



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOI

INSENERITEADUSKOND

Kuessaare Kolledž

ROBOTLAEV NYMO LAADIMISJAAM

MERETEHNIKA JA VÄIKELAEVAEHITUSE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Taaniel Reimers

Üliõpilaskood: 200692SDSR
Kristjan Tabri,

Juhendaja: kaasprofessor tenuuris

Tallinn 2023

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“18” Mai 2023

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Taaniel Reimers

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Robotlaev Nymo laadimisjaam“,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Kristjan Tabri,

(juhendaja nimi)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

18.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Inseneriteduskond
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Taaniel Reimers, 200692SDSR

Õppekava, peaeriala: Meretehnika ja Väikelaeva ehitus, SDSR10/19

Juhendaja: Kaasprofessor tenuuris, Kristjan Tabri, 509 2585

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Robotlaeva laadimisjaama disain, tootmine, paigaldus ja järelanalüüs

(inglise keeles) Charging station of autonomous vessel Nymo, design, assembly, installation and follow-up analysis

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaate robotlaeva tootearenduse protsessist kuni lõppdisainini
2. Näidata laadimisjaama koosteprotsessi ja paigaldust
3. Analüüsida püstitatud eesmärkide ja lõpptulemi kattuvusi ning anda soovitus edasisteks tootepranadusteks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö sisulise ülesehituse ja allikate ülevaade	15.01.2023
2.	Lõputöö algmustand	15.02.2023
3.	Esimene mustand	15.03.2023
3.	Täielik teoreetiline osa, teostatud empiiriline uuring	01.05.2023

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "18" Mai 2023a.

Üliõpilane: Taaniel Reimers ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Kristjan Tabri ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 PÕHIOISA	10
2.1 Autonoomsus laevanduses	10
2.1.1 Autonoomsete aluste lahendused maailmas	10
2.1.2 Autonoomsed laadimisjaamade lahendused	11
2.2 ROBOTLAEV NYMO.....	15
2.3 NYMO LAADIMISJAAM	18
2.3.1 Tootearendusprotsess.....	18
Lähteülesanne.....	19
Esmaste kontseptsioonide loomine	21
Kontseptsiooni täpsustamine.....	24
Lõpplahendus.....	28
2.3.2 Laadimisjaama koosteprotsess.....	31
2.3.3 Paigaldus ja testimine.....	42
2.3.4 Laadimisjaama töövõimekuse analüüs ja vajalikud täiendused	45
3 KOKKUVÕTE.....	51
KASUTATUD KIRJANDUS	53

Lühendite ja tähiste loetelu

AC - vahelduvvool

DC - alalisvool

V - volt

A - amper

W – vatt (võimsusühik)

kW – kilovatt (võimsusühik)

MW – megavatt (võimsusühik)

Kg - kilogramm

km/h – kilomeeter tunnis

km - kilomeeter

AI – tehisintellekt

IT - infotehnoloogia

PVC – polüvinüülkloriid, termoplastne polümeer

BOM - bill of materials, komponentide tabel

mm - millimeeter

m - meeter

°C – celsiuse kraad

1 SISSEJUHATUS

Käeoleva lõputöö keskmes on robotlaev Nymo ning temale loodud autonoomne laadimisjaam. Toode luuakse küll Nymole, kuid disaini loomisel peetakse silmas toote skaleeritavust ja universaalsust, et seda saaks kohandada hiljem ka teiste Mindchipi toodetega.

Nymo on Taltechi, Minchip OÜ ja MEC Insenerilahendused OÜ poolt arendatav robotlaev. Aluse arendajatel on soov astuda järgmine samm, et Nymot saaks nimetada täisautonoomseks, mis eeldab muuseas ka autonoomset laadimisvõimekust. Et seda saavutada, on vaja disainida, toota ja testida laadimisjaam, kuhu alus ise siseneb, laeb ja akude täitumisel väljub. Selle protsessi tagamiseks on vajalik luua aluse ja laadimisjaama omavaheline suhtlus ning riistvaraline sobivus. Selline võimekus lubaks alusel teostada jooksvalt missioone ilma inimese otsese sekkumiseta. Perspektiivis saab näiteks paigaldada meretuuleparkide juurde ning aluse(d) saaksid järjepidevalt monitoorida merepõhja.

Autonoomsete aluste projektid on aktuaalsed üle maailma ning igas suuruses alustele. Alustades väiksematest Xocan [1] laadsetest uurimisalustest, kuni suurte Yara Birkeland [2] laadsete kaubaveolaevadeni välja. Läbi teaduse ning kommertssektori integratsiooni on autonoomsed projektid hea näide innovatsiooni protsessidest, mis pakuvad praktilist väljundit teadusele, teisalt pakuvad efektiivsust ja perspektiivi ettevõtjatele. Mitmed sektoriteülesed koostööprojektid keskenduvad konkreetsete probleemide lahendamisele, sh. ka käesoleva töö sisuks olev projekt. Rohepöörde ja jätkusuutlikkuse perspektiivist vähendab iga optimeeritud laevareis keskkonnale tekitatavat jalajälge. Vene-Ukraina sõda on mehitamata aluste olulisuse militaar tasandil toonud paraku kõikide teadmisse.

Lõputöö keskendub tervele laadimisjaama loomise protsessile, mis on olemuselt kompleksne tootearenduse projekt, kus alates ideest ja läbi erinevate täienduste jõuti välja lõppdisainini, toodeti ja testiti seade. Avalikest allikatest pole lõputöö autor leidnud analoogset tootearendust, toodet või isegi sellist ideed ning see muudab antud tootearenduse unikaalseks.

Konteksti loomiseks antakse lõputöö alguses lühike valikuline ülevaade autonoomsetest alustest ja laadimislahendustest, tutvustatakse sektorit ning selle perspektiive.

Lähtuvalt tootearenduse protsessist jaotub käesoleva töö tootekeskne osa kolmeks:

- Idee väljatöötamine, mille lõpptulemuseks on valmis disain

- Toote koostamine, mille lõpptulemuseks on valmis toode
- Toote testimine ja järelduste tegemine täiendusteks

Lõputöö autor liitus projektiga kui oli olemas esmane Mindchipi nägemus tootest. Läbi ideerünnakute ja kolme erineva versiooni jõuti lõpplahenduseni, mille lõplikult vormistas, arvutas ja tootmisküpseks vormistas MEC Insenerilahendused OÜ. Lõputöö koostaja poolt tehtud joonised on teostatud Solidworks 2021 programmis, robotlaev Nymo .step faili sisend on saadud Mindchipilt. Tootmisprotsessis on mudeli vaatlemiseks kasutatud ka Rhino 7 ja Autocad 2021 programme. Antud lõputöö ei keskendu laadimisjaama ja Nymo elektroonilistele komponentidele, -süsteemidele ja loogikaskeemidele.

Lõputöö valmimisega ei lõppe antud tootearendus, vaid liigub uude etappi, mille sisuks on lõputöös toodud täienduste sisseviimine, et Nymo saaks lähitulevikus püsiva töökoha Tallinnas Admiraliteedibasseinis.

2 PÕHIOOSA

2.1 Autonoomsus laevanduses

Tehnoloogia tempokas areng tõukab tagant autonoomsete aluste sektorit üle maailma. Töö on sektoriülene, haridusasutused näevad siin potentsiaali teaduse rakendamiseks, ettevõtjad potentsiaali efektiivsuse tõstmiseks.

2.1.1 Autonoomsete aluste lahendused maailmas

Autonoomse aluse kontseptsioon iseenesest pole midagi uut, teada on esimesest selleteemalisest uuringust Jaapanist aastatel 1982-1988. Aastatel 1999-2014 tegutses *de facto* autonoomse laevana raketiplatvorm L/P Odyssey, mis oli kaugjuhitav, kuid mehitamata [3]. Eelmise kümnendi algusest on tulnud välja väga palju uuringuid ja teadustöid antud teemal. Alustatud on mitmeid kootööprojekte era- ja teadusasutuste vahel ning Euroopa viis riiki on kõrgel tasemel pannud kokku konsortsiumi Autoship, mille eesmärk on valdkonna edendamine ja koostöö koordineerimine. Viimase aja edulugu on alus M/S Yara Birkeland, mis on maailma esimene täiselektriline ja nullemissiooniga konteinerlaev. Alus alustas täiskohaga tööd 2022 sügisel ning sellega välditakse igal aastal 40 000 emissioonirikast rekkareisi maanteed pidi. M/S Yara Birkeland lastiks on mineraalväetised ning teekonnaks on kindel marsruut tootmistehase ja ekspordisadama vahel Norras [2].

Venemaa täieulatuslik sõjaline sissetung Ukrainasse on toonud autonoomsete aluste temaatika ka mitte-eriala inimeste lauale, kui Ukraina ründas veepealsete mehitamata alustega Venemaa mereväe paraadaluseid. Kindlasti on oodata militaarvaldkonna suurt projektide kasvu. Kodumaalt on võimalik leida pressiteade koostöö kohta Baltic Workboatsi ja Kaitseministeeriumi vahel, mille sisuks on autonoomsete militaaraluste arendamine, täpsemat infot sisu ja ajaliste piiride kohta pole [4]. Nymo looja Mindchip ja MEC on testinud arendatavat Artificial Captain 2.0 lahendust Baltic Workboatsi tehase käidutestides.

Autonoomsete aluste sektori rahalist turumahtu on keeruline hinnata, kuid väikese ülevaate annab India turu-uuringute ettevõtte SNS Insider tururaport. Selle ülevaate kohaselt oli aastal 2022 veepeal liikuvate aluste valdkonna mahuks 804 miljonit USA dollarit ning aastaks 2030 on hinnatav maht 2,32 miljardit [5]. Sektor on väga aktiivne ja kasvav.

2.1.2 Autonoomsed laadimisjaamade lahendused

Vastupidiselt autonoomsete aluste infoküllusele, on automaatsete laadimislahenduste kohta väga vähe infot. Suured plaanis võib kättesaadavad projektid liigitada kaheks:

- Projekt on keskendunud automaatse laadimislahenduse loomisele olemasolevale alusele
- Projekt on keskendunud nii autonoomsele alusele kui autonoomsele laadimislahendusele

Esimesel juhul neist kahest ei ole ühelgi vaadeldaval puhul tegemist autonoomsete alustega, kuid laadimine on automatiseeritud ja toimub inimese sekkumiseta. Lahenduste vaatlus on käesoleva töö kontekstis põhjendatud, et hinnata süsteemi põhimõttelist ülesehitust.

Autonoomseid laadimislahendusi vaadates torkab silma mitu ühist nimetajat:

- kõik töötavad lahendused asuvad Skandinaavias;
- kõik lahendused on välja töötatud suurte ettevõtete poolt, kellel on elektri- ja merenduse valdkonnas väga korralik tegutsemiskogemus

Rohkelt infot on võimalik leida Saksamaa ettevõtte **IPT Tehcnology** loodud lahenduse kohta Norras Fredrikstadi linnaosasid ühendava väikese liinipraami lahenduse kohta. Antud lahendus on loodud spetsiaalselt 15m pika ja kuni 50 inimest mahutava liinisõite tegeva praami kohta ning töötatud välja konkreetseid nõudmisi silmas pidades. Laadimis võimsus on kuni 100kW. Tulenevalt liinigraafikust on võimalik laadimisaeg kuni 112 sekundit, seega saab laadimiskorraga üle kanda vaid 2,8kW, kuid see on siiski piisav, et hoida aku pidevalt vähemalt 72% täitumise juures. Tehnilise lahenduse poolest on kasutusel induktiivsed laadimisplaadid, kus pistikute ühendamist ei toimu. Laeval asub laadimisplaat pakpoordis ning dokkides on see kohakuti kail asuva laadimisplaadiga. Kuna laev opereerib jõel, võib eeldada, et tegu on suhteliselt stabiilsete oludega, kuid sellest hoolimata on kaipoolsed laadimisplaadid liigenditega, et tasandada mõningased liikumised. Laev fikseeritakse vööril spetsiaalsete haaratsitega kai külge ja see tagab kahe laadimisplaadi vahelise kontakti stabiilsuse, kuid laadimis- ja sildumismehhanism on üksteisest sõltumatud tooted [6]. Antud lahendus on skaleeritav suurematele mudelitele, kuid eeldab alati lisaks ka aluse ja kai vahelise fikseerimislahenduse väljatöötamist.



Joonis 1. IPT-Technology laadimislahendus. Foto: tootja

Šveitsi ettevõtte **Cavotec SA**, kellel on harud 30-s riigis ja rikkalik teadmistepagas erinevate industriaalsete- ja elektrautode laadimiste vallas, on arendanud välja automaatse laadimislahenduse Cavotec Automatic Plug-in System (APS) (Joonis 2). Koos nende pakutava automaatse sildumissüsteemiga MoorMaster NxG (Joonis 2) on võimalik luua täisautomaatne laadimismehhanism elektrilistele praamidele. Referentse on mitmel pool Skandinaavias (Soome, Norra, Taani) ning esimesed süsteemid on praeguseks töötanud ca 5 aastat. Nii sildumis- kui laadimismehhanism asuvad laeva samal küljel. Alumises osas on pneumaatiliste silindrite otsast liikuvad plaadid, mis aitavad aluse fikseerida õiges asukohas. Laadimine toimub läbi laeva ülaosas asuva "tasku", kuhu riputatakse kõrgemalt trossidega laadimispistik. Selline kontaktne pistiklaadimine võimaldab kasutada tunduvalt suuremaid laadimisvõimsusi. Antud toodete puhul toimub aluse fikseerimine ja laadimine erinevate toodetega. Avalikest allikatest pole võimalik leida viiteid lahendusele kus on laadimislahendus töötamas ilma automaatse sildumislahenduseta, küll aga on ohtralt näha automaatseid sildumislahendusi ilma laadimiseta (sh. näiteks Tallinna reisisadamas) [7].



