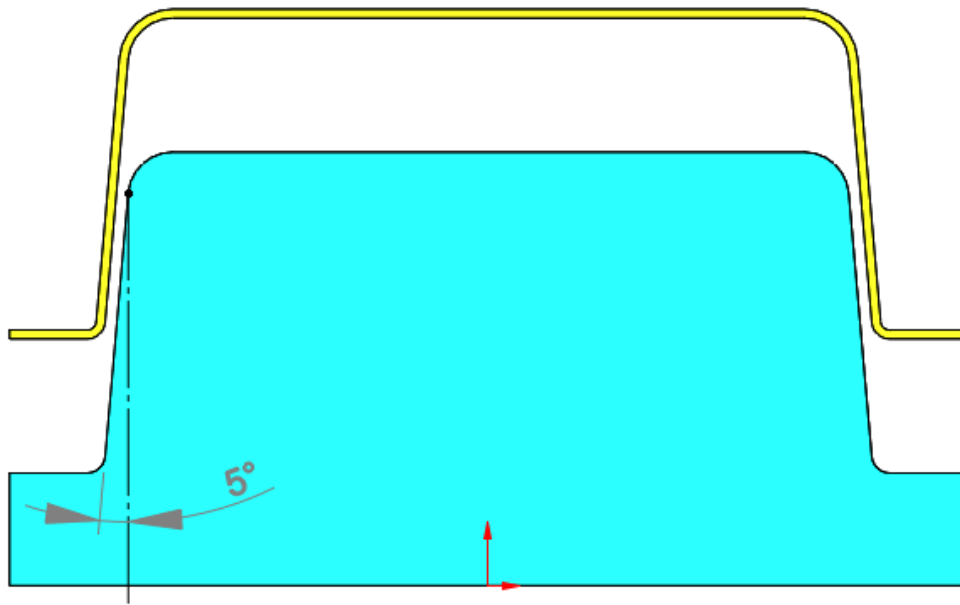
Runkopuoliskot ja huoltoluukut on suunniteltu valmistettavaksi naarasmuoteissa. Osien näkyväksi jääville ulkopinnoille saataisiin täten hyvä pinnanlaatu ilman jatkokäsittelyä ja visuaalisesti sekä virtausteknisesti heikompi karhea lasikuitupinta jäisi piiloon laitteen sisäpuolelle. Ulkopinnan korkea pinnanlaatu saavutetaan maalamalla muotin pintaan kerros pigmentoitua gelcoat-polyesteriä ennen lasikuitumateriaalin ja polyesterihartsin levittämistä. Valmiissa osassa ulommaiseksi kerrokseksi jäävä gelcoat antaa osalle värin ja suojaa osan pintaa kulutukselta, iskuilta sekä kemikaaleilta.

Laadukkaiden naarasmuottien valmistaminen edellyttää osien urospuolisten näköismuottien valmistamista. Lopullinen osan valmistukseen käytettävä naarasmuotti valmistetaan tarkasti hiotun näköismuotin päälle laminoimalla, jolloin näköismuotin viimeistellystä pinnasta saadaan siirrettyä korkea pinnanlaatu koveraan naarasmuottiin (kuva 23).



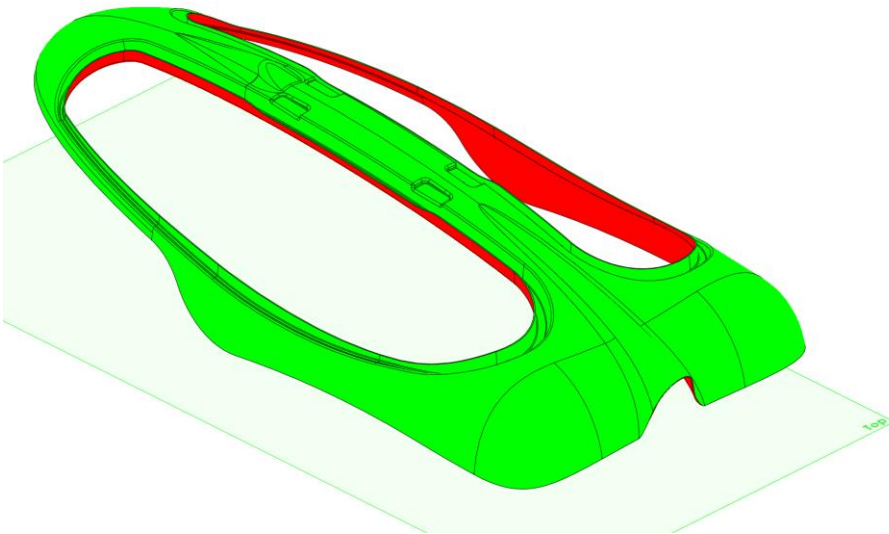
KUVA 23. Kaksiosaisen naarasmuotin valmistukseen käytetty näköismuotti (10)

Polyesterihartsista ja lasikuidusta valmistettavat osat kutistuvat hiukan kovettumisreaktion aikana. Jotta urosmuotin pinnalle laminoitava osa ei jumittuisi kutistuessaan muotin ympärille, tulee muotin pinnoilla olla vähintään 5° :n päästö (11, s. 103). Päästöllä tarkoitetaan osan irrotussuunnan ja muotin seinämän välistä kulmaa (kuva 24).

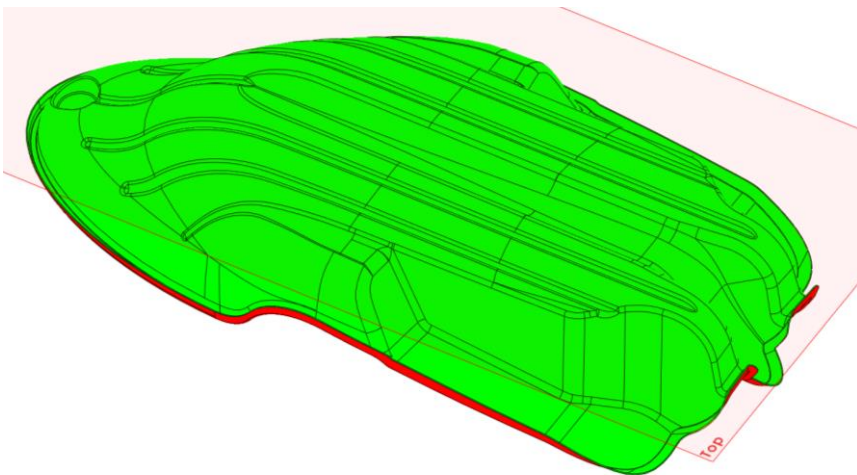


KUVA 24. Urosmuotin päästökulma osan vetosuunnan ollessa ylöspäin

Koska aluksen lasikuituosat valmistettaisiin urosmuottien ympärille valmistetuissa naarasmuotteissa, tulee niissä valmistettavuuden varmistamiseksi huomioida 5°:n päästön toteutuminen. SolidWorks sisältää päästöanalyysityökalun, jolla voidaan tarkistaa osan pintojen päästökulmien suuruus. Päästöanalyysityökalussa riittävä päästö näkyy vetosuunnasta riippuen joko vihreänä tai punaisena ja puutteellinen päästö keltaisena. Rungon puoliskoja testattaessa 5° päästötavoitteella, nähdään että molemmat runkopuoliskot sisältävät kauttaaltaan riittävän päästön, vetosuunnan ollessa kohtisuora ylätasoon nähden (kuva 25, kuva 26).



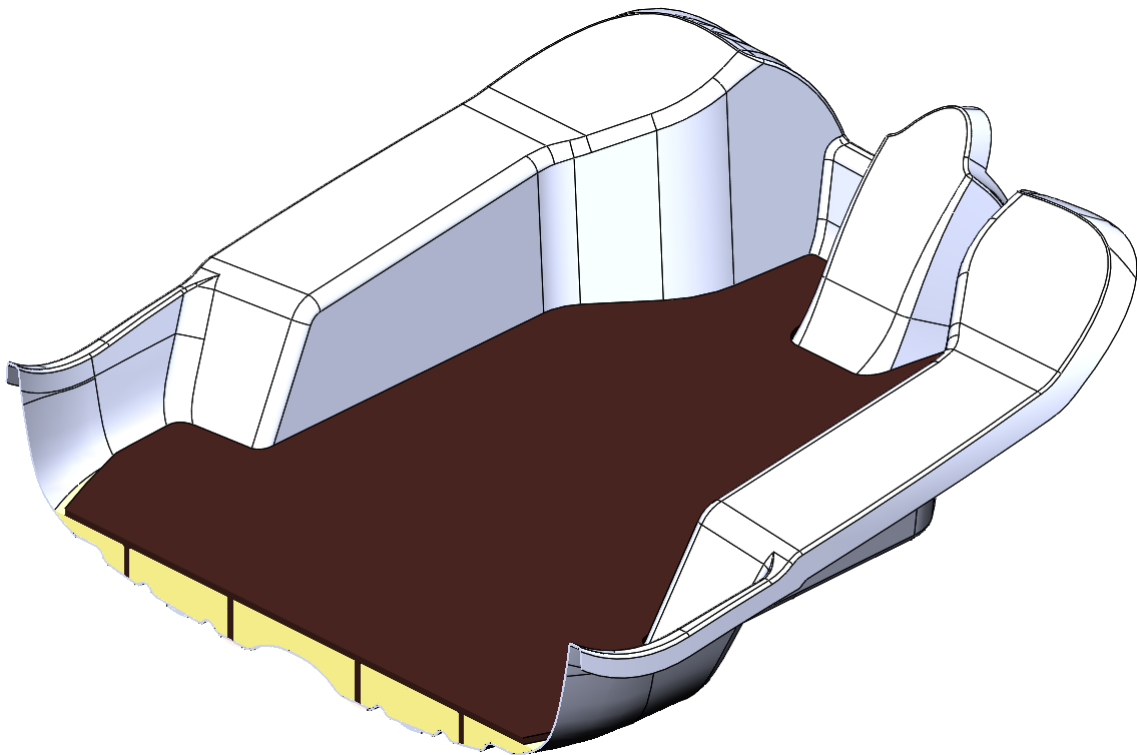
KUVA 25. Yläpuoliskon päästöanalyysi, vihreä pinta on muotista irtoava alue



KUVA 26. Alapuoliskon päästöanalyysi

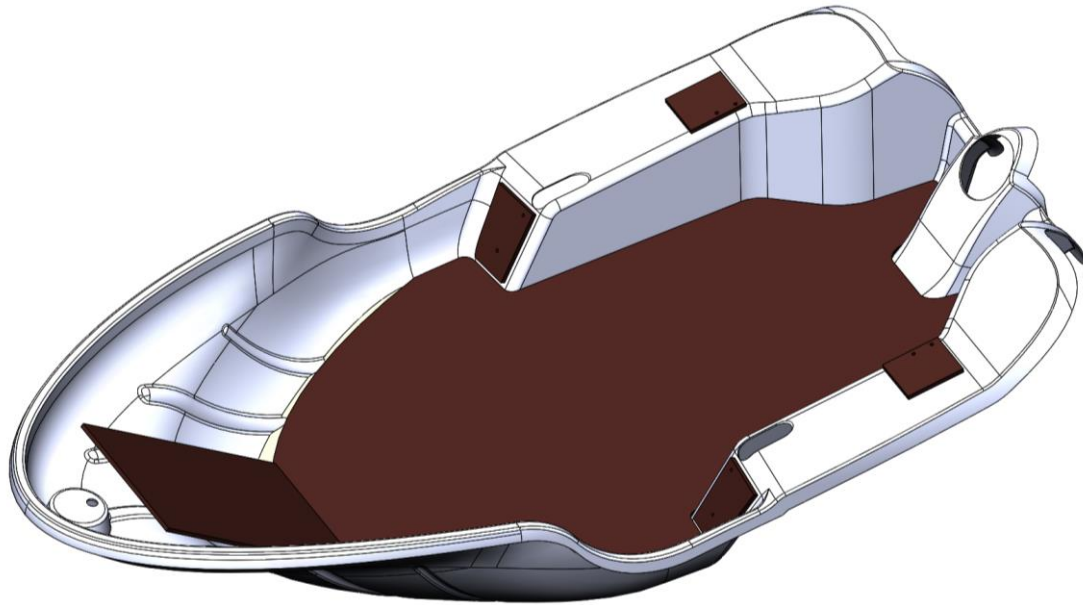
6 RUNGON RAKENTEELLINEN VIIMEISTELY

Aluksen sisälle suunniteltiin filmivanerista valmistettava sisälattia, joka auttaa lasikuituista runkorakennetta pitämään muotonsa. Sisälattia toimii lisäksi sisälle asennettavien laitteiden kuorta puhkaisemattomana kiinnitysalustana, mahdollistaen erilaisten laitteistojen tai kiinnityskiskojen kiinnittämisen ruuveilla. Lattian alus täytettäisiin venekäyttöön soveltuvalla uretaanivaahdolla, joka lisää rungon jäykkyyttä, kannattelee sisälattiaa, tukee ulkopintaa iskujen sattuessa ja tarjoaa kelluvuutta, mikäli aluksen sisälle pääsee vettä (kuva 27).



