



# Ohjainlaite Sähköperämoottorille

Fabian Penttilä

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio ja lentokonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio ja lentokonetekniikka

PENTTILÄ, FABIAN:  
Ohjainlaite sähköperämoottorille

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Kesäkuu 2024

---

Sähköperämoottoreiden suosio jatkaa kasvamistaan, mutta suurin osa niistä on soutuveneeseen tarkoitettuja moottoreita, joita hallitaan suoraohjauksella. Moottoria siis joudutaan ohjaamaan sen vierestä käsin, usein epäergonomisesta asennosta. Lisäksi valtaosassa moottoreita on huonolla hyötysuhteella toteutettu tehonsäätö. Kauko-ohjattaviakin moottoreita on saatavilla, mutta ne ovat hieman isompien veneiden keulaan asennettavia ja niiden hinnat ovat moninkertaisia suoraohjattaviin nähden.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa edullinen, suoraohjattaviin sähköperämoottoreihin jälkiasennettava ohjainlaite, jolla mahdollistetaan kauko-ohjaus, lisätään autopilottitoimintoja ja parannetaan hyötysuhdetta. Tarkoituksena oli luoda prototyyppi pohjaksi laitteelle, jonka voisi myöhemmin jalostaa myyntituotteeksi.

Ohjainlaitteessa on kaukosäädin, jolla annetaan komentoja mikrokontrollerille, joka ohjaa releitä. Releiden avulla hallitaan lineaarimoottoria, joka kääntää sähköperämoottorin vartta eli ohjaa venettä. Lisäksi ohjauslaitteeseen kuuluu PWM-säädin, jonka ansiosta sähköperämoottori on energiataloudellisempi osatehoalueella.

Työn vaiheita olivat suunnittelu, toteutus, testaus ja pohdinta. Suunnittelussa hahmoteltiin kokonaisuuden vaatimat komponentit ja tehtiin vaatimusmäärittely. Toteutus koostui hankinnasta, kokoonpanosta ja ohjelmoinnista. Tämän jälkeen laitetta testattiin ja hienosäädettiin. Lopuksi tarkasteltiin, täyttikö laite sille asetetut tavoitteet ja pohdittiin parannusmahdollisuuksia.

Työn perusteella todetaan, että on mahdollista rakentaa olemassa olevia malleja merkittävästi edullisempi ohjainlaite, jolla voidaan helpottaa, automatisoida ja optimoida sähköperämoottorin toimintaa.

---

Asiasanat: autopilotti, mikrokontrolleri, gps, pwm, reletekniikka

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical engineering  
Machine Automation and Aircraft Engineering

PENTTILÄ, FABIAN:  
Control device for an electric outboard motor

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 2 pages  
June 2024

---

The purpose of this thesis was to design and build an affordable, retrofit control device for directly controlled electric outboard motors. This device aims to enable remote control, add autopilot functions, and improve efficiency. The aim was to create a prototype that could later be developed into a marketable product.

The control device features a remote control that sends commands to a microcontroller, which operates relays. These relays manage a linear actuator that steers the outboard motor, thereby directing the boat. Additionally, the control device includes a PWM regulator, which makes the electric motor more energy-efficient when operating at partial power.

The project phases included design, implementation, testing, and evaluation. During the design phase, the necessary components were outlined, and a requirements specification was created. The implementation phase involved procurement, assembly, and programming. Following this, the device was tested and fine-tuned. Finally, an assessment was made to determine if the device met its objectives, along with considerations for improvements.

The findings of this study suggest that it is feasible to construct a significantly more affordable controller compared to existing models, which can ease, automate, and optimise functionality of electric outboard motors.

---

Key words: autopilot, microcontroller, gps, pwm, relay technology

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TEORIA .....	7
	2.1 Sähköperämoottori .....	7
	2.2 Sähkökeulamoottori .....	7
	2.3 PWM-tekniikka .....	8
	2.4 GPS .....	8
	2.5 Koneenrakennuksen säädökset .....	9
3	SUUNNITTELU.....	10
	3.1 Yleiset vaatimukset.....	10
	3.2 Toimilaite.....	10
	3.3 Mikrokontrollerikokonaisuus .....	14
	3.3.1 GPS-moduuli.....	14
	3.3.2 Relemoduuli .....	14
	3.3.3 Mikrokontrolleri.....	15
	3.4 PWM-säädin .....	15
	3.5 Kauko-ohjain.....	16
4	TOTEUTUS .....	17
	4.1 Hankinta.....	17
	4.1.1 Karamoottori.....	17
	4.1.2 Mikrokontrolleri.....	18
	4.1.3 GPS-moduuli.....	19
	4.1.4 Relemoduuli .....	20
	4.1.5 PWM-säädin.....	20
	4.1.6 Kauko-ohjain .....	21
	4.2 Ohjelmointi.....	22
	4.3 Kokoonpano.....	22
	4.3.1 Toimilaite.....	22
	4.3.2 Akkukotelo.....	23
	4.3.3 Kauko-ohjain .....	25
	4.3.4 Kokonaisuus.....	27
5	LOPPUTULOS.....	28
	5.1 Testaus .....	28
	5.1.1 Manuaalinen ohjaus.....	29
	5.1.2 Autopilotti .....	29
	5.1.3 PWM-säätö .....	29
	5.2 Kustannukset.....	30