Joonis 2. Cavotec Automatic Plug-in System ja MoorMaster NxG. Fotod: tootja

Soome sugemetega suurfirma **Wärtsilä** on samuti arendanud välja automaatse laadimissüsteemi (Joonis 3). Avalikest allikatest on näha, et seda pakutakse peamiselt koos Cavoteci automaatse sildusmissüsteemiga MoorMaster. Wärtsilä lahendus on tänapäevasem, sest kasutatakse juhtmevaba laadimist. Suurte laadimisplaatidega suudetakse pakkuda kuni 2,5MW laadimisvõimsust ning seejuures lubatakse, et laadimine toimub vahemikus 4-500mm [8].



Joonis 3. Wärtsilä juhtmevaba laadimisplakk lähenemas laevale. Foto: tootja

Wärtilä ja Cavotec on avaldanud 2016 aastal pressiteate koostöö kohta automaatse sildumis- ja laadimismehhanismi väljatöötamiseks. On teada, et esimesed süsteemid on tööle saanud 2018 aastal. [6]

Läbi interneti sisu talletavate veebilehtede on võimalik leida mõningast infot **Kongsberg Maritime** poolt loodava „Autonomous Charging System (ACS)“ kohta. Hetkel pole tootja kodulehel antud veebileht enam aktiivne, kuid ajaloost on võimalik mõningast pinnapealset infot leida.

Kongsberg ACS on täielikult automatiseeritud süsteem, mis kasutab autonoomsete laevade laadimisdokile juhtimiseks GPS-i, kaamerate ja andurite kombinatsiooni. Kui laev on paigas, kasutab laadimisjaam laeva akude laadimiseks juhtmevaba laadimissüsteemi. Laadimisprotsessi jälgitakse ja juhitakse eemalt kaldalt, võimaldades täiesti mehitamata tööd.

Laadimisjaam on konstrueeritud nii, et see ühilduks paljude autonoomsete laevadega ning seda saab kohandada vastavalt erinevate aluste ja asukohtade spetsiifilistele vajadustele. Süsteem on loodud ka skaleeritavaks, kuna võrku saab paigutada mitu laadimisjaama, et pakkuda laadimisvõimalusi ka suurema autonoomse laevastiku jaoks.

Kongsberg ACS-i üks peamisi eeliseid on selle võime vähendada käsitsi sekkumise ja hoolduse vajadust, mis võib säästa aega ja vähendada kulusid. Süsteem võimaldab ka autonoomsetel laevadel töötada pikema aja jooksul ilma inimese sekkumiseta, muutes selle väärtuslikuks tehnoloogiaks paljudes tööstusharudes, sealhulgas avamere nafta ja gaasi, mereuuringute ja transpordi jaoks.

Antud Kongsbergi lahenduse ühtegi visuaalset ega põhimõtteskeemi pole kusagilt leida, kuigi paberil tundub see põhimõtteliselt kõige lähemal Nymo laadimislahenduse ideega.

Käesoleva töö subjektiks oleva laadimislahenduse üks perspektiive on loodava lahenduse kasutamine ka avamerel. Samale printsiibile vastab ka maailma suurima merelogistika konglomeraadi **Maersk** projekt Stillstrom. See on meretuuleparkide juurde loodav automaatne laadimislahendus, mis võimaldab kasutada kohapeal toodetud elektrit erinevate aluste laadimiseks. Projekt on hetkel veel paberil, kuid plaanide järgi läheb pilootpoi katsetustesse juba sel aastal [9].



Joonis 4. Maersk Stillstrom laadimispoi. Foto: Maersk

Tabel 1. Robotlaev Nymo omadused

Põhinäitajad			
Keretüüp:	Katamaraan	Kere materjal:	Klaasplast
Propulsioon:	2x sõukruvi	Manööverdamine:	2x roolileht
Peamised parameetrid			
Mõõdud	Pikkus 2560mm, laius 1100mm, süvis 180-270mm		
Kandevõime	Kuni 100kg		
Kiirus	Kuni 11km/h, töökiirus 5,6km/h		
Autonoomsus	100km		
El.süsteem	12V		
Side	5G, 4G, 433 MHz, WIFI, AIS		
Sensorid	3xLIDAR, radar, kaamera, magnetomeeter, tuulemõõtja, güroskoop, kajalood		
Turvalisus	AIS, navigatsioonituled		



Joonis 6. Robotlaev Nymo. Foto: Mindchip

Nymo on oma eluteel läbinud mitmeid etappe ja katsetusi. Tegu on justkui merel liikuva, isesõitva laeva komponentide ja süsteemide katsepolügooniga. Nymo on vahend, mis võimaldab arendada isesõitva laeva liikumisi, parkimisi, objektide tuvastamisi, süsteemide koostööd, side püsivust jne. Siin kohtuvad elektroonika, mehhaanika, side, laevaehitusteadmised, füüsika, keemia, AI, IT, juriidika jt. Võimekuselt on Nymo hetkel piiratud autonoomsusega. Ta on võimeline täitma ülesandeid, kuid pole võimeline ise silduma, akusid laadima ja uuesti missioonile minema.

Aluste autonoomsus on jaotatud kaheksasse klassi [10] vastavalt Tabel 2.

Tabel 2. Laevade autonoomsuse klassid

Otsene kontroll	Laevasillal meeskond otseselt kontrollib laeva, puudub otsuste tugi
Otsuste tugi	Otsuste langetamisel on väline abi, otsustaja on meeskond sillal
Automaatne sild	Automaatsed operatsioonid meeskonna valve all
Perioodiliselt mehitamata	Pidevalt kalda vaatluse all, vajadusel kaasatakse silda meeskond
Kaugjuhitav	Mehitamata, pidev jälgimine ja otsene juhtimine kaldalt
Automaatne	Mehitamata, automaatne juhtimine, jälgitav kaldalt
Piiratud autonoomsus	Mehitamata, osaliselt autonoomne, pidev järevalve kaldalt
Täisautonoomsus	Mehitamata ja ilma jälgimiseta

Nymo'le arendatav automaatne laadimisjaam oleks suur samm lähemale täisautonoomsuse saavutamiseks, seega on automaatse laadimisjaama ehitamine ja selle töölepanek koos Nymo'ga edasivaatava arenduse loogiline samm.

Täisautonoomse töötsükli saavutamisel võiks Nymo'lt eeldada nelja võimekust:

- Võime võtta vastu missioonikäsku ning hinnata enda võimekust seda missiooni täita (näiteks jagada missioon mitme päeva peale vastavalt akude mahutavusele, missiooni pikkusele, laadimisvõimele jne.)
- Võime hinnata olemasolevaid ja tulevaid väliseid olusid ning korrigeerida enda tegevusplaani vastavalt (näiteks halbade ilmastikuolude korral jätkata missiooniga järgmisel päeval või lihtsalt korrigeerida enda marsruuti vastavalt teele sattunud takistustele, mitte sõita madalikule jt)
- Võime täita etteantud missioon
- Võime ise silduda laadimiskohta, laadida iseseisvalt akusid

2.3 NYMO LAADIMISJAAM

Nymo laadimisjaama arendus jaotub nelja põhietappi:

- **Tootearendusprotsess**

Siin pannakse paika lähteülesanne ning töötatakse välja kontseptsioon. Erinevate lahenduste analüüs peab vastama eesmärkidele vastava toote loomisega. Etapi eesmärk on luua paberil toode, mis vastab soovitud tingimustele ning vormistatakse tootejoojooniste komplekt tootmiseks.

- **Koosteprotsess**

Vastavalt tootmisjoojoonistele ja BOM tabelitele tellitakse vajalikud komponendid allhankijatelt. Tootmisruumides komplekteeritakse toode ja teostatakse võimalikud eeltestid. Etapi eesmärk on luua reaalloludes testimist ja töövõimekuse hindamist võimaldav toode.

- **Paigaldus ja testimine**

Loodud tootekomplekt paigaldatakse töökohta kuhu ta on projekteeritud, teostatakse esimene võimekustest reaalloludes. Etapi eesmärk näha tootekomplekti ja iga detaili koostöövõimekust .

- **Töövõimekuse hinnang**

Hinnatakse töövõimekust ja pakutakse lahendused parendusteks. Etapi eesmärk on luua pinnas ja plaan tootetäiendusteks, mida tehakse kõrvutades seatud eesmäärke ja tulemit.

2.3.1 Tootearendusprotsess

Tootearendusprotsessi alguses oli olemas Mindchipi poolne teadmine, et sellise laadimislahenduse jaoks on vajadus olemas. Loodud oli projekt toote loomiseks, valmistamiseks ja testimiseks. Oli olemas ka esmane nägemus tootest aga polnud konkreetselt sõnastatud täpseid tingimusi, millele lahendus vastama peab. Piiravaks teguriks oli projekti eelarve. Paika oli pandud eesmärk, et 2022 hooajal saab teha tootele esmased katsetused.

Lähteülesanne

Enne tootearendusse sukeldumist on vaja panna paika projekti raamid ja sõnastada tingimused, millele toode peab vastama. Käesolev projekti raamistik ja ootused tootele on sellised:

- Laadimisjaama disain peab võimaldama aluse positsioneerumist
- Laadimisjaam peab võimaldama aluse fikseerimist
- Laadimisjaama peamine ülesanne on Nymo akude laadimine
- Loodav lahendus on esialgu kasutatav Admiraliteedibasseinis, kuid peab omama perspektiivi kasutamiseks mis iganes sadamas
- Loodav lahendus võiks olla skaleeritav suurematele alustele
- Tootearenduse ja prototüübi tootmise kulu peab mahtuma projekti eelarvesse
- Esimesed testimised peavad toimuma 2022 hooaja jooksul

Mindchip ja MEC Insenerilahendused olid välja valinud ja tellinud konkreetse laadimislahenduse toote, milleks on tootja Delta Electronics juhtmevaba laadimislahendus Moov Air võimsusega 1kW (Joonis 7).

System Overview



Joonis 7. Delta Electronics juhtmevaba laadimislahendus Moov Air. Foto: Tootja

Antud toote peamised parameetrid (Tabel 3) annavad olulise sisendi laadimisjaama tootearenduseks.

Tabel 3. Moov Air olulisemad parameetrid [11]

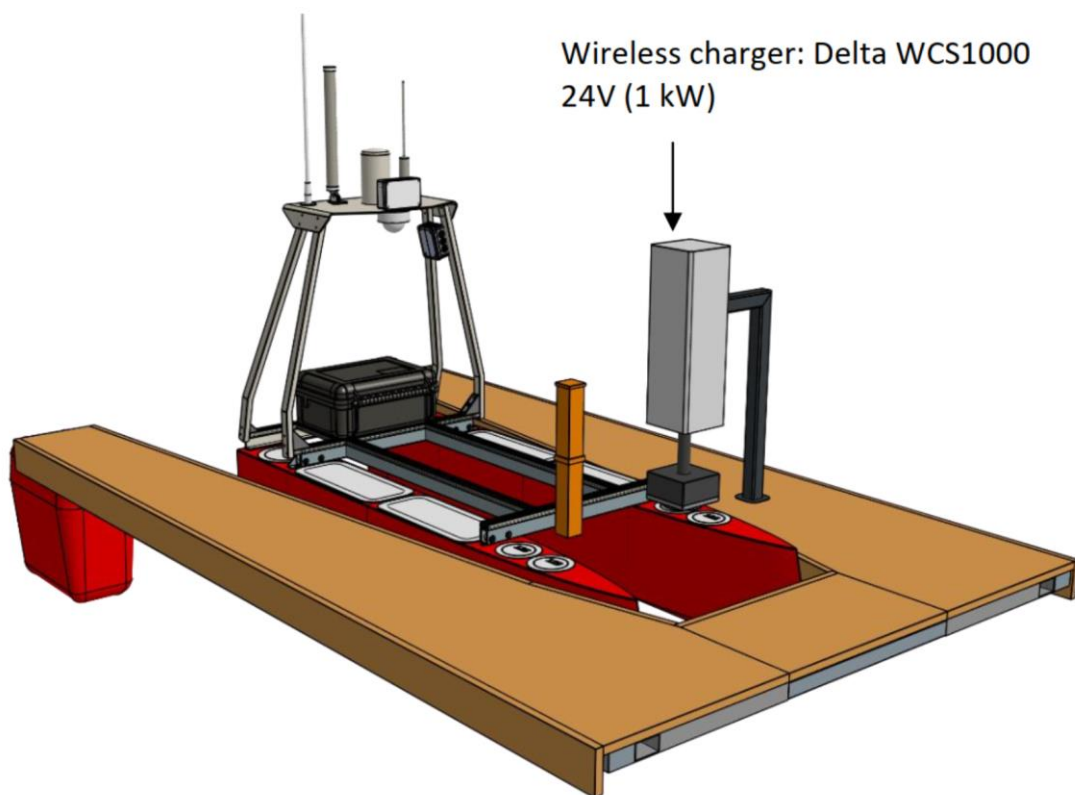
Sisendvool AC		100 kuni 240V, 1 faas
Maksimaalne sisendvool AC		12A
Väljundvool DC		24V 48V
Väljundvoolu vahemik DC		12 kuni 30V 24 kuni 60V
Maksimaalne laadimisvool DC		41,7A 20,8A
Maksimaalne väljundvõimsus		1000W
Töötemperatuur		-20°C kuni +50°C
Laadimisplaatide vaheline töövahemik		0 kuni 20mm
Laadimisplaatide võimalik atsentrilisus		0 kuni 20mm
Möödud	Toiteplokk	192*280*60mm
	Laadimisplaadid	D160*19mm
	Parda laadimisplokk	168*82*28mm
Veeklass	Toiteplokk	IP65
	Laadimisplaadid	IP65
	Parda laadimisplokk	IP40

Kuna antud toode oli juba olemas, siis kogu edasine tehniline lahendus pidi vastama Moov Air füüsilistele ja tehnilistele omadustele. Teisalt oli toote olemasolu oluline aspekt, kuna võimaldas Nymo kõrval pidada täpset paigaldusplaani ja seeläbi võimaldas hinnata vajalike muudatuste mahtu Nymo juures. Edasiseks tootearenduseks sai siit järgmised sisendid:

- Nymo parempoolse kere esimese ja teise sektsiooni vaheseina on vaja teha läbiviik kaablile

- Nymos olevad luugid on samas suurusjärgus laadimisplaatide mõõtudega
- Laadimislahenduse kaipoolne osa peab mahutama laadimisploki
- Tallinna Sadamalt saab anda sisendi vajaliku laadimisvoolu tagamiseks
- Laadimisplaatide IP65 markeering ei eelda plaatide katmist laadimisvabal ajal [12]

Teiseks oluliseks sisendiks oli Mindchip'i poolt esmane nägemus tootest (Joonis 8).