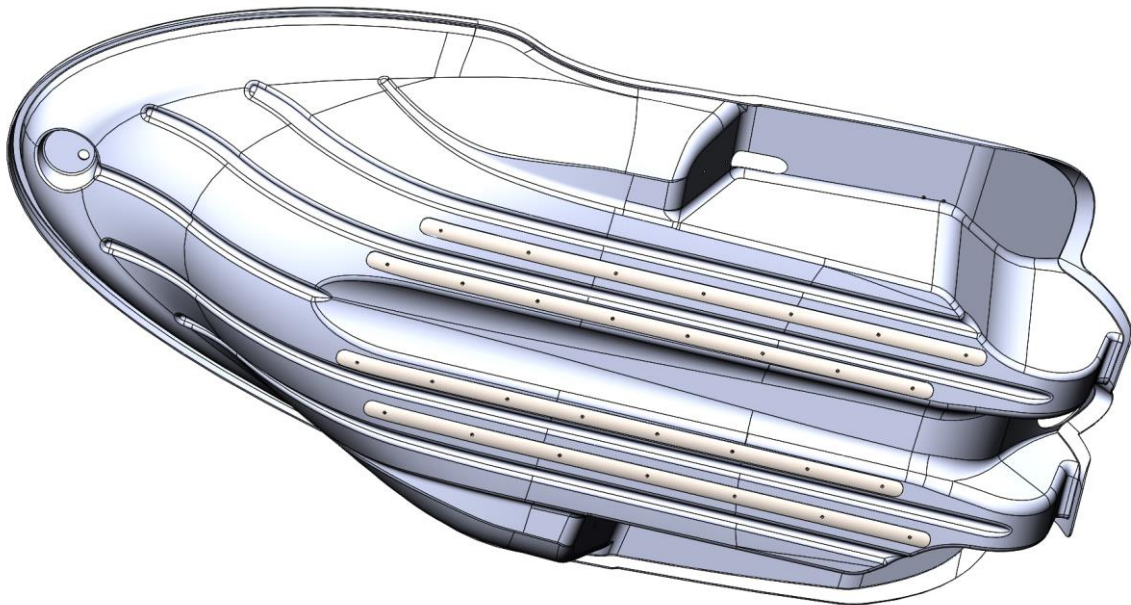
KUVA 27. Sisälattia ja uretaanivaahdotäyttö rungon alapuoliskon poikkileikkauksessa

Aluksen sisäpinnalle suunniteltiin myös filmivanerista valmistettava sähkövinssin kiinnityslevy ja vahvistuspalat moottorimekanismien kiinnityspisteisiin. Runkoon tehtävät läpivientiaukot pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä ja korkealla veden pinnasta, mikä vähentää veden mahdollisuuksia päästä aluksen sisälle (kuva 28).



KUVA 28. Sähkövinssin kiinnityslevy, kiinnityspisteiden vahvikepalat sekä läpivientiaukot

Aluksen pohjaan lisättiin liukukiskot, jotka vähentävät pohjan vaurioitumisen riskiä lastauksen, maalla siirtämisen ja pohjakosketuksien aikana (kuva 29). Liukukiskot ovat ruostumattomasta teräksestä valmistettuja saumalistoja, jotka kiinnitetään ruuveilla sekä tiivistävällä liimalla, jolloin irtotamisen, rispaantumisen ja vuotojen riski on pieni.



KUVA 29. Teräksiset liukukiskot aluksen pohjassa

7 PERÄMOOTTORIN LASKUMEKANISMI

Jotta alus voitaisiin lähettää vesille suoraan rannasta, ilman tarvetta syvään veteen saattamiselle alukseen täytyi suunnitella mekanismi, joka mahdollistaa perämoottoreiden sähkökäyttöisen siirron kuljetus- ja käyttöasentoon. Mekanismin asentoa voitaisiin ohjata esimerkiksi ohjausjärjestelmällä etänä annetun käskyn tai aluksen kaikuluotaimen antaman syvyystiedon mukaan.

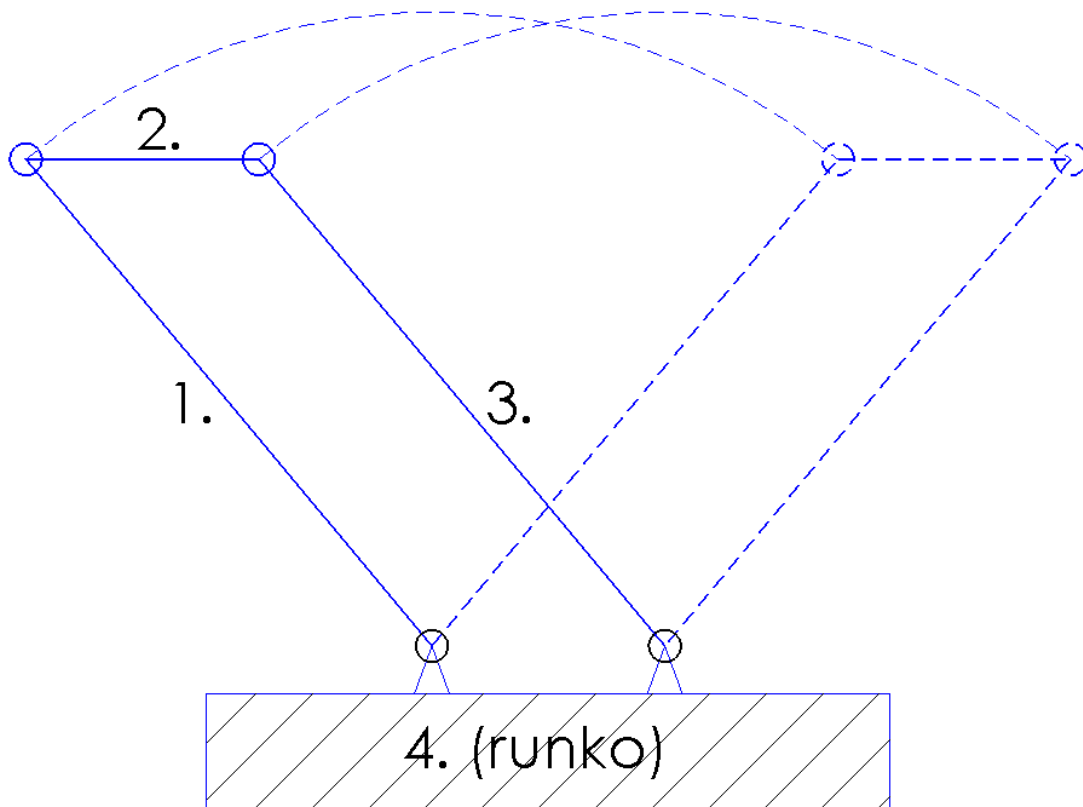
7.1 Mekanismin luonnos

Mekanismi liikuttaa perämoottoria ylä- ja ala-asennon välillä. Ylä- eli kuljetusasennossa perämoottorin potkuri on ylempänä kuin rungon alapinta, mikä mahdollistaa laitteen siirtämisen maata pitkin ilman että potkuri vaurioituu. Ala-asennossa potkurin yläreuna on vaatimuslistauksen mukaisesti yli 350 mm:ä vesirajan alapuolella, jolloin potkurin tuottama virtaus ei riko veden pintaa tai ime pinnasta ilmaa potkurin ympärille. Tällöin potkuri kykenee siirtämään energiansa veteen parhaalla hyötysuhteella.

Mekanismi suunniteltiin sellaiseksi, että perämoottori pysyy koko liikealueella vaakatasossa ja samansuuntaisena laitteen kulkusuunnan kanssa mahdollistaen perämoottorin käytön myös mekanismin väliasennoissa. Tälle ominaisuudelle on tarve tilanteissa, joissa veden syvyys on alle 800mm eli esimerkiksi vesillelaskun tai matalikkojen ylityksen yhteydessä. Rakenne toteutetaan yksinkertaisena kaksikulotteisena tasomekanismina, jossa mekanismin kaikki osat liikkuvat samalla tai samansuuntaisilla tasoilla.

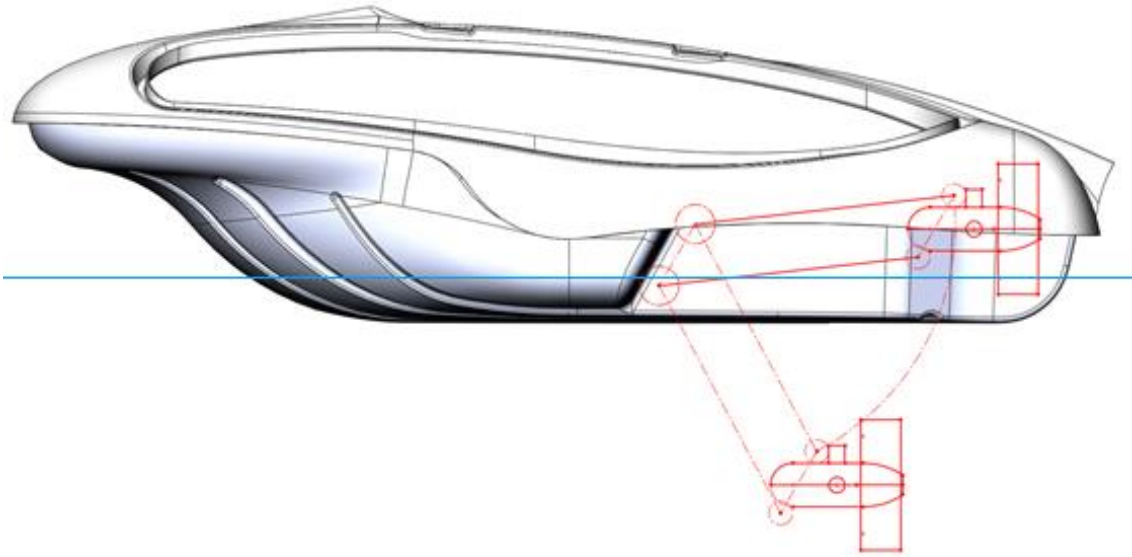
Suurimmat mekanismiin ja sen kiinnityksiin välittyvät rasitukset syntyvät laitteen kulkusuunnassa perämoottorin työntövoimasta sekä mahdollisista törmäyksistä esteisiin. Tästä syystä mekanismin liiketaso asetettiin samansuuntaiseksi laitteen kulkusuunnan kanssa. Tällöin mekanismiin kohdistuvat merkittävät rasitukset ohjautuvat sen liikevarsien kiinnityspisteiden kautta runkoon. Mikäli tasomekanismi asetettaisiin kohtisuorasti kulkusuuntaan nähden, tulisi se tukea erillisillä kulkusuunnan suuntaisilla tukirakenteilla, jotka lisäävät rakenteen monimutkaisuutta.

Mekanismi pyrittiin pitämään rakenteellisesti ja kinemaattisesti yksinkertaisena, varmatoimisena sekä helposti valmistettavana. Siinä ei käytettäisi mahdollisesti jumiutumislle alttiita kisko-, teleskooppi- tai liukuelementtejä, sillä mekanismi tulisi olemaan kontaktissa vedessä olevien epäpuhtauksien, roskien ja vesikasvillisuuden kanssa. Nämä voivat kasvattaa osien kitkaa tai juuttua osien väliin jumittaen koko mekanismin. Liikemekanismin perustana päädyttiin näistä syistä käyttämään yksinkertaista neljästä nivelletystä sauvasta koostuvaa nivelsuunnikasta (kuva 30).



KUVA 30. Nivelsuunnikas, jossa 4. sauva on mekanismin runko.

Mekanismi mitoitettiin siten että nykyisin käytössä olevan sähköperämoottorin moottoriosi täyttää mekanismin kiinnitettynä asetetut liikeratavaatimukset. Sauvoja 1 ja 3 vastaavat osat ovat putkesta valmistettavia moottorivarsia. Sauvoja 2 ja 4 vastaavat osat ovat moottoriin ja runkoon kiinnitettäviä kiinnityslevyjä (kuva 31). Aluksen rungon syväys määritettiin haarukoimalla CAD-mallin mahdollistamaa tilavuusmittausta apuna käyttäen vedenpinnan korkeus, jolla rungon syrjäyttämä vesimäärä vastasi painoltaan alukselle alustavasti arvioitua 160 kg:n painoa. Aluksen syväyksen arvioitiin olevan noin 140 mm.

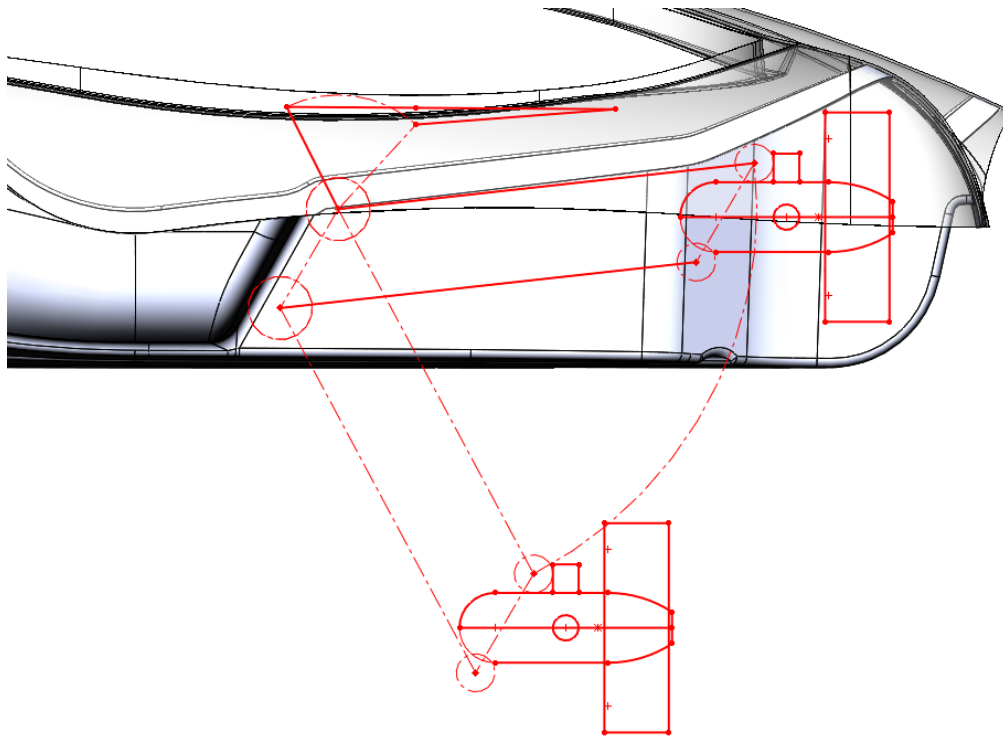


KUVA 31. Moottorinlaskumekanismin luonnos, jossa perämoottorin ääriasetnot ja arvioitu vesiraja

Mekanismin toimilaitteeksi valittiin aluksen sisälle asennettava lineaarista liikettä tuottava karamoottori. Karamoottori vaikuttaa ylemmän varren akselille momenttivarreksi kiinnitettävään apuvarteen, jolloin karamoottorin lineaarinen liike muuttuu akselin ympäri tapahtuvaksi kiertoliikkeeksi, liikuttaen koko mekanismia.

Mekanismin toimintaan vaaditut voimat olisivat karamoottorille varsin pieniä, koostuen mekanismin oman painon ja nivelten kitkan ylittämiseen tarvitusta voimasta, sekä perämoottorin työntövoimaa vastaan tarvitusta pidätysvoimasta. Tästä syystä mekanismin suunnittelua lähestyttiin pääasiassa geometrisesta näkökulmasta, keskittyen osien liikeratojen suunnitteluun käytettävissä olevan tilan puitteissa.

Mekanismin tulee kyetä liikkumaan sen täysi liikerata törmäämättä runkoon tai aluksen sisällä oleviin laiteiloihin. Tämän lisäksi mekanismi ei saa jumittua mahdollisiin yliojentuneisiin asentoihin liikeratojen ääriasetnoissa. Sopivaa mitoitusta testattiin mekanismin luonnokseen lisättyllä apugeometrialla, johon sisällytettiin momenttivarren ja mielivaltaisen karamoottorin pituudet sen mangan ollessa ääriasetnoissa (kuva 32). Geometrisesti sopivassa kokonaisuudessa momenttivarren pituus oli 180 mm ja karamoottorin iskunpituus 200 mm. Kun karamoottorin mäntä on täysin ulkona, perämoottori on yläasennossa.

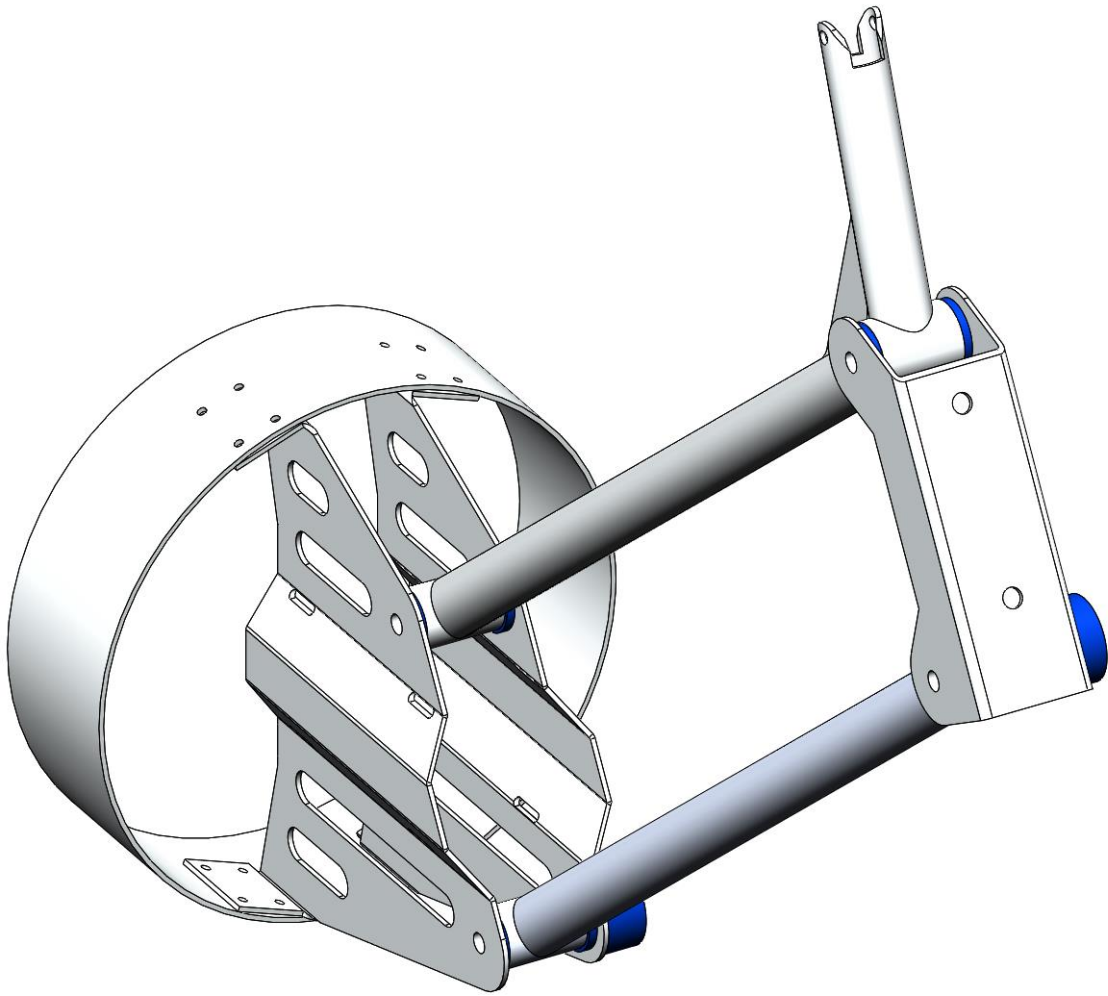


KUVA 32. Ylemmän liikevarren apuvarteen kiinnitetty karamoottori ääriassennoissa

7.2 Mekanismin konseptimalli

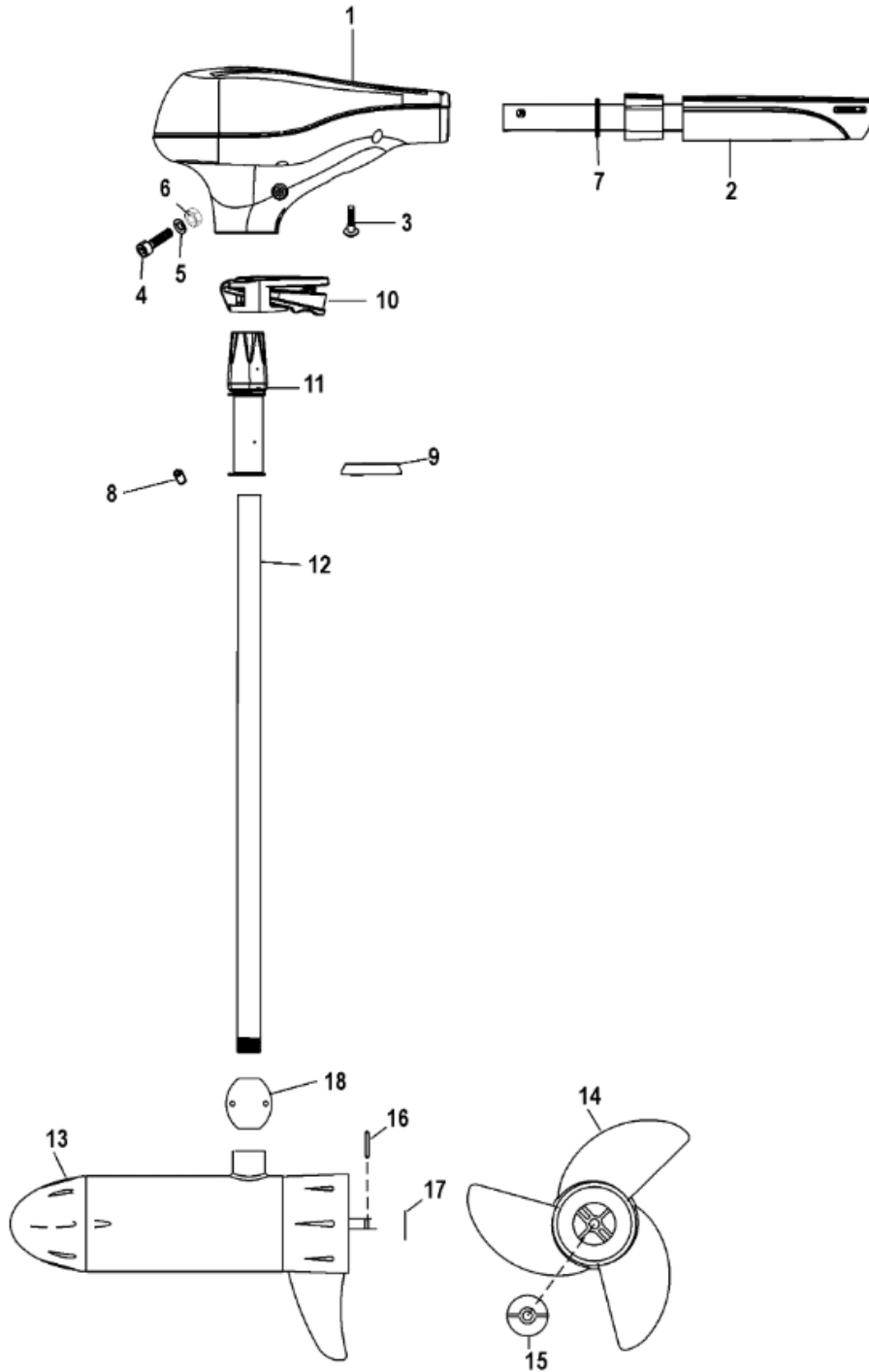
Mekanismin konsepti pyrittiin suunnittelemaan sellaiseksi, että sen valmistaminen olisi edullista. Osat olisivat halpoja teettää ja niiden kokoonpaneminen olisi helppoa. Materiaaleina käytettäisiin pääasiassa ruostumatonta terästä, alumiinia sekä muovia veden aiheuttamien korroosio-ongelmien välttämiseksi.