Joonis 8. Mindchipi esmane nägemus tootest. *Joonis: Mindchip*

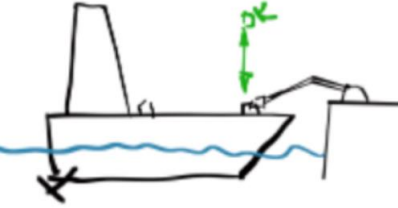
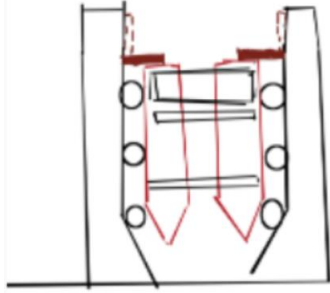

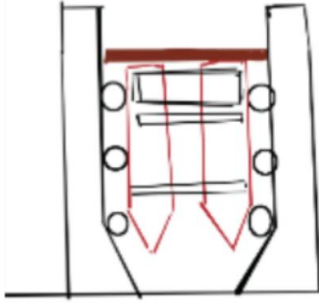
Esmaste kontseptsioonide loomine

Mindchipi esmane lahendus on keskendunud laadimislahenduse loomisele, vähem on tegeletud aluse fikseerimise küsimusega. Laadimislahendus ise peaks olema piisavalt dünaamiline, et kompenseerida kõik alus-kai liikumiserinevused. Laadimislahenduseks on kai külge kinnitatud ning postiga kõrgemale toodud seadmete kogum, mis peidab

endas vajalikud seadmed ning tross/vedrumehhanismi abil tõstab laadimisplaati. Lahenduse tehniline osa on detailsemalt läbi töötamata.

Mindchipi esmase lahenduse ning selle murekohtade analüüsi järel valmis neli (Tabel 4) potentsiaalset suunda kuhu tootearendusega edasi liikuda.

Tabel 4. Neli jätkuversiooni Mindchipi esmasele lahendusele. *Joonised: Taaniel Reimers*

<p style="text-align: center;">„Käpp“</p>  <p>Kai külge on kinnitatud „käpp“ mis hoiab alust laadimise ajal kinni. Laadimislahendus Mindchipi algversioon modifitseeritult</p>	<p style="text-align: center;">2 väravat</p>  <p>Aluse taga on kaks väravat, mille avamise-sulgemisega aluse liikumist ujuvkaide vahel piiratakse. Laadimislahendus Mindchipi algversioonist</p>
<p style="text-align: center;">Rulltee</p>  <p>Nymo sõidab sadama kai külge kinnitatud ning uputatud olekus olevale rullteele. Pontoonist surutakse õhk välja ja rulltee tõstab aluse veest välja. Laadimislahendus Mindchipi algversioon modifitseeritult</p>	<p style="text-align: center;">1 värav</p>  <p>Aluse taga on üks värav, mille tõstmise-langetamisega aluse liikumist ujuvkaide vahel piiratakse. Laadimislahendus Mindchipi algversioonist</p>

Loodud kontseptsioonidele hinnangu andmine keskendub aluse fikseerimisele, koostedetailide mahule, keerukusele ja hinnale. Variantide hindamine toimus läbi maatriksi, mis on toodud Tabel 5. Maatriksis hinnatakse igat lahendust skaalal 1-10, põhimõttel mida parem võimekus, seda kõrgem hinne.

Tabel 5. Hindamismatriks esmaste lahenduste hindamiseks

Kriteerium	„Käpp“	„Üks värav“	„Kaks väravat“	„Rulltee“
Vertikaalõõtsumine	8	2	2	10
Pikiõõtsumine	6	3	3	10
Külgõõtsumine	4	6	6	10
Nymo kaitse	8	6	6	10
Laadija kinnitus	5	5	5	7
Komponendid/keerukus	2	7	6	2
Hind	3	8	7	2
Vastupidavus	4	7	6	4
Skaleeritavus	5	5	5	5
Navigatsioon	3	2	2	2
KOKKU	49	51	48	62

Lühihinnang igale lahendusvõimalusele.

- “Käpp” on tehniliselt suhteliselt keerukas mehhanism, mille puhul ühele liigendile langeb terve hulk ülesandeid. Käpa fikseerimiseks ja laadija paigaldamiseks on vaja kindlat pinda, mis tähendab, et lahendus on skaleeritav igasse sadamasse aga mitte näiteks avamerele. Lahendus eeldab täpset lähenemist Nymolt.
- “Üks värav” lahendus jätab täiesti vabaks aluse vertikaalse liikumise ning eeldab selle kompenseerimist laadimislahenduselt. Külgõõtsumisi piiravad külgmised ujuvkaid, pikiõõtsumise piirab aluse taga olev värav. Kuivõrd vabade liikumiste amplituud on suur ning ujuvkai tõusuintervall võrreldes alusega erinev, tähendab see kõrgeid ootusi ja keerukust laadimislahendusele. Eraldi oleks vaja lahendada kahe laadimisplaadi fikseerimine näiteks magnetite või pesade abil. Tagumise värava avamine toimuks tõstmise-langetamise teel. See tähendaks Nymo sadamasse tuleku ja mineku ajal värava vee alla surumist. Lahendus saab väga vähe punkte just vabade liikumiste tõttu, tehniliselt pole toode keeruline, kuid väravamehhanismide veekeskonnas töötamise tõttu on hinnang vastupidavusele keskmine.
- “Kaks väravat” lahenduse liikumise hinnang on sama mis ühe väravaga lahenduse puhul. Erinevus seisneb väravate avamises, mis toimub klassikalisel viisil. Tehniline keerukus kahe värava loomisel on suurem aga vastupidavus veidi parema hindegaga, kuivõrd töökeskkond on sobivam. Mõlemal väravasüsteemil on küll ujuvkai poolt hea külgõõtsumiste piirang vendrite näol, kuid vendrid

eeldavad Nymolt väga täpset laadimisjaamale lähenemist. Komplitseeritud oleks nurga all lähenemine.

- "Rulltee" lahendus saab maksimaalsed punktid Nymo fikseerimise ja kaitsmise aspektist, lisaks saaks rullteele kinnitada laadimisjaama. Küll aga on siin tõsine oht Nymo roolilehtede ja sõuvõllide vigastamiseks. Ka eeldab selline lahendus väga täpset lähenemist laadimisjaamale. Küll aga on see parim lahendus tagamaks laadimisjaama peamise ülesande – laadimise – stabiilset teostamist.

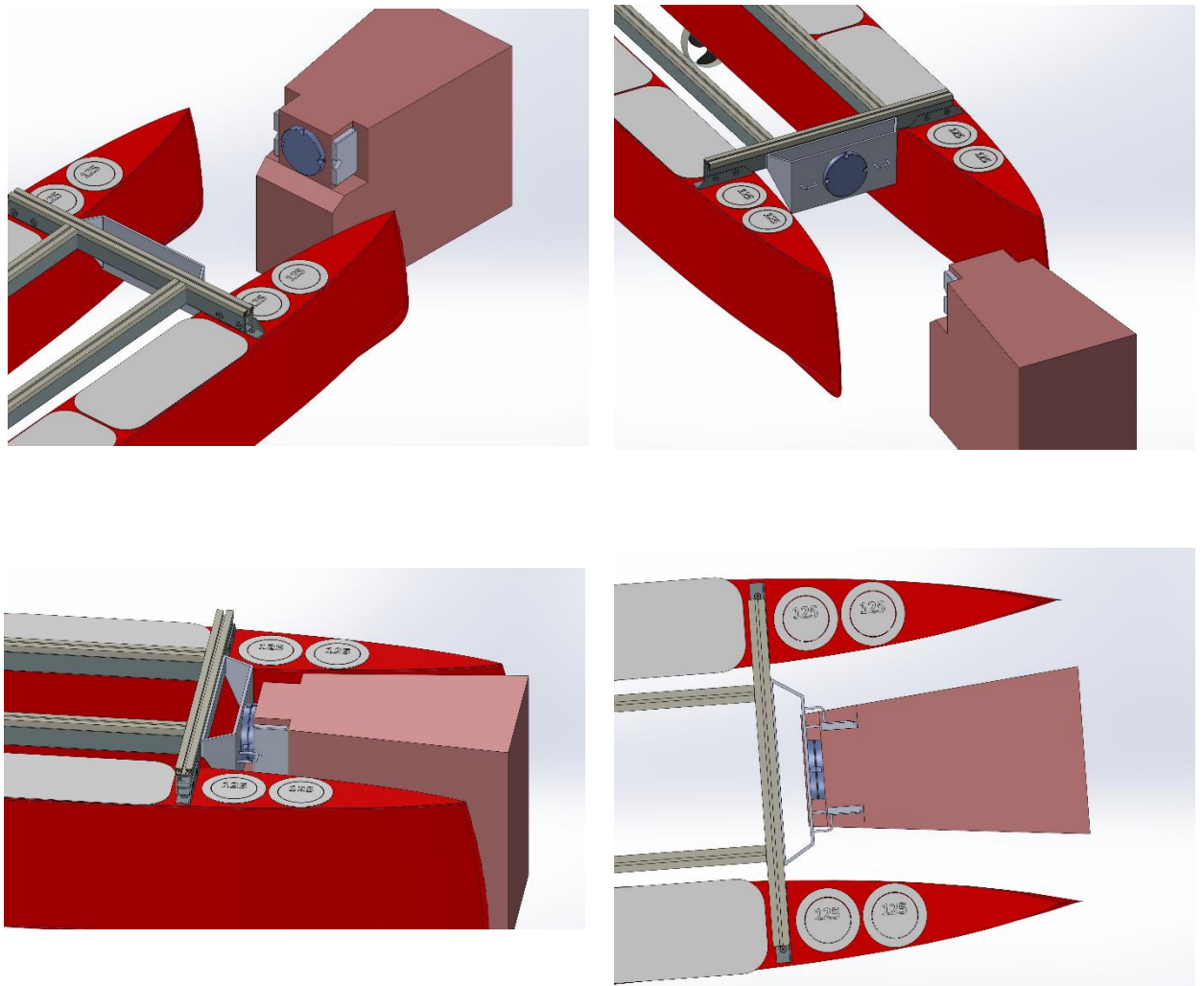
Hindamismatriks visualiseerib edukalt antud lahenduste peamist muret – nendele on Nymol väga keeruline läheneda, samuti on tugevad puudujäägid vastupidavuse ja skaleeritavuse hinnangutes. Iga lahendus saab mõnes punktis sedavõrd madala punktiskoori, et edasiliikumine pole mõttekas.

Kontseptsiooni täpsustamine

Esmaste lahenduste hindamine andis mitterahuldavad tulemused ja seetõttu tuli otsida lähenemist uue suuna alt.

Siinkohal otsustati ära kasutada Nymo kerekujust tulenevad võimalused. Katamaraan on kahekereline alus, mille kered on omavahel ühendatud alumiiniumprofiilide abil. Tegu on tugeva konstruktsiooniga ning kahe kere vahel olevat ruumi võiks kasutada ära aluse „kinnipüüdmiseks“ ning fikseerimiseks. Selline lahendus võiks vähendada ootusi Nymo lähenemise täpsusele ning teoorias võimaldaks luua lahenduse, mis ei eelda ujukaid aluse ja laadimislahenduse teenindamiseks. Läbi kolme versiooni on jõutud sobiva lõpptulemuseni.

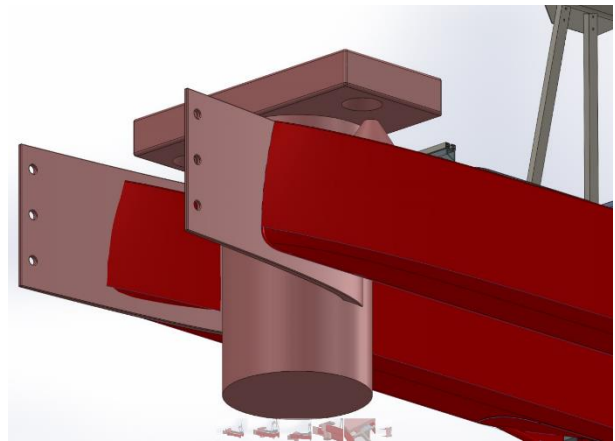
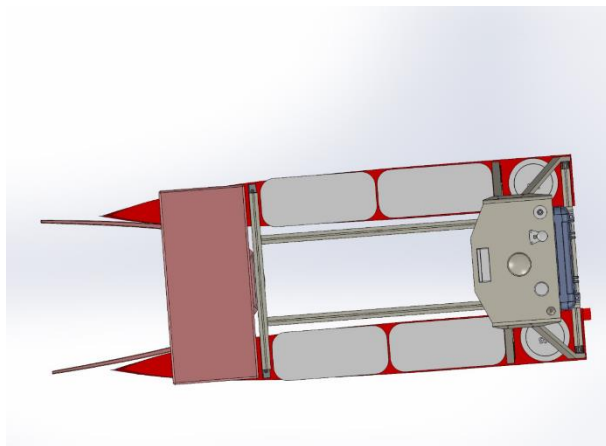
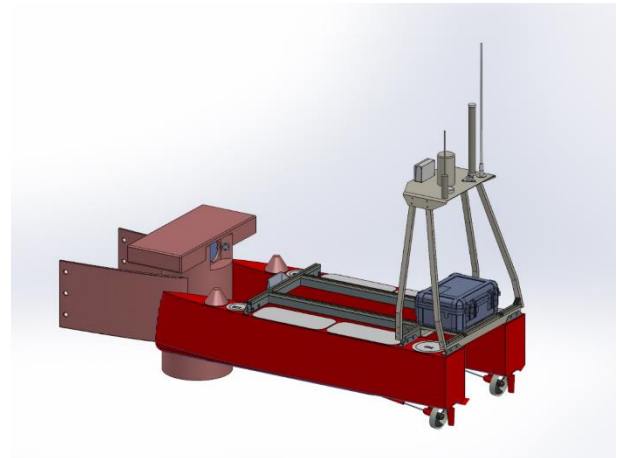
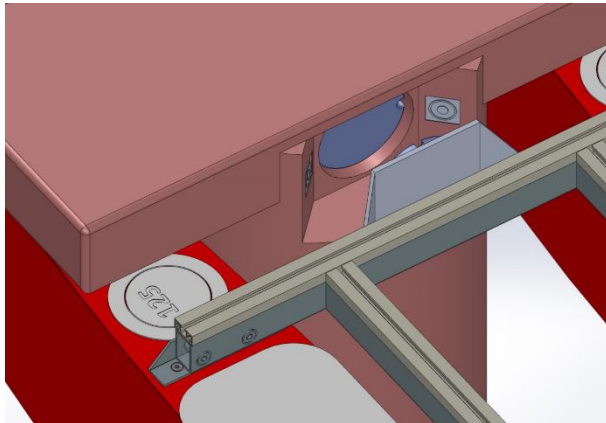
Versioon 1 sisuks on plastikust trapetsprisma, mille erinevad vaated on toodud Joonis 9. Trapetsprisma külge kinnitub vertikaalne laadimisplaat. Teine laadimisplaat on vertikaalselt kinnitatud Nymo eesmisele alumiiniumprofiilile. Kuubik on valmistatud plastikust ning kinnitub mere põhja. Tänu trapetsilisele kujule saab alus talle läheneda väikese nurga all. Alus-laadimisjaama fikseerimine toimub lukkude abil, mis töötavad auto ukسلuku põhimõttel – pontooni küljes on pesa, mis lukustab enda sisse aluse küljes olevad aasad. Vertikaalse kõrguse paikasättimiseks on eesküljel kaldpind, mille peale Nymo sõites õige kõrguse kätte saab ning laadimisplaadid kohakuti on.