Mekanismin perusrakenne koostuu teräspelistä valmistetusta moottorikiinnikkeestä, alumiiniputkesta hitsatuista moottorivarsista, teräksisestä kiinnitysrungosta sekä nivelten liukulaakereina toimivista sorvatuista kovamuoviholkeista (kuva 33). Peltinen moottorikiinnike mahdollistaa sähköpörrämoottorin irtonaisten moottoriyksikön kiinnittämisen mekaniikkiin. Siihen on sisällytetty kehämäinen potkurisuoja. Suojan on potkurin suojaamisen lisäksi tarkoitus ohjata potkurin tuottamaa virtausta suoraan taakse ja estää potkuria imemästä pinnasta ilmaa, mahdollistaen potkureiden täysitehoisen käytön hieman normaalia pienemmässä käyttösyvydessä. Moottorivarret vastaavat halkaisijamitoiltaan nykyisen perämoottorin pystyputkessa käytettyä alumiiniputkea, joten niiden jäykkyyden oletetaan olevan riittävä kestäämään moottoreiden tuottamat rasitukset. Nivelten kovamuoviset holkit mahdollistavat mekanismin sulavan liikkeen ilman suuria välyksiä nivelissä.



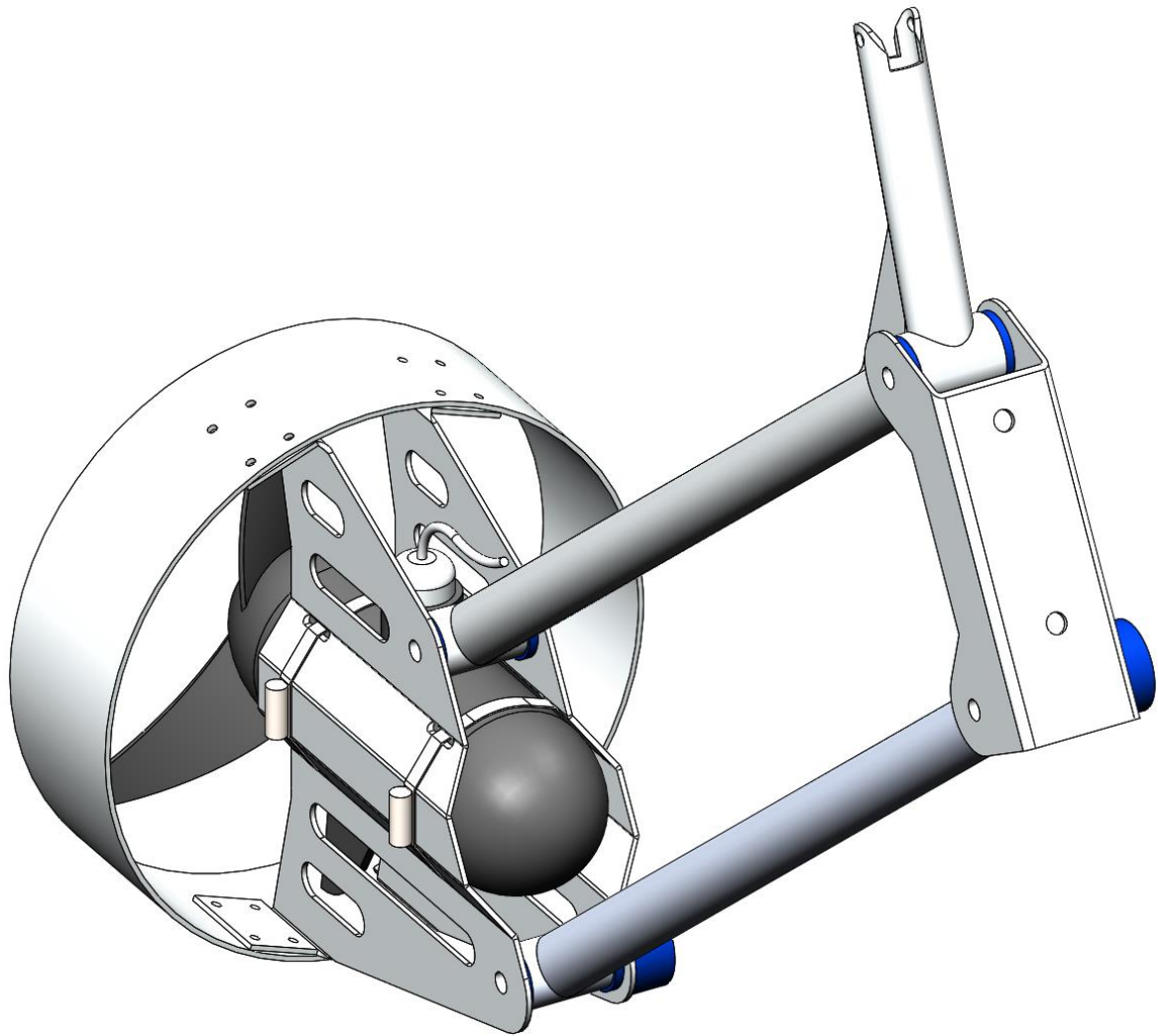
KUVA 33. Mekanismin runko. 3D-mallin keventämiseksi mallista on jätetty pois kiinnityselimet kuten ruuvit, mutterit ja niitit

Aluksen voimanlähteinä käytettäisiin nykyisten Mercury Motorguide Varimax 40 -sähköperämoottorien (kuva 34) tai vastaavien sähköperämoottorien moottorista ja potkurista koostuvia moottoriyksiköitä, joita on mahdollista hankkia erillisenä varaosana. Tehontarpeesta riippuen aluksessa voidaan käyttää myös suuremman nimellistehon sähköperämoottoreita.



KUVA 34. Mercury Motorguide Varimax 40 (12)

Moottoriyksikkö kiinnitetään mekanismin ohutlevyrunkoon ruuvikiristeisillä pannoilla, jotka puristavat peltipuoliskot moottorin ympärille. Perämoottorin pystyputkelle tarkoitettu kierteistetyssä reiässä käytetään käyttökohteeseen soveltuvaa, vedenpitävää johdon läpivientiä, jonka läpi perämoottorin sisältämän sähkömoottorin virtajohto viedään vesitiiviin muovikuoren sisälle (kuva 35).

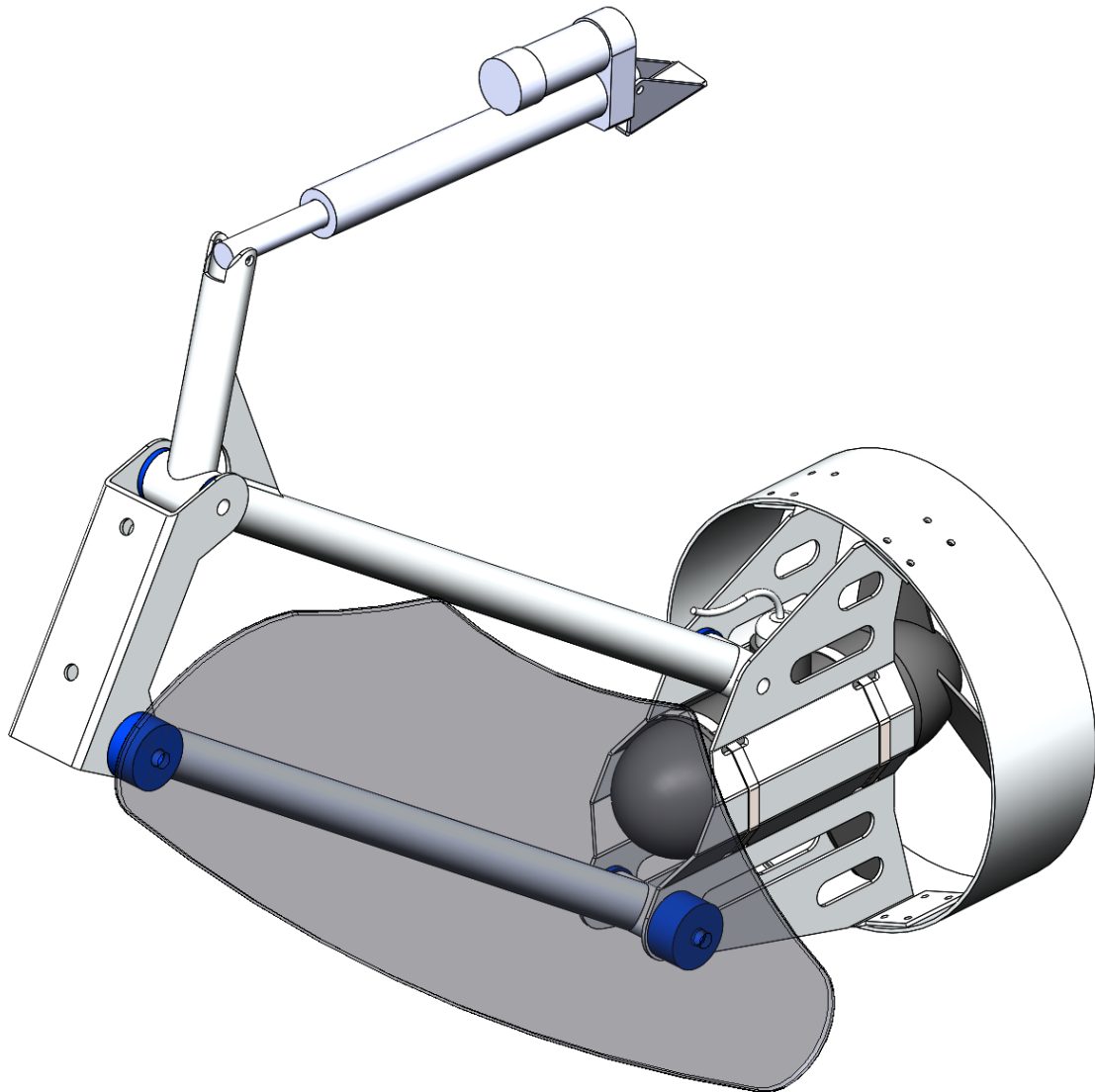


KUVA 35. Mekanismirunkoon kiinnitetty moottoriyksikkö

Mekanismia liikuttava karamoottori on Moteck'in LD3-sarjan, 200 mm iskunpituuden ja sisään rakennetun paikkatietoanturoinnin sisältävä yksikkö (13). Paikkatietoanturi mahdollistaa karamoottorin liikuttamisen haluttuun kohtaan, jolloin moottoreiden syväystä voidaan säätää portaattomasti. Tämä ohjattavuus mahdollistaisi esimerkiksi veden syvyyden mukaan säätävän automaation, jossa syvyyskaikuluotaimelta saatua tietoa käytettäisiin ennakoivasti mekanismin ohjaamiseen, pohjakosketuksien välttämiseksi.