Joonis 9. Laadimisjaama Versioon 1 vaated. *Joonestas: Taaniel Reimers*

Versioon 1 peamine murekoht on vajadus ühesuunaliseks lähenemiseks laadimisjaamale. See eeldab aluselt täpsust ja teiseks laadimisjaama suhteliselt kindlat fikseerimist. Ka on sellise kuubiku loomine eritöö ja ületab eelarve. Kuubiku omapärade hindamine viis arendusmeeskonna suhteliselt kiiresti järgmise versioonini.

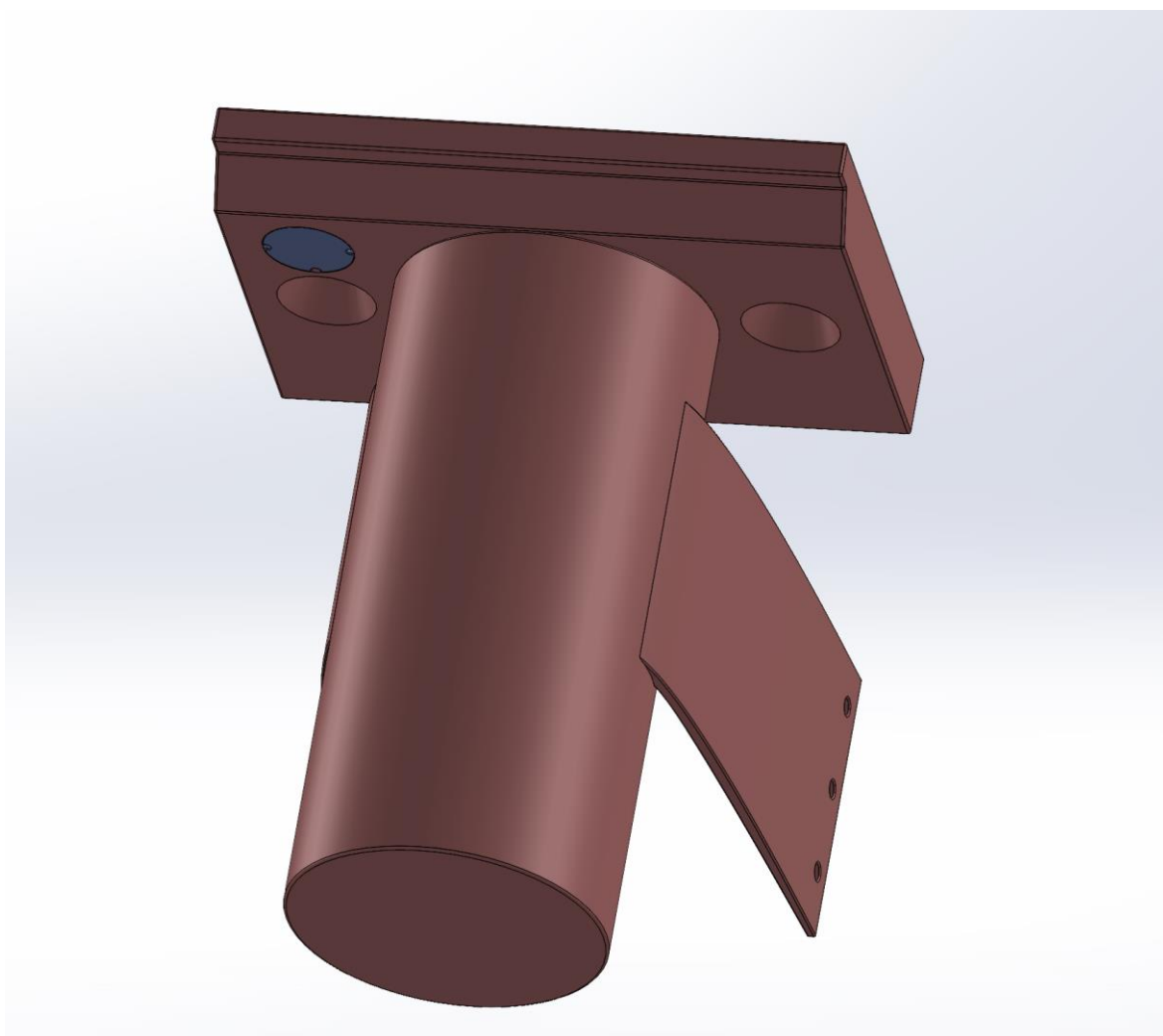
2022. aasta märtsi lõpuks oli valminud Versioon 2 (Joonis 10), mis omab juba tuntavaid ühisosi ka lõpplahendusega.



Joonis 10. Edasiarenduse Versioon 2. Joonised: Taaniel Reimers

Versioon 2 keskne idee on vertikaalne silinder, mis võimaldab Nymol laadimisjaama siseneda ka nurga all. Silindri külge kinnituvad ja suunaga taha olevad tiivad juhivad katamaraani kere silindri tsentrisse. Tiivad on ühenduslüli silindri ja kai vahel. Lahendamata on veel kaipoolne osa, kuid tiibadel on esmase nägemusena avad millega kinnitused luua. Versioonis 2 on kasutusel alus-laadimisjaama ühenduse fikseerimiseks elektromagnetlukud, sama tööprintsip jõudis ka lõpplahendusse. Täppispositsioneerimine on alates siinest versioonist lahendatud koonuste abil. Versiooni 2 analüüsi tulemusena jäi kõige suuremaks küsimuseks laadimisplatide paigutamine.

Versioon 3 (Joonis 11) suurim muudatus on laadimisplaatide paigutuse horisontaalseks muutmine. Seda on hõlbus Nymo puhul rakendada, kuna laadimisplaadi saab paigaldada olemasoleva luugi avale, mis asub koonuse kõrval. Laadimisplaatide paigaldamiseks aluse töökeskkonnas tegelikult väga head varianti pole. Igapidi on ta tööülesannet täites pidevalt vee ja päikese käes. Vertikaalse lahenduse puhul võib eeldada, et vesi peseb plaati, kuid horisontaalse lahenduse puhul satub sinna vett vähem. Laadimisplaatidel on tootja poolt antud IP65 kaitseklass [11]. Vertikaalse laadimisplaatide paigutuse puhul ei õnnestunud riskivaba tõusu-laskumise käik ning tänu paigalduse lihtsusele on see variant kasutusel ka lõppversioonis.



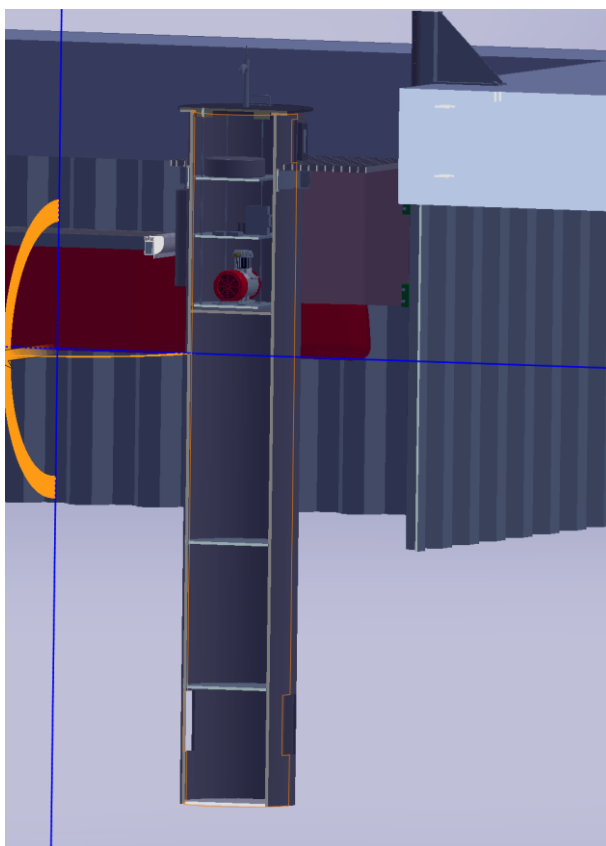
Joonis 11. Vaade Versioon 3 laadimisjaama silindrilahendusele. *Joonis: Taaniel Reimers*

Versioonis 3 on enamus peamisi tööpõhimõtteid läbi töötatud, lahti on täpne insenertehniline lahendus. Täielikult on endiselt lahendamata kai-laadimisjaam ühendus, st. kuidas tiivad ühenduvad kai külge.

Lõpplahendus

Lõpplahendus on edasiarendus Versioonist 3 ja võtab hästi kokku kogu senise arenduse, koondades parimad arendusprotsessis loodud lahendused. Lahendatud on kõik olulisemad sõlmed ning detailid. Lõpplahenduse vormistas, arvutas ja viimistles Minchip koos MEC Insenerilahendused OÜ-ga.

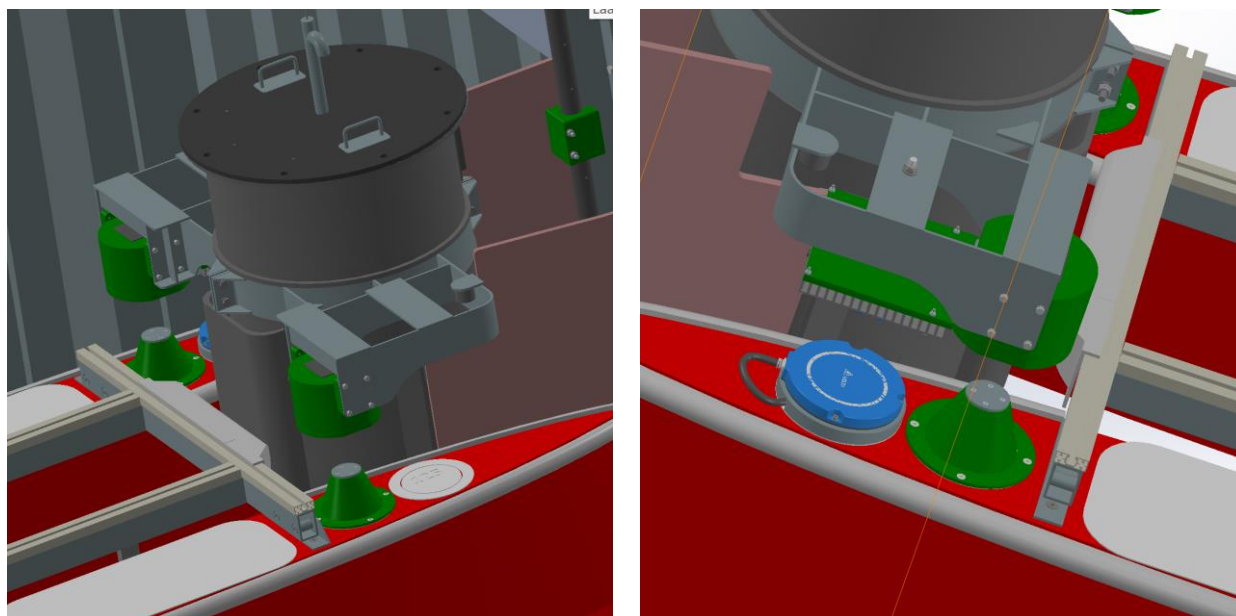
Lõpplahenduse keskne detail on 3m pikk D500 plastiksilinder, mis on jaotatud neljaks sektoriks (Joonis 12). Antud silinder tagab vajaliku stabiilsuse, on võimalik toota suhteliselt soodsalt (osaliselt kataloogitoode) ning tänu sektoritele on võimalik lahendada üles-alla liigutamine, ülevalt teenindamine ja vajalikul määral õhu pumpamisega tõsta-langetada laadimisjaama. Sektorid on tekitatud plastiku keevitamise teel, mis tagab õhutihenduse.