Karamoottorin mäntä kiinnitetään momenttivarteen hauraalla tapilla. Tappi mitoitetaan siten, että se kestää perämoottorin tuottamat voimat, mutta murtuu mikäli mekanismi törmää esteeseen suurella voimalla. Näin ollen tappi toimii eräänlaisena mekaanisena sulakkeena, suojellen muuta mekanismia vaurioilta. Tappin murruttua mekanismi laskeutuu painovoiman ansiosta ala-asentoon, joten alus kykenee jatkamaan liikkumista.

Alemman moottorivarren nivelpisteisiin kiinnitetään väliholkkien päälle valaan rintaevää muistuttavaan muotoon leikattu muovilevy, jonka on tarkoitus toimia sortoa vähentävänä kölinä. Levy suojelee tämän lisäksi mekanismin metallisia osia kolhuilta mahdollisessa törmäyksessä vedenalaisen esteen tai pohjan kanssa, sillä sen etureuna on mekanismin ensimmäinen esteen kohtaava pinta (kuva 36).

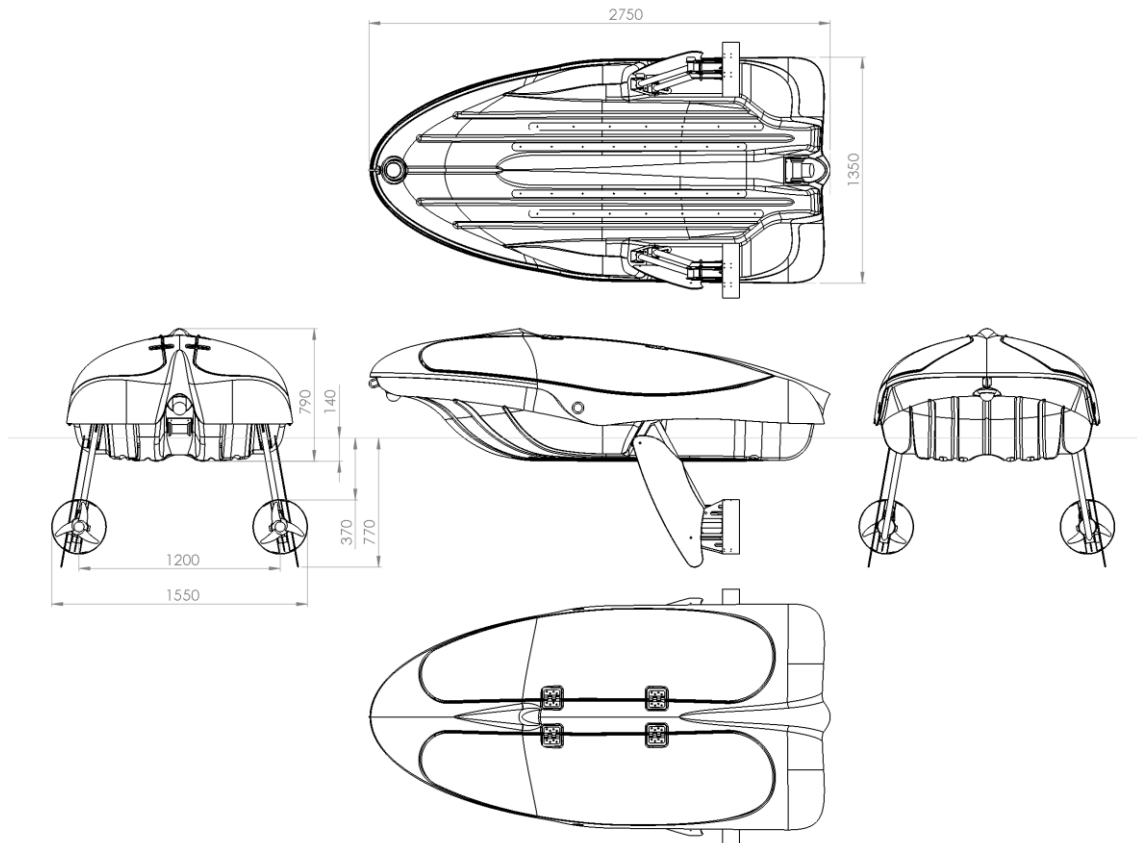


KUVA 36. Valmis mekanismikonsepti

Mekanismi kiinnittyy alukseen mekanismin ja karamoottorin kiinnityslevyistä, jotka kiinnitetään rungon vanerivahvisteisiin kiinnityskohtiin M12-ruuveilla ja -muttereilla. Moottorin virtajohto tuodaan aluksen sisälle ylävartta pitkin tai sen sisässä.

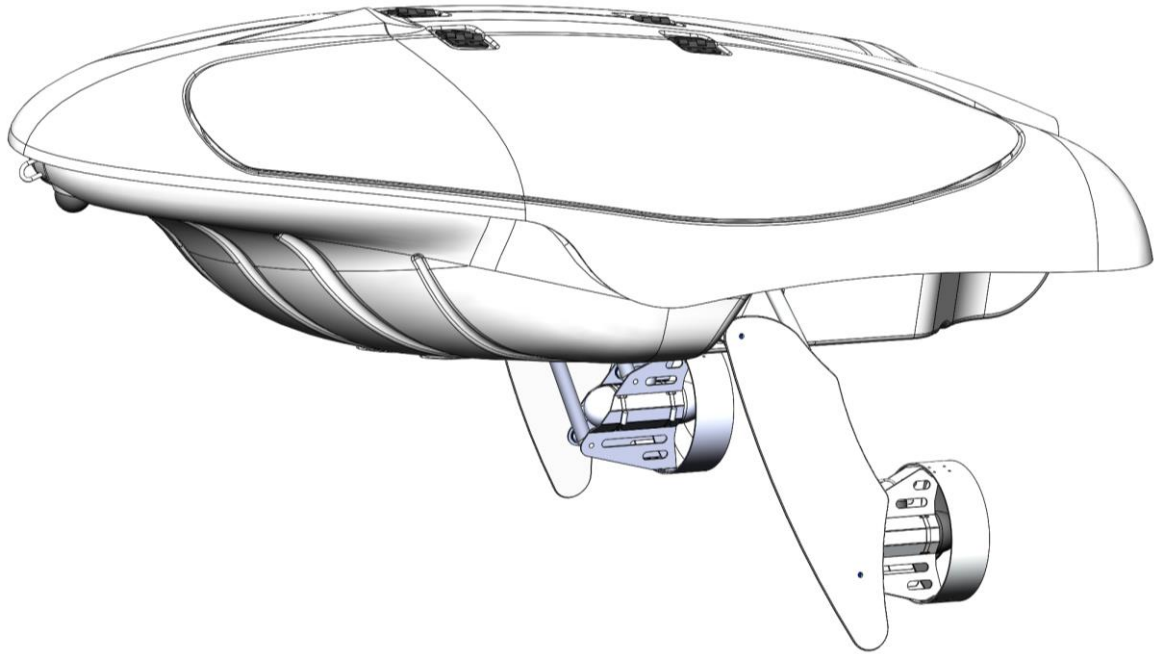
8 ALUKSEN KONSEPTIMALLI

Valmiin aluksen toiminnallisista päämitoista (kuva 37) nähdään, että 2750 mm pitkä ja 1350 mm leveä alus täyttää sille vaatimuslistassa asetetut kokonaismittavaatimukset ollen samalla nykyistä rakennetta 250 mm kapeampi sekä noin 450 mm lyhyempi.



KUVA 37. Aluksen toiminnalliset ulkomitat

Aluksen elektronisia komponentteja kuten antennija ja kaikuluotaimia ei ole kameraa lukuun ottamatta mallinnettu lopulliseen konseptimalliin (kuva 38), sillä käytettävistä laitteistoista ei ollut tarkkaa tietoa. Laitteistolle on kuitenkin harkittu konseptiin soveltuvia sijoituspaikkoja.



KUVA 38. Aluksen yleisilme, moottorimekanismit ala-asennossa

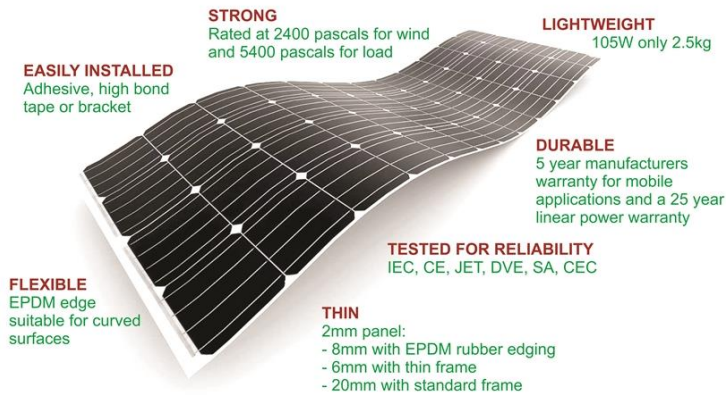
Mikäli lasikuituinen kuorirakenne on riittävän läpäisevä radioaalloille, GPS- ja GSM-antennit kiinnitetään rungon yläpuoliskoon, keskellä kulkevan sillakkeen sisäpinnalle. Mikäli signalihäviö on lasikuitukerroksessa liian suuri, voidaan antennit asentaa aluksen ulkopinnalle, saranoiden väliselle alueelle. Tällöin GPS-antenni on vaatimuslistan mukaisesti lähellä aluksen pyörähdyskeskipistettä.

Kaikuluotaimet sijoitetaan tilavaatimuksesta riippuen moottorimekanismien väistöihin tai aluksen perään alueelle, missä keskitunneli päättyy. Kaikuluotaimet asemoidaan siten että niiden mittapäät yltyvät veden pinnan alle, mutta ovat rungon suojassa kuljetuksen tai pohjakosketusten aikana. Sijainnista riippuen kaikuluotaimien kaapelit reititetään kulkemaan aluksen sisälle joko moottorimekanismin tai anturiputken läpivientiaukkojen kautta.

Huoltoluukkujen suuri pinta-ala voitaisiin halutessa hyödyntää kiinnittämällä niihin joustavat aurinkopaneelit, jotka lataisivat aluksen 12V:n akkuja. Esimerkiksi Sunman eArche -aurinkopaneeli (kuva 39) lataisi järjestelmää optimaalisissa olosuhteissa 105 W:n nimellisteholla (14). Tämä pidentäisi laitteen toiminta-aikaa ja voisi mahdollistaa jopa katkeamattoman autonomisen toiminnan, mikäli laite käyttäisi sähköerämoottoreita vain jaksollisesti.

eArche

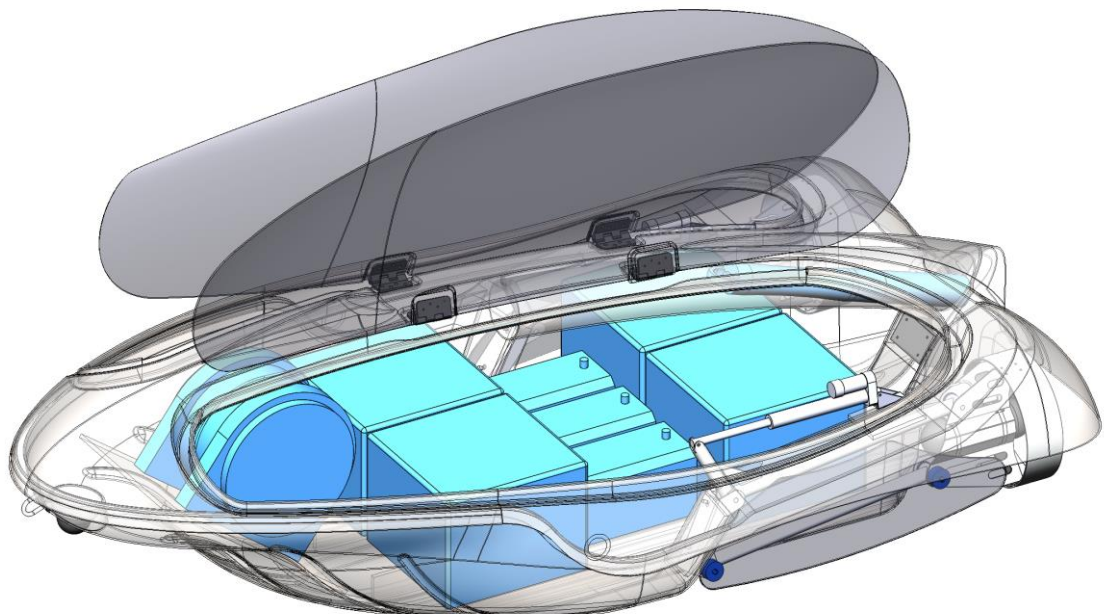
Environmental
Architectural
Energy



KUVA 39. Sunman eArche joustava 105W:n aurinkopaneeli (14)

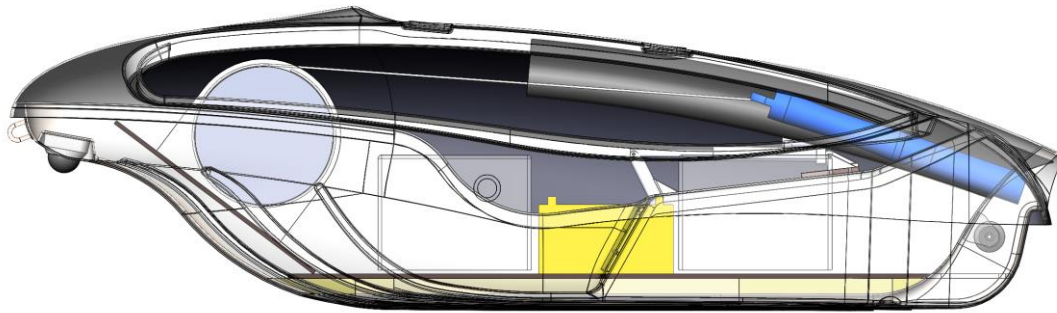
8.1 Sisäiset laitteetilat

Alukselta vaaditut tilavaraukset on sommiteltu laitteen sisätilaan siten, että arvioitu painopiste sijoittuu aluksen keskelle ja mahdollisimman alas eli noin 40 cm korkeuteen (kuva 40). Laitteen tilavuuskapasiteetti mahdollistaa sen, että vaadittujen kolmen täysikokoisen tilavarauksen, kolmen akun, sähkövinnssin, EXO2 anturin ja latureiden sekä muun pienen laitteiston lisäksi sisälle mahtuu noin 250 litraa muuta kalustoa.



KUVA 40. Sisätiloihin sommitellut akut, laitteiston tilavaraukset ja sähkövinssi

Aluksen sivunäkymästä nähdään sähkövinssin ja EXO2-anturin sijoittelu rakenteessa (kuva 41). Rungon yläpuoliskon sisäpintaan kiinnitettävä, joustavasta muoviputkesta valmistettu anturiputki toimii anturin säilytystilana, sekä sähkövinssin vaijerin ohjurina. Aluksen perässä sijaitseva vene- rulla on hieman anturiputken suuaukon alareunaa ulompana, mikä auttaa anturia kääntymään vaaka-asentoon, kun sitä nostetaan vinssillä takaisin aluksen sisään.



KUVA 41. Sähkövinssin ja anturiputken sijoittelu aluksessa

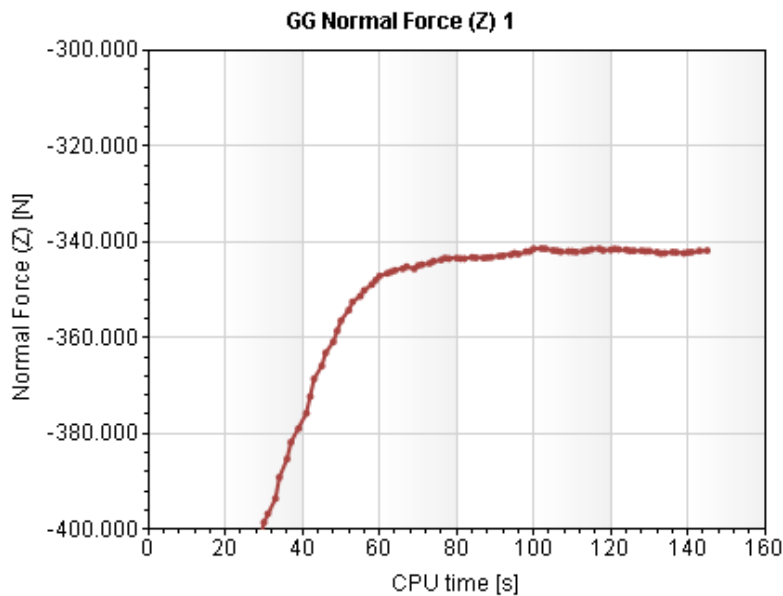
Mikäli anturiputken kitka on liian suuri eikä painovoima riitä liu'uttamaan anturia ulos putkesta las- kua yritettäessä, anturiputken suuaukole on mahdollista asentaa eräänlainen laukaisuavustin. Avustin koostuisi joustavista nauhoista ja keskipussista, jolloin se muistuttaisi rakenteeltaan ritsaa, jonka keskipussin läpi sähkövinssin vaijeri kulkee. Lepoasennossa avustin olisi putkessa lähellä suuaukkoa, mutta vinssin kelatessa anturin sisään, anturi tarttuisi pussiin vetäen sen mukanaan putkeen ja jännittäen samalla avustajan joustavat nauhat. Vinssin vapauttaessa löysää vaijeria, avustaja vetäisi joustavien nauhojen voimin anturin riittävän pitkälle ulos, jotta se tipahtaa veteen.

8.2 Aluksen virtausanalyysi

SolidWorks 2017 Flow Simulation -lisäohjelmassa tehdyssä virtausanalyysissä pyrittiin arvioimaan aluksen geometrian toimivuutta, aluksen virtausvastusta sekä siitä johdettavaa huippunopeutta. Simuloitaessa tarkasteltiin aluksen pintaan kohdistuvaa liikkeen suuntaista voimaa, aluksen pinta- painejakaumaa sekä aluksen ympärille syntyvää pyörteisyyttä.

Alus simuloitiin käyttötilanteessa, jossa siihen on lastattu normaalin varustuksen lisäksi 50 kg muuta laitteistoa, kasvattaen sen arvioidun kokonaismassan noin 210 kg:an. Tällöin aluksen syväys on suurimman sallitun syvyyksen mukaisesti 150 mm. Simuloinnissa aluksen nopeudeksi asetettiin mielivaltaisesti 5 solmua, eli noin 2,5 m/s.

Simulaation tuloksena saadun liikettä vastustavan normaalivoiman suuruus oli noin 340 N (kuva 42). Aluksessa käytettävät Motorguide Varimax 40 -perämootorit tuottavat nimellisesti 40 paunan työntövoiman (12), joka vastaa n. 178 N:ia. Näin ollen aluksen kaksi moottoria tuottavat yhteensä 356 N suuruisen työntövoiman, joka olisi riittävä 5 solmun nopeudessa koetun vastustuksen ylittämiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että arvioitu nopeus on lähellä aluksen huippunopeutta.

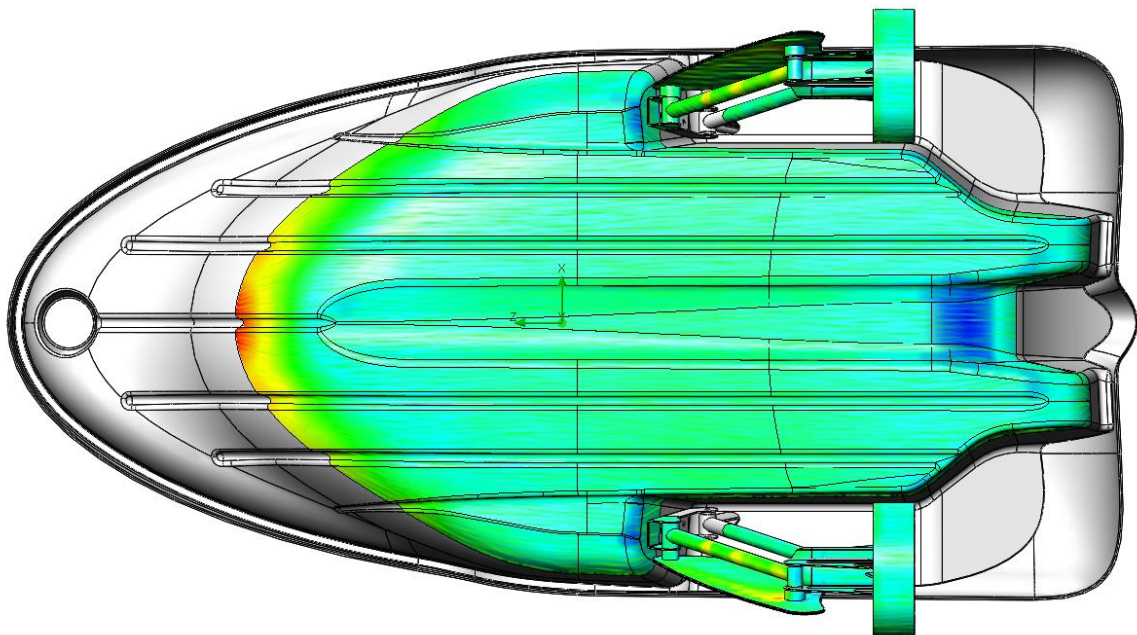


KUVA 42. Simulaation laskennallinen tulos

Simulaatiota tehdessä rungon pinnanlaatua ja pintamateriaalin sekä veden välistä kitkakerrointa ei tunnettu. Simulointimalli ei myöskään sisältänyt kaikkia virtausvastusta lisääviä komponentteja kuten mekanismien sisältämiä kiinnityselimiä tai aluksen pohjan liukukiskoja. Tämän lisäksi simuloinnissa käytetty Flow Simulation -versio ei kykene simuloimaan rajapinnan muutosta veden ja ilman välillä toisin kuin uudemmat versiot, eikä täten ota huomioon keula-aallon ja vanaveden aiheuttamien pintamuutosten vaikutusta voiman suuruuteen. Näistä syistä simulaation tulosta voidaan pitää korkeintaan suuntaa antavana.

Pintapainejakauman ja pyörteisyyden simulaatiotuloksia analysoidaan vain niiden visuaalisten tulosten muodossa, sillä kitkavoiman tavoin näiden absoluuttiset arvot ovat vain suuntaa antavia, eivätkä täten palvele suunnittelua. Visuaalisista simulaatiotuloksista voidaan havaita tekijöitä, jotka auttavat muodon toiminnallisuuden arvioimisessa.