Joonis 12. Silindri sektsioon-vaade. Joonis: MEC Insenerilahendused OÜ

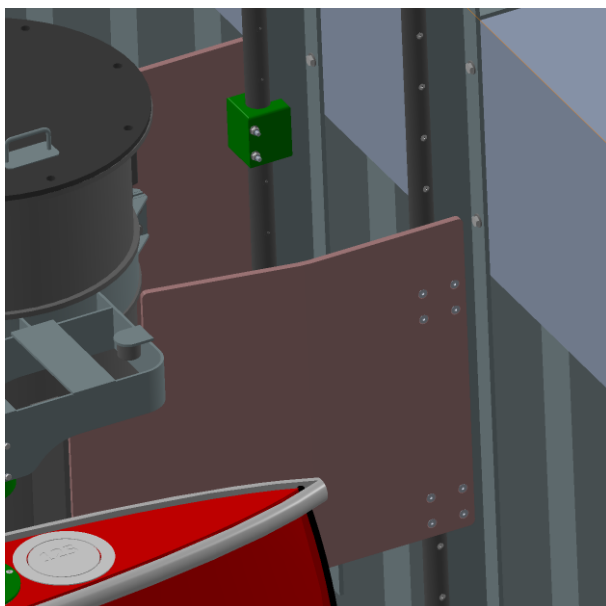
Silindri ülemises, esimeses sektoris on nõ. „postament“, mis on välja tõstetav laadimisjaama teenindamiseks. Postamendil paiknevad elektriseadmed, kompressor ja sidevahendid. Teine sektor on õhutihedalt suletud ning seal olev õhk koostöös neljandasse sektorisse asetatud metallraskuste ning kolmandasse sektorisse pumbatava/väljavõetava õhuga võimaldavad laadimisjaama tõstmist ning langetamist.

Silindri ümber kinnitub metallkonstruktsioon (Joonis 13), mille külge on kinnitatud positsioneerimiseks vajalikud koonused, laadimisplaat ning kõrgusandurid. Nymo küljes olevate koonuste vastuseks olevate koonuspesade põhjas on elektromagnetlukud aluse lõplikuks fikseerimiseks. Metallkonstruktsiooni küljes on kiigemehhanism, mis tagab tema külge kinnituva laadimisplaadi vajaliku liikuvuse. Metallkonstruktsioonis on valmidus kõrgusandurite paigaldamiseks, avad anduritele tehakse kooste käigus.



Joonis 13. Silindri ümber kinnituv metallkonstruktsioon ja koonused. *Joonised: MEC Insenerilahendused OÜ*

Hing-liigenditega on silindri küljes plastikust „tiivad“ (Joonis 14), mis omakorda kinnituvad kai küljes olevate metallrelsside külge.



Joonis 14. Ladimisjaam-kai ühenduse „tiivad“. *Joonis: MEC Insenerilahendused OÜ*

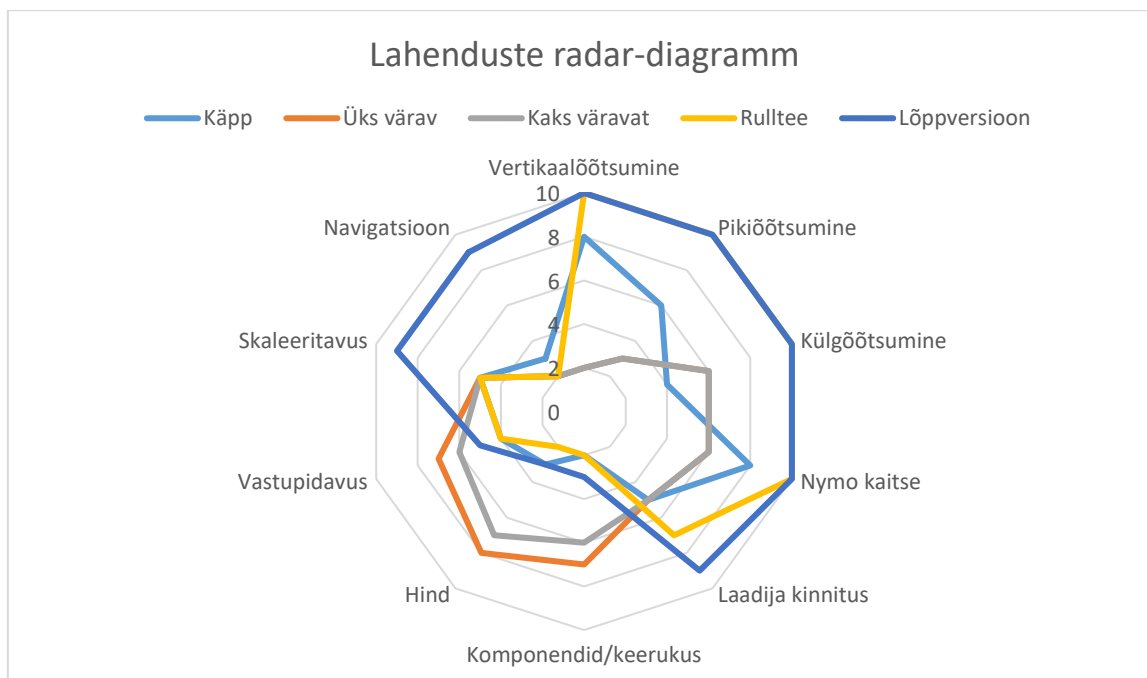
Lõplik hindamismatriks, mis sisaldab nii nelja algversiooni kui ka lõppversiooni on toodud välja Tabel 6.

Tabel 6. Hindamismatriks lõppversiooniga lahendusele

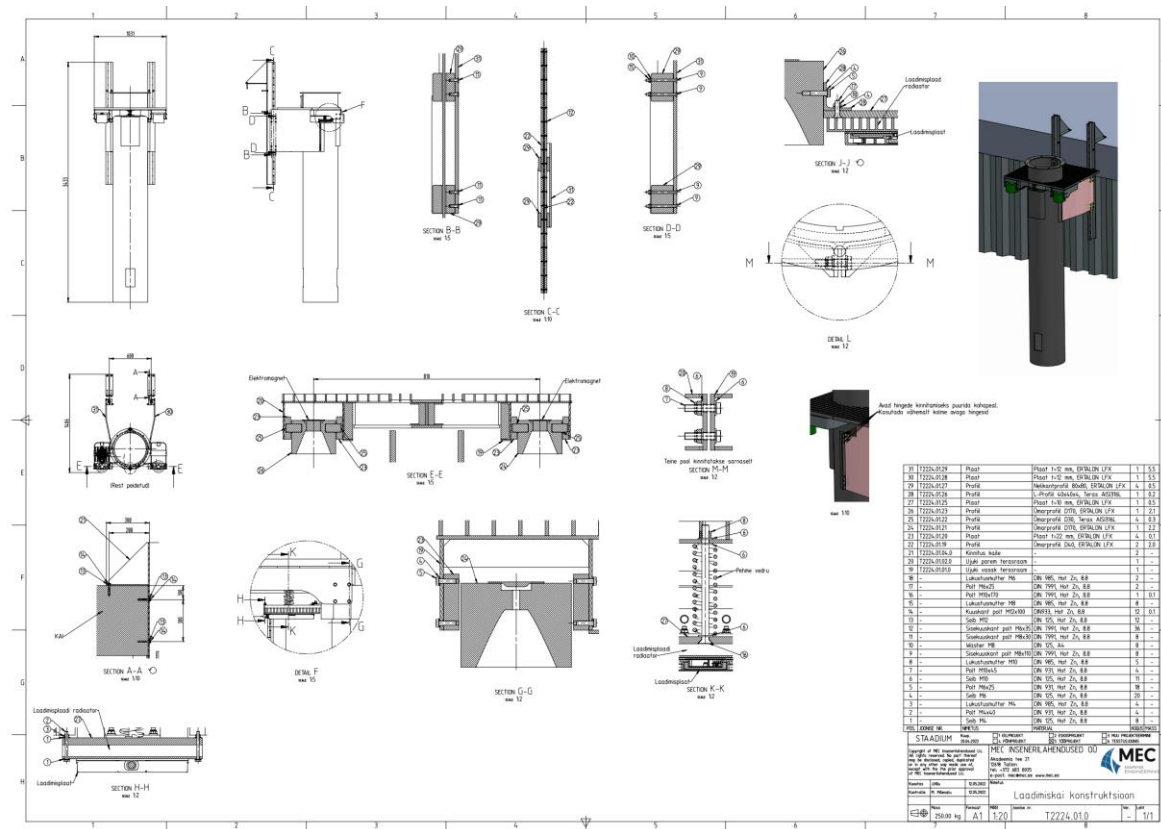
	„Käpp“	„Üks värav“	„Kaks väravat“	„Rulltee“	Lõppversioon
Vertikaalõõtsumine	8	2	2	10	10
Pikiõõtsumine	6	3	3	10	10
Külgõõtsumine	4	6	6	10	10
Nymo kaitse	8	6	6	10	10
Laadija kinnitus	5	5	5	7	9
Komponendid/keerukus	2	7	6	2	3
Hind	3	8	7	2	3
Vastupidavus	4	7	6	4	5
Skaleeritavus	5	5	5	5	9
Navigatsioon	3	2	2	2	9
KOKKU	49	51	48	62	78

Visuaalse ülevaate erinevate loodud lahenduste võimekusest annab Tabel 7 toodud radar-diagramm.

Tabel 7. Erinevaid lahendusi võrdlev radar-diagramm



Disainiprotsessi lõpptulemiks ja järgnevale tootmisprotsessi sisendiks on MEC Insenerlahendused OÜ poolsed tootmisdokumendid (Joonis 15), sisaldades detailide ning koostude jooniseid, sõlmede lahendusi ja BOM tabeleid.



Joonis 15. Lõpplahenduse üldkoostu joonis. Joonis: MEC Insenerilahendused OÜ

Detailide sisust ja tööpõhimõtetest annab lisaülevaate koosteprotsessi kirjeldus.

2.3.2 Laadimisjaama koosteprotsess

Laadimisjaama koosteprotsessi alguseks saab lugeda hetke kui jooniste komplekt oli lukku saanud ning esimesed allhanke tellimused sisse antud. Kuna kõik detailid tulid allhankijatelt, oli tarnijate nimekiri pikk ning detailid saabusid ositi. Kuivõrd koosteprotsessiga tuli kiirustada, sai vahetatud ka mõningad materjalid laosolevate vastu. Töö käigus sai loodud juurde mõned joonised kohtades, kus plaanitu ja reaalus ei ühildunud, kuid üldiselt sai koostejoonistelt kõik vajalikud kogused, parameetrid ja sõlmed kätte. Laadimisjaama koosteprotsess jaguneb neljaks suuremaks etapiks:

- Silindri detailide koosteprotsess (0)
- Metallkonstruktsiooni kooste (0)
- Laadimisjaam-kai ühenduse kooste (0)
- Nymo küljes olevate detailide kooste (0)

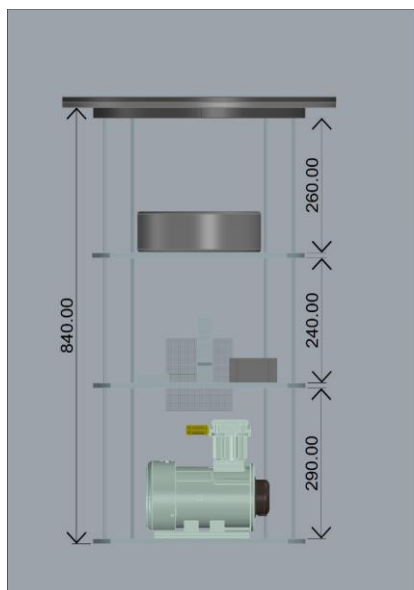
Kuna koostud omakorda on detailirohked, jagunevad need alaetappideks. Kõigi nelja etapi töömaht on veidi erinev, kuid samavõrd oluline, et tagada lõpplahenduse murevaba töö. Ettevalmistus ja teave etappide kohta on erinev, olles osaliselt täies mahus projekteeritud (näiteks metallkonstruktsiooni osa), teisalt paljuski jooksvalt lahendatav (näiteks Nymo poolsed detailid).

Silindri detailide koosteprotsess

Laadimisjaama keskne detail on 3m pikk D500 silinder, mis tagab stabiilsuse ning mille külge kinnituvad ülejäänud osad. Silinder on valmistatud 10mm paksust PVC-st ning sellega töötamine ei nõua spetsiaalseid tööriistu. Silindri juures tehtavad tööd jagunevad kolme suuremasse gruppi:

- Postamendi koostamine silindri ülemisse sektorisse
- Õhukanali loomine 1. ja 3. sektori vahele ning avade tegemine õhu/vee liikumise tagamiseks
- Erinevad avad ja augud komponentidele

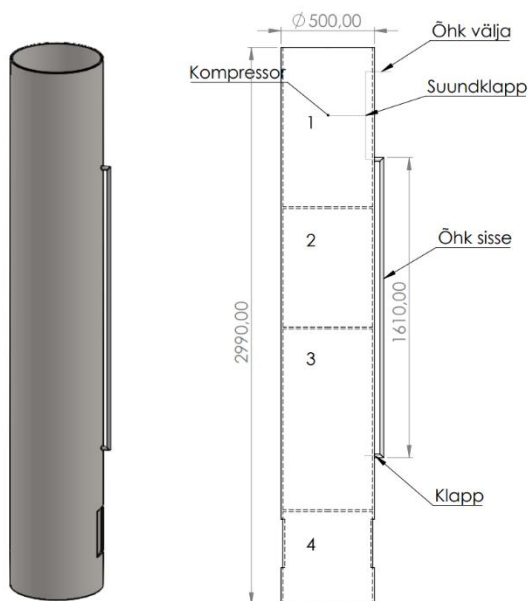
Silindri kooste **esimene** etapp oli silindri esimeses sektoris olev **postament** (Joonis 16), mis on laadimisjaama nõ. aju, siia koonduvad pneumomehhanismid, side ja elektroonika. Postament on sisse-väljatõstetav, et vajadusel täiendusi või hooldustöid teostada. Postamendi korruste paikapaneku aluseks on komponentide mõõdud, mille täpsed mõõdud selgusid tootmisprotsessi käigus.



Joonis 16. Vaade postamendi joonisele ja foto valmis postamendist. *Materjalid: Taaniel Reimers ja Mindchip*

Esmased mõõdud ja plaanid said siinkohal oluliselt ümber mängitud. Kõige suuremaks muutuseks oli otsus liigutada kompressor postamendi küljest silindri vaheseina peale. Sel viisil sai vähendada elektrikilbile mõjuvat vibratsiooni ja postamendi raskust. Seega muutus kolmekorruseline postament kahekorruseliseks ning kogu komplekti kaal läks kergemaks. Plaanide tegemisele järgnes tavapärane koosteprotsess.

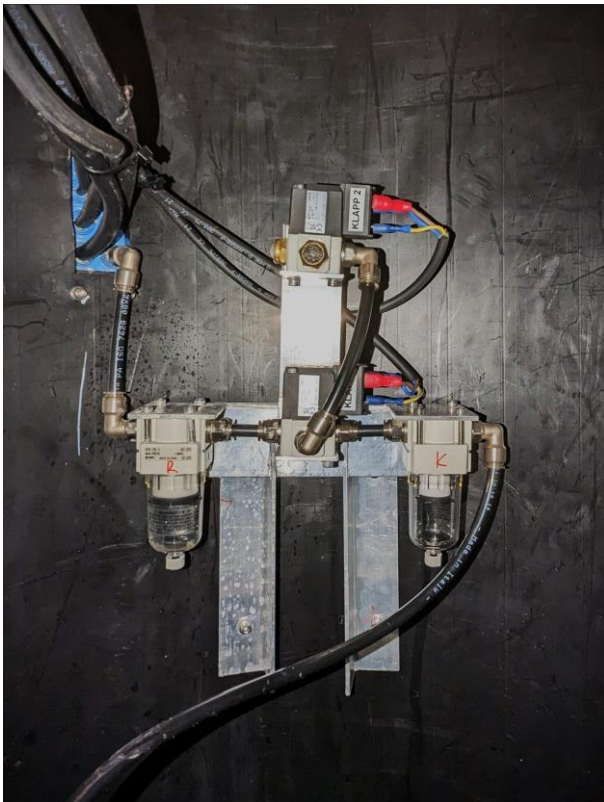
Silindri kooste **teise** etapi keskmes on **õhukanali loomine** silindri esimese ja kolmanda sektori vahel. Kuna toorik on õhukindlateks sektoriteks jaotatud plastiku keevitamise teel, tuli kogu õhu liigutamine 1. ja 3. sektori vahel hiljem välja mõelda ja luua. Projekteerimisfaasis oli see jäetud lahendamata. Esialgne plaan oli paigutada silindri sisse toru, millega õhku liigutada, kuid peagi jäi lauale variant vedada õhukanal silindri pealt. Toru sissepaigaldamine oleks nõudnud õhukindlasse teise sektorisse lisaaukude tegemist ning samuti oleks pidanud lisaauke tegema kolmanda ja neljanda sektori vahelisse vaheseina. Need augud oleks aga pidanud peale paigaldust õhukindlalt sulgema. Õhuliini väljast vedamine on vähemriskantne ja läbipääsetavuse tõttu paremini teostatav, samuti võimaldab hiljem ligipääsu surve all töötavale liinile. Otsus oli minna edasi 8mm PVC voolikutega, millele on võimalik saada kõik vajaminevad osad nagu kiirliitmikud, klapid, summutid ja voolik ise. Klapi- ja voolikute süsteemi loomine toimus põhimõtteskeemi abil (Joonis 17), mille alusel sai ettevõtte SMC abil detailide nimekirja kokku ning tellitud.



Joonis 17. Pneumosüsteemi põhimõtteline tööskeem. *Joonis: Taaniel Reimers*

Järgnes lihtsam koosteprotsess. Silinder on suur ja suhteliselt raske, seetõttu on esmane paigasättimine töödeks keeruline, aga just raskus tagab tööde teostamisel vajaliku stabiilsuse. Esmane paigasättimine sai tehtud lasernivelliiri abil, oluline oli voolikuliin ning kõik vajalikud avad ühele joonele saada. Avade tegemiseks tuli kasutada sobivate mõõtudega augusaage ning tiheda hambaga tikksaeterasid.

Omaette väljakutseks on klapisüsteemi (Joonis 18) komplekteerimine ja paigapanek silindrisse. Seda tuli teha arvestusega, et klapisüsteem oleks ligipääsetav ning ei segaks „postamendi“ sisse-väljatõstmist. Paigaldamiseks tuli kohapeal alumiinium L-profiilist teha spetsiaalsed toed.



Joonis 18. Valmis klapisüsteem silindri sees. *Foto: Taaniel Reimers*

Silindri koosteprotsessi viimane, **kolmas** etapp, hõlmab endas muude vajalike **avade** tegemist silindrile.

Eraldi planeerimine eeldas 1. sektori ava veekindlale läbiviigule „Roxtec“, mille kaudu pääsevad laadimisjaamast tulevad kaablid ja alt tulev õhuvoolik silindri sisse. Oluline oli kogu see paigutus korrektselt läbi planeerida, et oleks piisav kogus avasid, et pneumoklapid ei jääks segama elektri kaableid ning et postamendi väljatõstmine ei tekitaks tahtmatuid vigastusi/katkestusi.

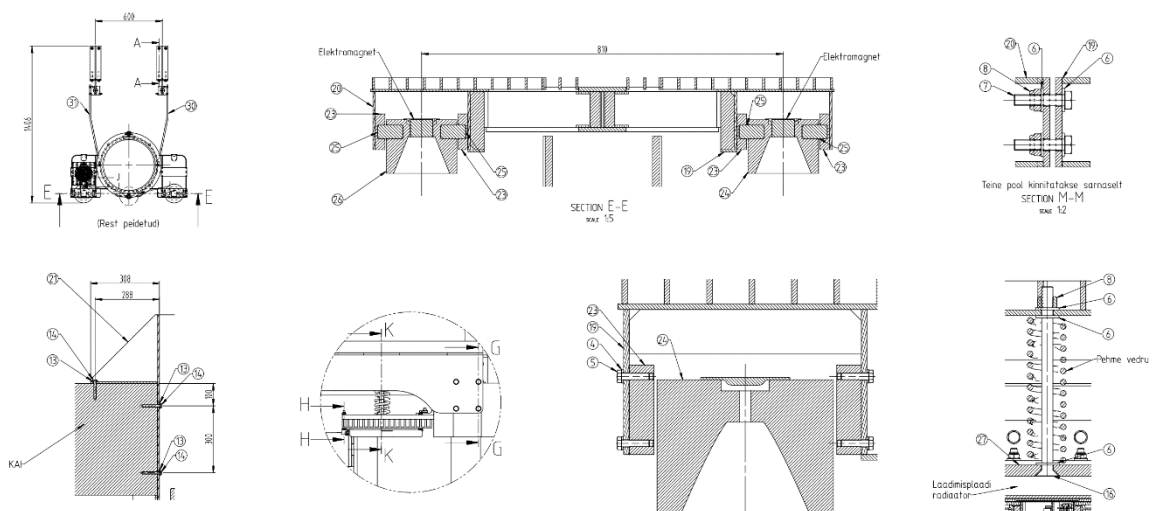
Lisaks Roxteci sisselõikele, sai leitud kohad ja tehtud veel järgmised avad:

- 4. sektorisse metallraskuste sisse-välja tõstmiseks
- Postamendi kaanele GPS antenni paigaldamiseks
- Postamendi kaanele õhutusava „goosneck'i" lisamiseks

GPS antenni ja „goosneck'i" läbiviik ja kinnitus postamendi kaanele vajab samuti jooksvat lahendamist. Iga sellise sammuga ja detaili juures tuleb pidada silmas, et läbiviiku saab teha ühe korra ja õigesse kohta, materjalid peavad taluma keskkonda ja omama piisavalt tugevust ülesannete täitmiseks. Siinkohal on kasutatud alumiiniumtorusid, mis vastavad tingimustele ja millest sai lasta painutada soovitud kuju „goosneck'le". Läbiviigu jaoks vajalikud liitmikud on kataloogikaup ja GPS antenni kinnitamise toru külge on lahendatud läbi 3D printitud detaili.

Metallkonstruktsiooni kooste

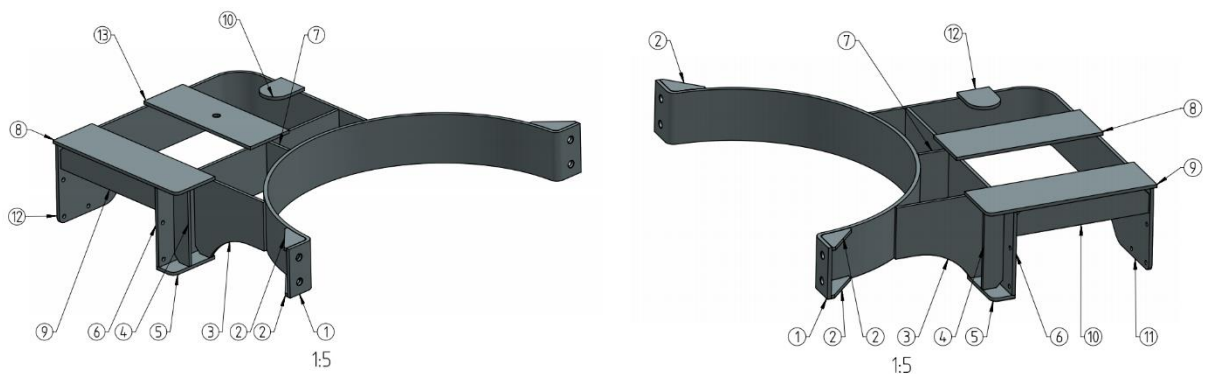
Visuaalselt keerulisem ja detailirohkem on silindri külge kinnituv laadimisjaama metallkonstruktsioon (Joonis 19). Siinkohal oli käesoleva töö autoril mõtlemistööd vähem, kuivõrd tootmisjoonised olid põhjalikud ja Autocadi programmis ka detailselt



Joonis 19. Metallkonstruktsiooni koosteplaan. Joonis: MEC Insenerilahendused OÜ

jälgitavad – kui tekkis küsimus, siis sealt sai vastuse. Omaette kogemuse pakkus pakutav lukksepa töö. Käeline töö on küll väga tuttav aga pigem teises skaalas, täpsusastmes ja teiste materjalidega. Kuna aga olukord on uus, siis topelt-tähelepanu, põhjalikum eeltöö ja detailidele keskendumine võimaldas suuremaid vigasid vältida.

Olemuselt on antud metallkonstruktsioon mitmefunktsionaalne koost, mille läbi toimub aluse ning laadimisjaama omavaheline füüsiline kontakt, täppispositsioneerimine ning fikseerimine. Konstruktsioon liidab enda külge silindri, lisaks on sinna kinnitatud laadimisplaat, täppispositsioneerimise koonused ning kõrgusandurid. Selles tulenevalt peab metallkonstruktsioon võtma vastu jõuerinevused Nymo ja silindri tõstejõult ja – intervallidest, samas pakkuma dünaamikat, et need samad jõuerinevused ei katkestaks laadimist, võimaldama õigel kõrgusel väga kindlat silindri külge fikseerimist ning kõige lõpuks olema piisavalt stabiilne andurite tööks. Metallkonstruktsiooni keskne osa on kaheosaline koost (Joonis 20), millede kokkuliitmine poltide abil võimaldab selle fikseerida tugevalt ümber silindri.



Joonis 20. Metallkonstruktsiooni süda, kaheosaline koost. Joonis: MEC
Insenerilahendused OÜ

Metallkonstruktsiooni mõlemad pooled olid allhankes juba keevitatud ja seega oli koosteprotsessi osaks laadimisplaadi ja koonuste kinnitamine (Joonis 21), laadimisplaadi vedrumehhanismi kinnitamine (Joonis 22) ja andurite liidestamine (Joonis 23) ning silindri külge proovikinnitamine. Kõik teise detailid kinnituvad omakorda selle kahepoolse koostu külge

Koosteprotsessi käigus midagi ümber tegema ei pidanud, käeline osa väljakutseid ei pakkunud ja kasutada sai tuttavaid instrumente ja käsitööriistu.



Joonis 21. Laadimisplaat ja koonus metallkonstruktsiooni küljes. Foto: Taaniel Reimers



Joonis 22. Laadimisplaadi kiige vedrumehhanism. Foto: Taaniel Reimers



Joonis 23. Kõrgusanduri läbiviik. Foto: Taaniel Reimers

Laadimisjaam-kai ühenduse kooste

Vees oleva laadimisjaama ja kaipoolse ühenduse eest vastutavad nö. „tiivad“ (Joonis 24), mis ühelt poolt kinnituvad silindri ning teisalt kai külge kinnituvate metallrelsside külge (Joonis 25).



Joonis 24. Silinder-kai ühenduse tagavad „Tiivad“. Foto: Egert Lass



Joonis 25. Kaipoolsed metallkonstruktsioonid. Foto: Mindchip

Kaipoolsel osal on siin ülesanne tagada muretu laadimisjaama tõus ja laskumine nii Nymo tulekul-minekul aga ka merevee tõusust-mõõnast tulenevatel puhkudel. See liikumine tagatakse tiibade külge kinnitatud ning plastikust valmistatud spetsiaalsete klotside abil (Joonis 26), mille keskel on silinderava.