Painejakauman tuloksissa (kuva 43) merkittävin huomiokohta on aluksen perä, jossa haarautuva muoto aiheuttaa matalapaineen alueen. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että tunnelin sivuilla olevat moottoreita suojelevat seinämät estävät keulan erottamien vesirintamien yhtymisen aluksen takana. Tunnelin läpi kulkeva vesirintama joutuu kiihtymään täyttääkseen tämän tilan, jolloin aluelle syntyy jarruttava matalapaineen alue.

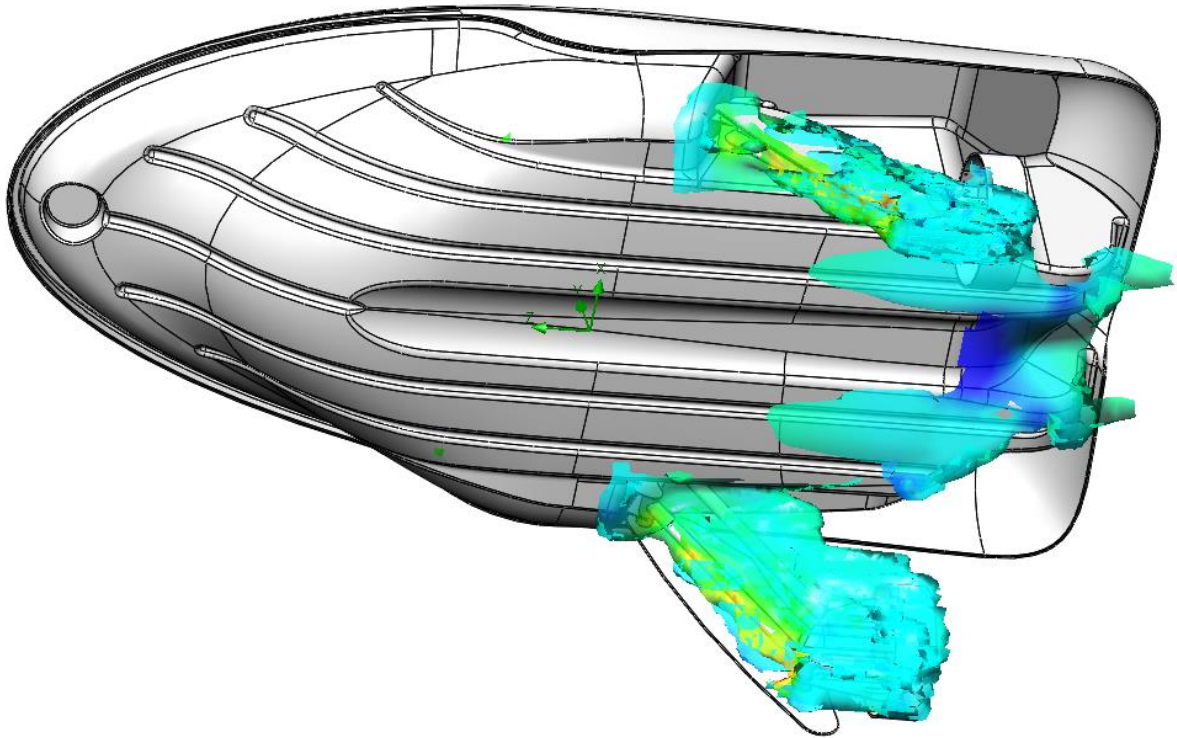


KUVA 43. Painejakauma aluksen pinnalla, matalan paineen alueet sinisellä

Mikäli aluksen oletettaisiin liikkuvan suuremmilla nopeuksilla, tulisi tätä muotoa mahdollisesti muuttaa tehollisten häviöiden pienentämiseksi. Yksi vaihtoehto olisi tunnelin lopun kaarevan pinnan säteen kasvattaminen, jolloin virtausnopeuden muutos jakaantuisi suuremmalle matkalle.

Pyörteisyyden tarkastelu auttaa arvioimaan sitä, millä seuduilla aluksen ympärillä liikkeeseen käytettävää energiaa tuhlautuu ympärillä olevan veden pyörteisyyden syntymiseen. Simulaatiotuloksissa graafinen esitys pyörteisistä ei vastaa todellisia pyörteitä, sillä alueita on suurennettu selkeysistä. Grafiikasta voidaan havaita, että eniten pyörteisyttä aiheuttavat elementit ovat perämoot-

toireiden mekanismit, sekä aluksen perässä oleva haarautuva muoto (kuva 44). Mikäli aluksen suurinta risteilynopeutta tai toimintasädettä haluttaisiin kasvattaa, olisi esimerkiksi moottorimekanismin virtaviivainen koteloiminen hyvä tapa vähentää liikkeessä syntyvää energiahäviötä.



KUVA 44. Pyörteiset alueet aluksen ympärillä, matalan paineen alueet sinisellä

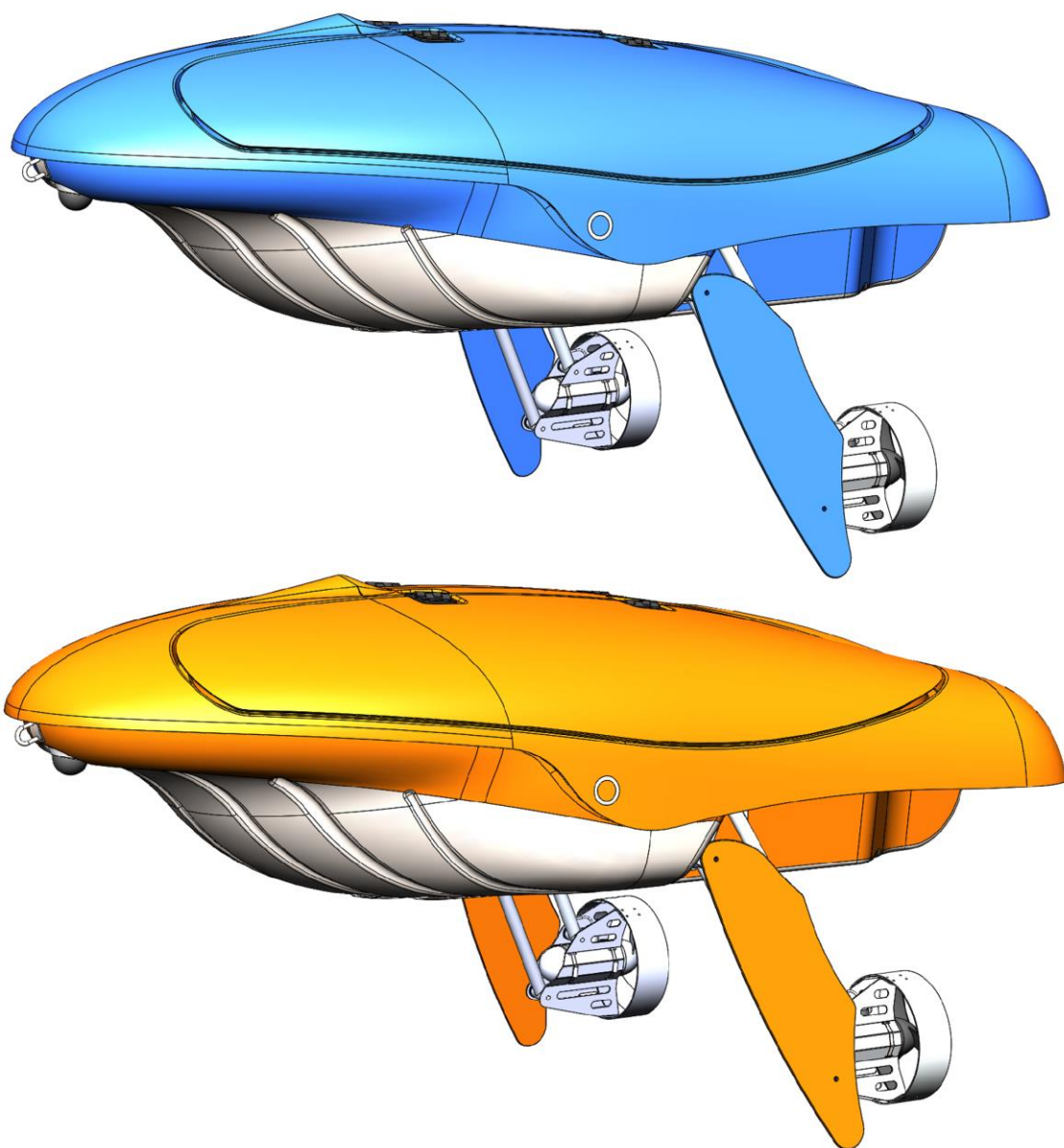
8.3 Aluksen väriyehdotukset

Aluksen muotoilu viimeisteltiin määrittämällä alukselle pintagrafiikka ja kolme väriehdotusta. Grafiikan värialueet jaettiin todellisen valaan värijakauman mukaan siten että alapinta on vaalea ja yläpinta sekä evät ovat värikkäät. Valaan silmän kohdalla on silmää muistuttava vaalea rengas. Ensimmäisessä väriehdotuksessa pääväreinä käytettiin ryhävalaan mukaisesti harmaata ja valkoista (kuva 45).



KUVA 45. Aluksen ensimmäinen väriehdotus

Mikäli alukselta toivotaan parempaa näkyvyyttä, voidaan yläpinnan ja evien harmaa korvata kirkkaammalla värillä kuten vaaleansinisellä tai vesistön väreistä hyvin erottuvalla oranssilla (kuva 46).



KUVA 46. Sininen ja oranssi variantti

9 KONSEPTIN ARVIOINTI

Konseptin onnistuminen arvioitiin vertaamalla konseptimallista mitattavia tai arvioitavia ominaisuuksia työn alussa laadittuun vaatimuslistaan. Mikäli konsepti täyttää kiinteät ja vähimmäisvaatimukset, voidaan sitä pitää onnistuneena. Mikäli konseptissa toteutuu näiden lisäksi esitetyt toiveet, on tämä konseptin laadun kannalta eduksi.

Mikäli ehdotettu rakenne tuo laitteeseen ominaisuuksia tai piirteitä, joita ei suunnittelun alussa vaadittu, mutta jotka kasvattaisivat laitteen kokonaistoiminnallisuutta tai -laatua kasvattamatta laitteen kustannuksia merkittävästi, voidaan tätä pitää suunnittelutyön arvoa lisäävänä tekijänä.

9.1 Vaatimusten täyttymisen arviointi

Vaatimuksia ja tuloksia vertailevassa taulukossa (taulukko 4) listataan asetetut vaatimukset, aluksen mallista objektiivisesti arvioidut tulokset sekä niiden perusteet ja johtopäätös siitä onko vaatimus täyttynyt. Mikäli vaatimus on tulkinnanvarainen, tai mikäli tuloksen arvioinen konseptimallista ei ole mahdollista, merkitään kohta kysymysmerkillä.

TAULUKKO 4. Vaatimusten täyttymisen arviointi

	Vaatus	Mitattu tai arvioitu tulos	K/E/?
	Geometria		
KV	Mahduttava Jaxal kuomukärryyn	Alus mahtuu Jaxal:in 70 cm korkean ja sitä suurempien kuomumallien alle.	K
KV	Leveys <1400 mm, pituus <3000 mm	Leveys: 1350 mm, pituus: 2750 mm	K
KV	Perämoottorit sijoitettu 1000 - 1400 mm etäisyydelle toisistaan	Perämoottoreiden etäisyys toisistaan mekanismien ollessa ala-asennossa: 1200 mm	K
T	Esteettisesti miellyttävä muotoilu	Työn tilaaja pitää designia onnistuneena	K
T	Kyky käyttää nykyisiä lisävarusteita ilman merkittäviä ulkoisia muutoksia runkoon	Kaikkia nykyisiä lisälaitteita voidaan käyttää muokkaamatta runkorakennetta	K
	Toiminnallisuus vedessä		
VV	Rantautumissyväys <150 mm	Normaalilla laitteistolla aluksen syväys mekanismien ollessa yläasennossa: 140 mm	K
T	vesillelasku ilman syvään veteen saattamista	perämoottoreita voidaan käyttää heti, kun vesi on syvyydeltään >150 mm, joten alus voidaan lähettää läheltä ranta-viivaa	K
VV	Kallistusvakaa sisävesistöissä <10 m/s tuulessa	Aluksen leveän, matalan muodon sekä alhaisen painopisteen oletetaan johtavan hyvään kallistusvakauteen <10 m/s tuulen aiheuttamassa aallokossa.	K
T	Virtausvastus minimoitu ajosuunnassa	Simulaatiotulokset ovat liian epätarkkoja virtausvastuksen määrittämiseen. Vertailuarvoa ei ole määritetty	?

(jatkuu)

TAULUKKO 4. (jatkuu)

KV	Kääntyminen differentiaaliohjausta käyttäen paikoillaan	Rakenne mahdollistaa differentiaaliohjauksen. Laakean pohjan muodon oletetaan helpottavan kääntymistä.	K
KV	Potkureiden etäisyys pinnasta >350 mm	ala-asennossa potkureiden yläreunat ovat >370 mm syvyydellä pinnasta	K
Rasituskestävyys			
KV	Pohjan kestettävä kiviä, teräviä esineitä sekä kuljetuksen aikaista hankausta	Pohjan uskotaan kestävän määrätyt rasitustyytit sen muodon, sisärakenteiden ja suojakiskojen ansiosta	?
KV	Rungon jäykkyys: kestettävä kantamista ja vetämistä	Rungon uskotaan olevan riittävän jäykkä ja kevyt kestääkseen kantamista ja vetämistä	?
KV	Kestettävä moottoreiden aiheuttamat rasitukset	Liikemekanismien ja rungon uskotaan kestävän perämoottoreiden aiheuttamat rasitukset	?
Sisäiset laitetilat			
KV	Tilavaraukset: 400 x 400 x 300 mm (3 kpl)	Tilaa riittävästi neljälle suurikokoiselle tilavaraukselle	K
VV	Akut: Exide 80 Ah (1 - 3 kpl)	Tilavuus ja kantavuus riittää neljälle akulle	K
VV	Akkulaturi (1 - 2 kpl)	Oheislaitteille n. 250 l vapaata tilavuutta	K
KV	Sähkövinssi: 400 x 300 x 400 mm	Vinssille riittävä tila ja kiinnityspinta	K
KV	Kaikkien laitteiden asennus ja poisto helposti	Laitteiden sijoittelu tehty siten että asennustyöt olisivat mahdollisimman helppoja tehdä	K
T	Laitteiden asennuskiinnitykset ilman rungon (pohjan) läpäisyä	Sisärakenteita voidaan käyttää kiinnityspintoina, puhkaisematta runkoa	K

(jatkuu)

TAULUKKO 4. (jatkuu)

Ulkoiset laitteet			
VV	GPS-antenni/-kompassi moottoreiden keskellä, kääntöpainopisteessä	GPS-antenni on mahdollista kiinnittää moottoreiden väliselle linjalle, aluksen sisä- tai ulkopinnalle	K
VV	Sähkövinssillä laskettava anturi esim. Ysi EXO2	Aluksella kyky laskea sähkövinssillä Ysi EXO2 anturi anturiputken kautta	K
T	Kaapelinlaskupiste moottoreiden keskellä	Kaapelinlaskupiste on lähes moottoreiden välissä, jolloin kaapeli ei häiritse moottoreiden käyttöä	K
VV	3G-/4G-haineväantenni	Laitteen ulko- tai sisäpinnalle on mahdollista asentaa verkkoliikenteen mahdollistava antenni	K
KV	Moottoroitu kamera, esim. Zavio	Rungossa paikka Zavio kupukameralle	K
VV	Kaikuluotain veneen pohjaan, lähelle GPS-antennia (1 - 2 kpl)	Kaikuluotaimet on mahdollista asentaa aluksen runkoon, lähelle GPS-antennia	K
Käsiteltävyys			
KV	Vetokoukku keulaan	Aluksen keulassa on vetolenkki	K
VV	Kantokahvat, riittävä määrä	Rungon reuna toimii kantokahvana, tai kantokahvojen kiinnityspintana	K
KV	Luukut mm. akkujen helppoon poistoon	Aluksessa on kaksi suurta, saranoitua huoltoluukua	K
Valmistettavuus			
T	Runko pääosin kahdesta osasta, jotka liitetään toisiinsa	Alus koostuu kahdesta runkopuoliskosta, jotka liitetään yhteen	K

Konseptimallista on vaikeaa arvioida aluksen todellisia lujuus- ja virtausominaisuuksia, sillä laitteen rakennetta ei ole mallinnettu riittävän yksityiskohtaisesti kyseisten ominaisuuksien tarkkaan simuloimiseen. Tämän lisäksi laitteelle ei ole esitetty selkeitä testausmäärittelyitä siitä, millainen simuloitu testitapahtuma tulisi olla vaatimuksen toteutumiseksi. Näistä seikoista johtuen näistä ominaisuuksista voidaan tehdä vain arvauksia.

9.2 Muut toiminnot

Vaadittujen toimintojen lisäksi konseptimallissa esiteltiin uusia ominaisuuksia, joilla aluksen toimivuutta ja käytettävyyttä voitaisiin parantaa, kasvattamatta laitteen kustannuksia tai monimutkaisuutta merkittävästi. Näitä olivat perämootoreiden kyky säätyä veden syvyyden mukaan mahdollistaen käytön matalikoissa ja joustavien aurinkokennojen käyttäminen laitteen akkujen lataamiseen toiminta-ajan pidentämiseksi.

9.3 Johtopäätös ja saatu palaute

Konseptimallia voidaan pitää vaatimusmäärittelyn korkean toteutumisasteen perusteella onnistuneena. Konseptissa on kyetty esittämään selkeästi toimivaksi suuri määrä toiminnallisia ja geometrisia ratkaisuja ja niiden yhdistäminen muotoiltuun rakenteeseen.

Kun lopullinen konseptimalli esiteltiin Aquamarine Robots Oy:lle, luonnehti yrityksen tekninen johtaja antamassaan arviossa työn tulosten vastaavan kiitettävästi esitettyjä kehitystarpeita. Työn hyödynnettävyyden kannalta oli tärkeää, että aluksen muotoilu olisi toimiva ja yrityksen brändiä noudattava. Muotoilussa onnistuttiin kiitettävän hyvin. Lopputulosta pidetään toteuttamiskelpoisena sekä jatkumona yrityksen muotoilulle.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä kehitettiin havainnollistava konseptimalli siitä, millainen Aquamarine Robots Oy:n robottiveneen päivitetty runkorakenne voisi olla. Työssä pyrittiin tuottamaan konseptiehdotus, joka on rakenteellisesti, toiminnallisesti, ergonomisesti ja esteettisesti laadukas. Konseptin onnistuneisuutta arvioitiin vertaamalla konseptimallin ominaisuuksia työn alussa asetettuihin vaatimuksiin. Arvostelun perusteella voitiin todeta, että konsepti täyttää riittävän suuren osan asetetuista vaatimuksista ja sitä voidaan siksi pitää onnistuneena.

Vaikka konsepti on onnistunut, ei sitä kuitenkaan ole tarkoitettu määrittämään laitetta täydellisesti, vaan toimimaan havainnollistavana esimerkkinä siitä, miten eri toimintoja voisi toteuttaa ja millaiseen ulkoiseen muotoiluun ne voidaan onnistuneesti sisällyttää. Mikäli konsepti johtaa tulevaisuudessa jatkokehitykseen, olisi sen rinnalle syytä luoda kilpailevia konsepteja, joista valitsemalla tai joiden ominaisuuksia yhdistelemällä lopullinen runkorakenne määritetään.

Valtaosa opinnäytetyöhön käytetystä ajasta kului muotoilun 3D-mallin luomiseen, sillä työssä käytettyä SolidWorksiä ei ole optimoitu monimutkaiseen tai nopeatahtiseen muotoiluun. Tämä näkyy erityisesti pintamalleja luotaessa ohjelman epävakaina toimintana, mallia uudelleen ladattaessa esiintyvänä ohjelmiston toimintavirheinä sekä tehokkaiden vapaamuovaamiseen soveltuvien työkalujen puuttumisena.

Muotoilumallin nopeaan hahmotteluun ja lopulliseen luomiseen olisi ollut huomattavasti tehokkaampaa käyttää vapaamuovaamiseen kykeneviä CAD-ohjelmia, kuten Rhinoa tai SolidWorks Industrial Designeria. Näissä osaa olisi voinut muovata virtuaalisen muovailuvahan tavoin vapaasti venyttäen, vääntäen ja litistäen, kunnes haluttu muoto saavutetaan. Tällainen mallintaminen on huomattavasti nopeampaa kuin parametrinen mallintaminen. Sen haittapuolena on kuitenkin se, että viimeisteltyjen osien hallittu päivittäminen ja muokkaaminen on lähes mahdotonta. Tämä johtuu siitä, että vapaamuovaaminen ei jätä osaan muutoshistoriaa, jota voitaisiin muokata yksittäisten piirteiden muuttamiseksi.

LÄHTEET

1. Aquamarine Robots Oy. Saatavissa: <http://www.aquamarinerobots.com>. Hakupäivä 20.11.2018.
2. Differential drive. Technology Robotix Society, IIT. Saatavissa: <https://2018.robotix.in/tutorial/mechanical/drivemechtut/>. Hakupäivä 30.11.2018.
3. Spartan. Victorinox Swiss Army, Inc. Saatavissa: <https://www.victorinox.com/ch/en/Products/Swiss-Army-Knives/Medium-Pocket-Knives/Spartan/p/1.3603>. Hakupäivä 30.11.
4. Products. Marine Advanced Research, Inc. Saatavissa: <http://www.wam-v.com/8-wamv-usv>. Hakupäivä 19.11.2018.
5. Humpback whale. Hebridean Whale and Dolphin Trust. Saatavissa: <https://hwdt.org/humpback-whale>. Hakupäivä 19.11.2018.
6. Phantom 15. Bateau.com. Saatavissa: <http://boatplans.cc/bateau/phantom-15>. Hakupäivä 20.11.2018.
7. Smooth ride. Shallow Sport Boats Inc. Saatavissa: <https://www.shallowsportboats.com>. Hakupäivä 19.11.2018.
8. Cascade. Pelican. Saatavissa: <http://directboats.com/2006cascade.html>. Hakupäivä 4.12.2018.
9. Zavio CD6330. Zavio Inc. Saatavissa: <http://www.zavio.com/product.php?id=148>. Hakupäivä 20.11.2018
10. Marine gallery. Marine Concepts, Inc. Saatavissa: <http://www.marineconcepts.com/gallery/marine>. Hakupäivä 4.12.2018.

11. Aird, Forbes 1996. Fiberglass & Composite Materials: An Enthusiast's Guide to High Performance Non-metallic Materials for Automotive Racing and Marine Use. Penguin.

12. Complete trolling motor. Van's Sport Center Inc. Saatavissa: <https://www.vansoutboardparts.com/mercury-outboard-motor-parts/trolling-motor/motorguide-varimax-series/9b831402-up/complete-trolling-motor/c1-9790?trail=17,14,1418,5740>. Hakupäivä 2.12.2018.

13. Actuator LD3/LD3Q. Moteck Electric Corp. Saatavissa: http://www.moteck.co.uk/media/attachment/file/d/a/data_sheet_ld3_ld3q.pdf Hakupäivä 2.12.2018.

14. eArche. Solar 4 RVs. Saatavissa: <https://www.solar4rvs.com.au/lightweight-solar-panels/earche>. Hakupäivä 5.12.2018.