Joonis 26. Tiibade küljes olevad juhtklotsid. Foto: Taaniel Reimers

Koosteprotsessi käigus selgus, et silinderpindade tolerants pole piisav vaba liikumise tagamiseks. Etteantud tolerants lubaks sujuvat liikumist väga sirgetel ja stabiilsetel pindadel ja oludes. Siin tuleb aga arvestada, et kaipoolsed osad on keevitatud relsid ning seetõttu pole ideaalselt sirged. Metallile kinnituv plastik silinderlatt on küll ise sirge ja stabiilne, aga metallile kinnituses võtab viimase kuju. Ka esines nihkeid metalli ja plastiku kinnituspoltide aukude asukohtadel. Kolmas põhjus tuleneb tiibade ja silindri kinnitustest, mis on lahendatud hing-liigendi abil. Seal olev lõtk vähendab mõjuvate jõudude mõju silinder-metallkonstruktsiooni ja kai-metallrelssid vahelistes puutepunktides. Samuti võimaldab see lõtk Nymol nurga all lähenedes paremat positsioneerumist ümber silindri. Seetõttu on see lõtk vajalik, aga samas esitab lisatingimusi tiivad-kai ühenduskohale. Esmalt otsustasime proovida lahendada muret lihtsamal viisil, määrides mõlemad pooled spetsiaalse määrdega, et vähendada kahe pinna hõõrdumist. See andis küll efekti, aga mitte piisavalt. Tänu väikesele tolerantsile esines siiski nõ. lukustavaid positsioone ja teiseks ei julge ennustada määrdele merevees piisavalt pikka eluiga, kuigi tegu oli just sinna keskkonda loodud tootega.

Pidades silmas olemasolevaid töövahendeid, ajalist graafikut ja projekti eelarvet otsustati, et parim viis edasi liikuda on olemasolevate detailide modifitseerimisega. Kõige mõistlikum on tiibade külge kinnituvate klotside silinderpindade suuremaks töötlemine 3mm võrra. Tehniliselt polnud see midagi keerulist, piisas sobivas suuruses augusaest ning tavalisest vertikaalsest puurpingist. Peale seda töötappi, oli tagatud antud detailide juures parim võimalik liikumine. Perspektiivis võiks siiski muuta klotside mõõte, et pikendada silinderpinda, et vähendada nõ. kiiluvaid positsioone.

Allhankest tulid tiivad CNC lõikusest vajalike väligabariitide ning aukudega, kuid olid painutamata. Eesmärk oli painutamine ise teostada. Tööprotsess tiibade painutamiseks sisaldas rohkelt kuumutamist käsifooniga mõlemalt poolt. Kuumtöötlus mõjub materjalile aga igas suunas ning tulemuseks olid kahtepidi kõverdud tiivad. Tekkinud lisapaine tekitas samuti lisahõõrdumist eelmises lõigus kirjeldatud silinderpindade vahel. Lahenduseks oli 6mm U-profilist metallprofiili tiibade küljes (Joonis 27), mis painutas tiivad vertikaalselt sirgeks.



Joonis 27. Tiivad sirgeks painutav U-profiil. Foto: Taaniel Reimers

Perspektiivis tuleb tiibade lahendus ümber mängida kas teise materjali või tootmistehnoloogia peale. Käsitööriistadega sellise paksusega plastiku painutamine pole õige, sest lisaks ristisuunas tekkivale painele jätab termotöötlus ka tugeva visuaalse märgi plastiku keemise läbi. See pind pole hiljem lihvitav. Demotootel pole esteetika eraldi eesmärgiks aga valmistootel pole sellised töötlusjäljed aktsepteeritavad.

Peale tiibade sirgendamist ja silindripindade töötlust olid tiivad valmis silindri külge kinnitamiseks, mis sai teostatud lihtsamate ja tuntumate töövõtete abil nagu puurimine ja poltide kinnitamine. Abiks olid paigaldusprotsessi alguses tehtud lasernivelliiri markeeringud.

Nymo detailide kooste

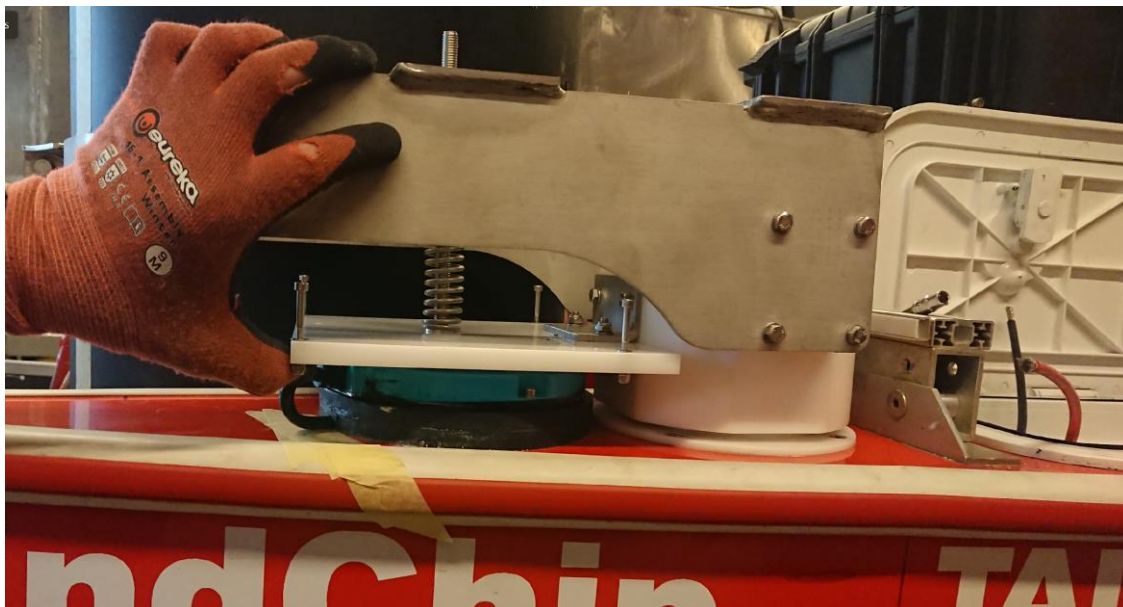
Paigaldusprotsessi viimane etapp puudutab Nymo küljes olevaid detaile. See on etapp, mis eeldas loomingulisemat lähenemist, kuna ees polnud ühtegi joonist. Teada olid vaid eesmärgid, tee nendeni tuli ise luua.

Nymo on jaotatud seksioonideks ja seetõttu tuli ka Nymot ennast lõikuda. Akud on alusel keskseksioonis ning seetõttu Roxteci läbiviiguga läbida kahe seksiooni vaheline sein. Ruumi on laeva keres alati vähe aga kasutasime siinkohal ümmargust 50mm diameetriga Roxteci ja vajalik ühendus laadimisplaadi ja aku vahel sai loodud. Ajamahukam etapp on koonuste ja laadimisplaadi kinnitamine Nymo külge. Selleks tuli töökojas 3m silinder püsti tõsta ja metallkonstruktsioon Nymost tingitud kõrgusele kinnitada (Joonis 28).



Joonis 28. Mõõdistustööd koonuste ja laadimisplaadi kinnitamiseks. Foto: Egert Lass

Selles etapis joonistus välja projekteerimisel tehtud viga, kus koonuste põhja polnud arvestatud ruumi elektromagnet plaatidele. Sellest tingituna vajas laevapoolne laadimisplaat lisaflantsi (Joonis 29), et saavutada piisav kontakt laadimisplaatide vahel.



Joonis 29. Laadimisplaadi kõrguse seadistamine, nähtav on must lisaflants. Foto: Taaniel Reimers

Tulevikus läheb see sõlm üleprojekteerimisse, kuna muutuvad elektromagnetid, samuti muutub laadimisplaadi kiige mehhanism.

Koosteprotsessi lõpetas elektri- ja tarkvara testimine, mille eest vastutas Mindchip. Peale neid töid oli olemas töökojas komplektne laadimisjaam ning täisvalmiduses Nymo esimesteks katsetusteks.

2.3.3 Paigaldus ja testimine

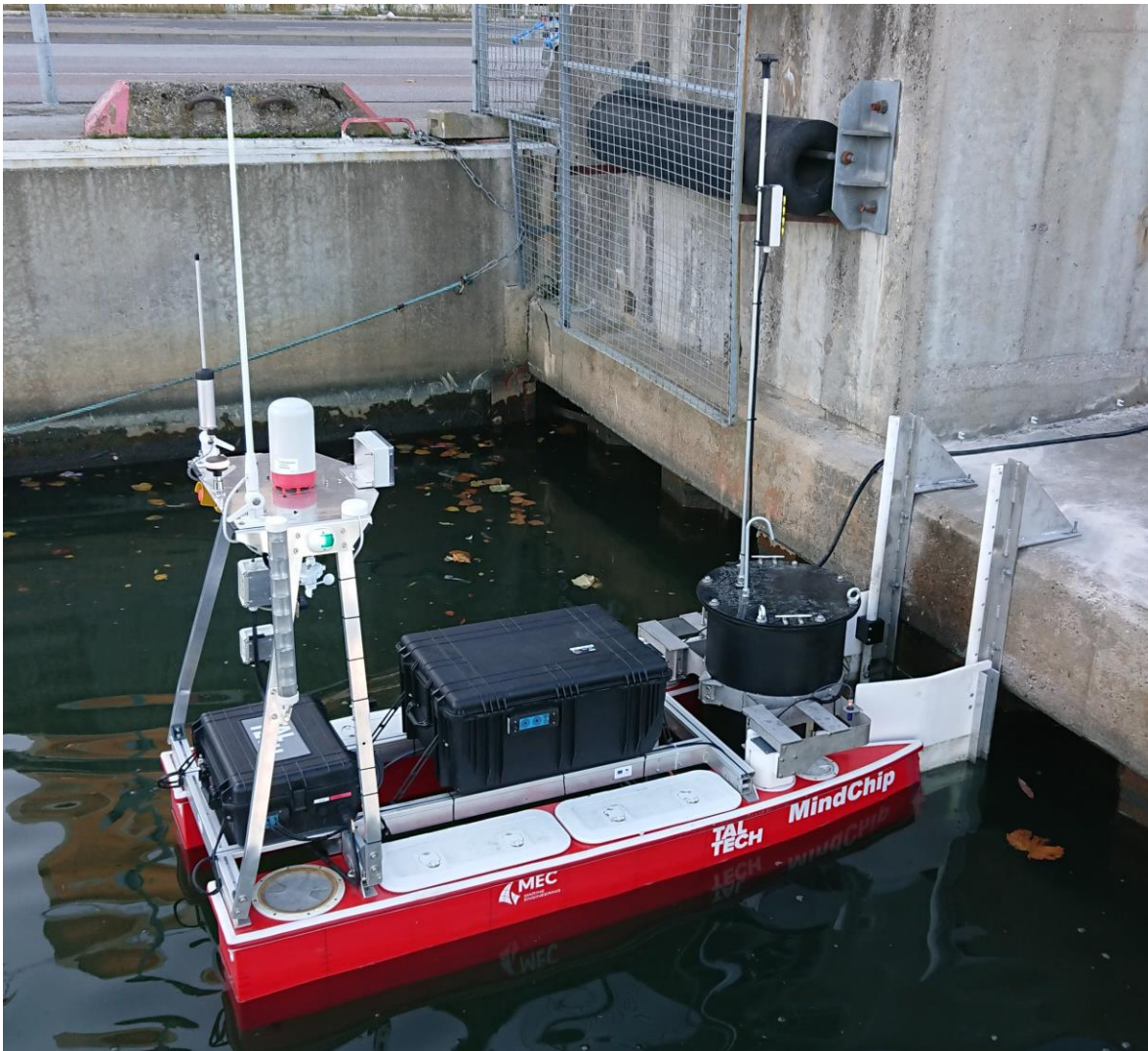
Kokkumonteeritud laadimisjaama esmane töökatsetus toimus 2022. aasta sügisel Tallinnas Admiraliteedibasseinis, mis peaks tulevikus saama ka antud koosluse esimeseks pikemaks töökohaks. Paigaldusprotsess toimus paigaldusjooniste alusel ning protsessi (Joonis 30) korraldasid ja planeerisid lõplikult MEC Insenerilahendused ja Mindchip, käesoleva töö koostaja osales protsessis kaudselt. Elektritööde eest vastutas kai omanik.



Joonis 30. Laadimisjaama paigaldustööd. Fotod: Mindchip

Paigaldusprotsess kulges sujuvalt. Sobiva silindri kõrguse saavutamiseks läksid kasutusele kõik lisaraskused neljandas sektsioonis. Tulevikus on vaja kaks kihti lisaraskusi juurde toota, et kõrgus veelgi paremini paika saada ning selle vahemikku muuta.

Paigaldusprotsessile järgnes koheselt ka esimene katsetus (Joonis 31), mille eest kandis hoolt Mindchip.



Joonis 31. Esimene testimine Admiraliteedibasseini. Foto: Mindchip

Testimispäeval olid igati sobilikud ilmaolud, mis võimaldasid saada aimu laadimisjaama töövõimekusest ja detailide koostöövõimest. Katsetamise hetkel oli Nymo kaugjuhtivas režiimis ning silindri tõusu-laskumise käskude andmine toimus manuaalselt. Automaatsete süsteemide tööleseedmine ja katsetamine toimub 2023a. aasta kevadel.

2.3.4 Laadimisjaama töövõimekuse analüüs ja vajalikud täiendused

Sujuvalt kulgenud paigaldusprotsess lõi aluse kõrgetele ootustele töövõimekuse osas. Samas oli kõikidele osalistele teada, et projekteerimisetapi vead ilmnevad just esimestel käidukatsetustel.

Selgus, et põhimõtteline kontseptsioon on kindlasti perspektiivikas ning kui eemaldada ilmnenud vead, suudab toode täita talle seatud eesmärgid. Ilmnenud vead jagunevad kahte rühma:

- Lihtsamad vead – probleemid, mis ei puutu kokku seadme tööprotsessidega
- Tõsisemad vead – probleemid, mis segavad seadme tööprotsesse

Ilmnenud lihtsamad puudused

Probleemid, mis kuuluvad siia gruppi, on lihtsalt eemaldatavad ning ei vaja projekteerimistööd või ümberseadistusi, -arvutusi. Näiteks silindri välise kere ja sisemise postamendi ülemine puutekoht vajab paremat kinnituslahendust. Silindri kere ülemine krae on kere külge keevitatud ja seetõttu „lainetab“ (Joonis 32). See aga välistab veetiheda ühendamisvõimaluse hetke poltide arvuga. Kuna silindri sisemuses asub kompressor ja elektrikilp, peaks see ühendus olema veetihe. Mure on kergesti lahendatav kinnituspoltide lisamisega ning lisaks võiks seal kasutada ka alumiiniumist lisarõngast, et tõmbejõude ühtlustada. Teine variant on tekitada peale kuppel, mis kataks ka selle ühenduse ära. Seene arendamine on mahukam protsess, kuivõrd seene külge peaks kinnituma ka 2m kõrge antenn. Samas oleks seen parem vee ärajuhtija, kuivõrd praegune pind on horisontaalne ja lame. Seen võimaldaks kaotada ka *goosenecki* ja lahendada õhuvõttu seene alt. Seega oleks vähem üks väljaturritav ja habras lüli.



Joonis 32. Lainetav ja mitteveetihe ühenduskoht silindri krae ja sisepostamendi vahel.
Foto: Taaniel Reimers

Teine edasist arendust vajav nüanss on sisepostamendi kaane küljest irdunud postamendi sisu (Joonis 33). Sealne kinnitus on algselt lahendatud keermelattide abil, mis on keermeliimiga 20mm paksu PVC sisse liimitud. Lahenduseks on läbivad kinnitused.



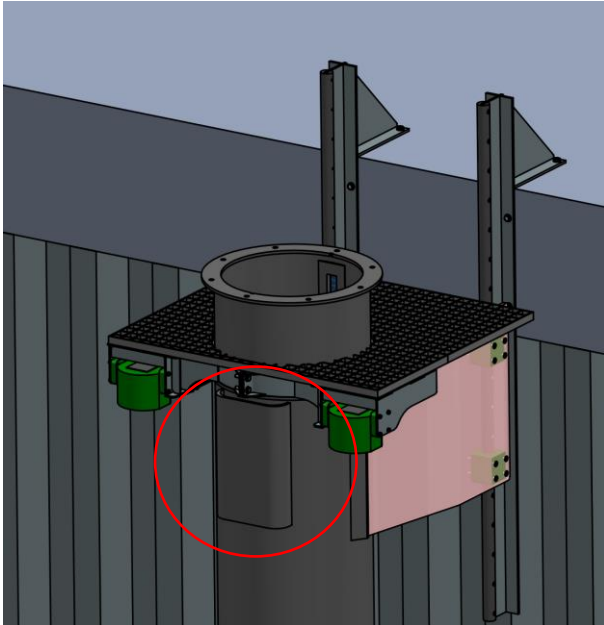
Joonis 33. Postamendi kaane ja sisu ühenduse katkemine. Foto: Taaniel Reimers

Ilmnenud suuremad puudused

Suurem töö ja vaev ootab ees probleemidega, mis kuuluvad teise gruppi ning ilma neid likvideerimata pole laadimisjaam võimeline oma ülesandeid täitma. Üldiselt on nende murede eemaldamine ka keerukam ning ajamahukam, kuid kontseptuaalseid muudatusi pole vaja teha.

Lõpupiirajad

Projekteerimisfaasis sai loobutud pehmenusest (Joonis 34) silindri laevapoolisel küljel, kuna see võib takistada vööri paikaliikumist kui läheneda laadimisjaamale alusega nurga alt. Lisaks vendri funktsioonile on padjal ka kohafunktsioon – Nymo eesmise alumiiniumraamiga sinna vastu sõites paigutub alus laadimisjaama suhtes õigele sügavusele.



Joonis 34. Valmislahendus, punasega markeeritud silindri külge kinnituv padi *Joonis: MEC Insenerilahendused OÜ*

Padja kaotamine on asendatav piirajate paigaldamisega laadimisjaama plastikust tiibade külge. Projekteerimisfaasi alguses sai tegeldud ideega, et tiibade külge kinnitada lõpuandurid. See jäi tegemata, sest päris head lahendust ei õnnestunud leida. Lõpuandureid on seal iseenesest vaja, sest nad annavad teada silindrile, et laev on paigas ning võib alustada laadimisjaama langetamist. Kuivõrd need lülitid hulbivad pidevalt vees ning saavad vaheldumisi päikest, vihma ning soolast vett, tuleb seal hoolikalt kaaluda sobivaid võimalusi. Lõpupiirajate ja -andurite paigaldamine tuleks võtta plaani komplektina.

Elektromagnetid

Endale seatud ülesannetega ei saanud hakkama koonuste kokkupuutepunktis asuvad elektromagnetid (Joonis 35).



Joonis 35. Koonuse põhjas olev elektromagnet. Foto: Taaniel Reimers

Kuna silindri ja aluse tõstejõud ning kiirused on erinevad, siis peavad elektromagnetid kinni pidama päris olulise suurusega jõude. Hetkel kasutusel olevad magnetid omavad tootja sõnul tõstejõudu kuni 60kg. See on ideaaltingimuste juures saavutatav omadus, mis eeldab stabiilset keskkonda ja head kontakti plaatide vahel. Meie oludes need tingimused pole täidetavad. Lahenduseks on hetkel planeeritud uute, võimsamate magnetite paigaldus. Antud murekoha lätted asuvad tegelikult osaliselt projekti piirangutes. Koonuste paigutuse ja suuruse määravad Nymo kerel olevad luugid. Projekteerides tuli leida magnetid, mis sobituvad silindritega, millede suurus aga piirab saadaolevaid valikuid tunduvalt. Perspektiivis, ilma Nymost tulenevate piiranguteta saaks kasutada tunduvalt võimsamaid magneteid. See lubaks ka probleemile läheneda loogilisemat teed pidid – projekteerida silindrid vastavalt magnetitele.

Laadimisplaatide kontakt

Nymo ja laadimisjaama omavahelise fikseerimise ebaõnnestumine põhjustab laadimisvõimsuse madala efektiivsuse. Maksimaalse laadimisvõimsuse saavutamiseks on vaja luua täielik ja stabiilne kontakt kahe laadimisplaadi vahel.

Massist ja kujust tulenevalt on laadimisjaam stabiilsem kui Nymo ning seetõttu peaks laadimisjaama poolne plaat olema võimalikult vaba käiguga, et kompenseerida liikumiste erinevused. Tagamaks piisav liikuvus on laadimisjaama poolne plaat seotud metallkonstruktsiooni külge kiige-laadse mehhanismi abil. Katsetustel selgus, et antud lahendus ei võimalda piisavalt vaba liikumist ning plaatide vaheline kontakt on ebastabiilne (Joonis 36).



Joonis 36. Laadimisplaatide akontaktsus. Foto: Taaniel Reimers

Lahendus on silindripoolse laadimisplaadi käigu veelgi suurem vabastamine. Mindchip on praeguseks pakkunud selle probleemi kõrvaldamiseks idee, et vabastada laadimisplaat kiige mehhanismi küljest ning täiustada konstruktsiooni aasade abil, mida läbivad keermelatid ja seeläbi saab laadimisplaat päris vaba käigu. See lahendus vajab testimist, kuivõrd ei peaks terve sõlme ümber disainima ning lahenduse saaks teostada olemasolevate detailidega.

Laskumiskiirus

Esimese katsetuse kõige valusam teadmine on tõdemus, et silindri laskumiskiirus on liiga aeglane. Laskumiseks vajaliku õhu väljapumpamine toimub läbi 8mm PVC vooliku ja klapimehhanismi. Kindlasti on piiravaks teguriks nii liiga peenike voolik kui ka klapimehhanismis olev filter, mis takistab õhu vaba liikumist.

Tõusu- ja laskumiskiirus on võrdsed, kuid tänu pikemale töökäigule on laskumiskiiruse tõstmine kriitiline. Nymo vabastamiseks laadimisjaama küljest on vajalik vaid tõus käigutee võrra, mis on võrdne koonuste kõrgusega. Peale selle kõrguse saavutamist saab alus asuda ülesannet täitma, kuid laadimisjaam tõuseb ülemisse asendisse, seda juhuks, et oleks võimalik tagada Nymo sildumine ka kõrgemate lainetega. See tingib ka pika käigutee laskumisel. Pikk käigutee ja aeglane laskumiskiirus moodustavadki kokku probleemi, et alus ei jõua end sedavõrd pikalt paigal hoida. Praeguse lahenduse juures võtab laskumine aega ca 70 sekundit, täiendust eesmärk on jõude suurusjärku 5-10 sekundit.

Katsetuste ajal pandi silindri kõige alumisse sektorisse kõik raskusplaadid ning plaanis on mõned plaadid järgmisteks katsetusteks juurde lisada.

Suhtlemine, loogikaskeem

Esmased katsetused on teostatud manuaalse juhtimisega katsetuse igas etapis. Nymo juhiti kaugjuhtimise teel laadimisjaama juurde ning peale aluse paikasaamist öeldi laadimisjaamale, et nüüd võib laskuma hakata. Samal viisil toimus ka laadimisjaama tõstmine ja Nymo ärasõit. Terve see protsess tuleks järgmises arendusfaasis automatiseerida. Selle tegemiseks on nii Nymo, kui laadimisjaam juba varustatud vajaliku riistvaraga. Vaja on veel luua vajalikud protokollid, mis omakorda põhinevad loogikaskeemil. Esmane loogikaskeem on loodud, kuid selle töövõimekus testimata. Teada on, et kommunikatsioon laeva ning laadimisjaama vahel töötab aga täpsem töövõimekus on hindamata.

Kokkuvõtvalt on vajalikud täiendused toodud välja Tabel 8.

Tabel 8. Vajalikud täiendused laadimisjaamale

Jrk	Vea tüüp	Lahendus
1	Ebatihe silindri krae ja postamendi ühendus	Kinnituspoltide arvu suurendamine või alumiiniumist lisarõngas krae alla jõudude ühtlustamiseks
2	Sisepostamendi kaane küljest irdunud postamendi sisu	Kaant läbivad kinnitused
3	Nymo sõidab liiga sügavale laadimisjaamale sisse	Lõpupiirajate lisamine tiibade külge. See on vajalik positsioneerimise info ka laadimisjaama automaatse laskumise alustamiseks
4	Elektromagnetid ei jõua Nymot laadimisjaama küljes hoida	Võimsamate elektromagnetite installatsioon
5	Laadimisplaatide halb kontakt ei võimalda piisava võimsusega laadimist	Laadimisplaadi kinnituste ümberdisainimine
6	Laadimisjaama liiga pikk laskumise aeg	Pneumosüsteemi lahendamine suurema diameetriga voolikute abil. Lisaraskuste valmistamine alumisse sektorisse

3 KOKKUVÕTE

Nymo autonoomsuse uuele tasemele tõstmiseks vajaliku laadimisjaama arendusprotsessi algpunkti ja lõpptulemi võrdlemisel saab teha kolm olulisemat järeldust:

- Võrreldes algideega on tulem keerukam ja detailirohkem seadeldis
- Valminud toote kontseptsiooni universaalsus võimaldab seda skaleerida ja rakendada ka Mindchipi teistele alustele
- Lõpptulemus vajab mõningast täiendamist, et toote saaks valminuks lugeda

Valminud seade on lähteversioonist keerukam ja detailirohkem, mis tõstab toote hinda. Toote pikaajalisema testimise tulemina saab tulevikus infot sõlmede vastupidavusele ja töökindlusele. Kontseptuaalses plaanis on disain universaalne ja kõrge arengupotentsiaaliga olemaks sisend Mindchipi tulevastele laadimislahendustele. Valminud laadimisjaama universaalsus avab perspektiive, mis algses ülesandepüstituses määratud polnud.

Konkreetse projekti lõikes ei jõutud täielikult töötava lahenduseni, kuid läbi paranduste on alust loota, et Nymo alustab lähemas tulevikus tööd Tallinnas Admiraliteedibasseinis täisautonoomsena.

Antud tootearendus on unikaalne ning tõenäoliselt saab referentsiks tulevastele teistele arendustele. Autonoomsete aluste sektori aktiivsus annab aluse ootuseks erinevatele laadimislahendustele tulevikus.

Summary

To raise Nymo's autonomy to a new level, three important conclusions can be drawn when comparing the starting point and the end result of the development process for the necessary charging station:

- Compared to the initial concept, the result is a more complex and detailed device.
- The universality of the developed product concept allows for scalability and application to other platforms of Mindchip as well.
- The end result requires some additional improvements before the product can be considered completed.

The completed device is more complex and detailed than the starting version, which increases the product's price. Long-term testing of the product will provide information on the durability and reliability of the nodes in the future. In conceptual terms, the design is universal and has high development potential, serving as input for Mindchip's future charging solutions. The universality of the completed charging station opens up perspectives that were not defined in the initial task statement.

In this specific project, a fully functional solution was not achieved, but through improvements, there is hope that Nymo will begin operating in Tallinn's Admiraliteedi Basin as a fully autonomous system in the near future.

This product development is unique and is likely to serve as a reference for future developments. The activity in the autonomous vessel sector provides a basis for expectations of various charging solutions in the future.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Xoccean, „XO-450 Uncrewed Surface Vessel,” 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://xoccean.com/technology/#technical-specification>.
- [2] Y. I. ASA, „Yara Birkeland,” 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>.
- [3] Ø. J. Rødseth, „Constrained Autonomy for a Better Human–Automation Interface,” 2021.
- [4] R. Vinni, „Baltic Workboats ehitab mereväele tulevikulaevad,” *Saarte Hääl*, 21. Aprill 2021.
- [5] S. Insider, „Unmanned Surface Vehicle Market,” 2022.
- [6] „E-mobility,” IPT Technology, 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ipt-technology.com/ships-ferries/>.
- [7] Cavotec SA, „Electric Vessels,” Cavotec SA, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring/electric-vessels>.
- [8] Wärtsilä, „Electric shipping and hybrid ships,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shore-power/charging>.
- [9] Maersk, „Stillstrom,” 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://stillstrom.com/>.
- [10] N. F. f. A. Ships, „Definition of autonomy levels for merchant ships,” 2018.
- [11] D. Electronics, „Moov Air 1kW Wireless Charging System,” 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://filecenter.deltaww.com/Products/download/19/1909/Products-202303061823241786.pdf>.
- [12] International Electrotechnical Commission, „IP ratings,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.iec.ch/ip-ratings>.