6	POHDINTA .....	32
6.1	Tavoitteiden täytyminen.....	32
6.2	Kehitysideat .....	33
	LÄHTEET .....	34
	LIITTEET .....	35
	Liite 1. Voimamittauksen kuvaaja ajan suhteen .....	35
	Liite 2. Komponenttien kustannuslaskelma .....	36

## 1 JOHDANTO

Sähköperämoottoreiden suosio Suomessa kasvaa ja niitä myydään tuhansia vuosittain (Moottori 2021). Suurin osa niistä on soutuveneeseen perään kiinnitettäviä ja suoraohjattavia, eli työntövoiman suuntaa muutetaan kääntämällä käsin moottorin vartta, joka on ohjaajan takana. Tämä pakottaa ohjaajan hankalaan asentoon. Lisäksi useimpien sähköperämoottoreiden tehonsäätö on toteutettu vastuksilla, jolloin ne ovat osatehoalueella epätaloudellisia. Nämä yksinkertaiset moottorit ovat paljon yleisempiä siksi, että monipuolisemmat kauko-ohjauksen ja autopilottitoimintoja sisältävät mallit ovat monin kerroin kalliimpia ja siksi monen kuluttajan ulottumattomissa.

Opinnäytetyön tavoitteena onkin suunnitella ja rakentaa sähköperämoottoreihin jälkiasennettava, edullinen ja kauko-ohjattava ohjainlaite, jossa on myös autopilottitoimintoja ja taloudellinen tehonsäätö. Tällaisesta ratkaisusta voisivat olla kiinnostuneita nekin kuluttajat, joilla jo on hankittuna yksinkertainen manuaalinen sähköperämoottori. Jos tavoitteeseen päästään, voisi laitteen myöhemmin jalostaa myyntituotteeksi.

## 2 TEORIA

### 2.1 Sähköperämoottori

Sähköisiä propulsiolaitteita, jotka on tarkoitettu asennettavaksi veneen perään, kutsutaan sähköperämoottoreiksi. Valtaosa Suomessa myytävistä sähköperämoottoreista on pieniä, 12 voltin jännitteellä toimivia, soutuveneeseen tarkoitettuja moottoreita. Kaikki nämä soutuveneeseen tarkoitettut sähköperämoottorit ovat yksinkertaisia, suoraohjattavia malleja, joissa ei ole mitään automatisoituja toimintoja. Tämä huomattiin käymällä läpi useiden sähköperämoottoreita myyvien tavaratalojen valikoima. Näitä tavarataloja olivat muun muassa Motonet, Puuilo, Biltema, Bauhaus ja Hintakaari.

Huomattiin myös, että soutuveneeseen tarkoitetuista sähköperämoottoreista vain muutaman kalleimman mallin kohdalla mainittiin portaaton tehonsäätö ja pienempi virrankulutus, mikä antaa ymmärtää, että niiden tehonsäätö on toteutettu PWM-tekniikalla (ks. luku 2.3). Suurimmassa osassa näitä moottoreita on kuitenkin perinteinen eli vastuksiin perustuva 3–5 portainen tehonsäätö, jonka hyötysuhde on PWM-säätöä merkittävästi huonompi.

### 2.2 Sähkökeulamoottori

Pienveneisiin tarkoitettut sähköiset propulsiolaitteet, joista löytyy kauko-ohjaus ja yleensä myös autopilottitoimintoja, ovat kiinnitystavaltaan sellaisia, että ne voidaan helposti asentaa vain soutuvenettä hieman isompien, keulakannellisten veneiden keulaan. Tästä syystä tällaisia malleja kutsutaan sähkökeulamoottoreiksi. Näiden moottoreiden tehonsäätö on myös aina toteutettu PWM-tekniikalla. Sähkökeulamoottorien hinnat alkavat noin 1300 eurosta. Opinnäytetyössä tavoiteltiin nimenomaan edellä mainittujen ominaisuuksien tuomista myös sähköperämoottoreihin, mutta pienemmin kustannuksin.

Sähkökeulamoottorin työntövoiman suuntaa sekä potkurin pyörimissuuntaa ja pyörimisnopeutta eli tehonsäätöä hallitaan kaukosäätimellä. Nykyään useimmissa keulasähkömoottoreissa on myös autopilottitoimintoja eli toimintoja, jotka huolehtivat automaattisesti moottorin ohjaamisesta. Näistä yleisimpiä ovat kurssinpito, taivasankkuri ja reitinajo.

Kurssinpito on toiminto, joka pyrkii säilyttämään veneen kurssin. Taivasankkuri taas pyrkii pitämään veneen paikallaan tuulta ja virtauksia vastaan. Reitinajo kuljettaa venettä tiettyä reittiä annettujen reittipisteiden kautta.

Edellä mainitut autopilottitoiminnot vaativat vastaanottimen jotakin satelliittipaikannusjärjestelmää varten, jotta automaattiohjaus saa esimerkiksi paikka- ja suuntatietoa. Euroopassa yleisin käytetty satelliittipaikannusjärjestelmä on GPS (ks. luku 2.4).

### **2.3 PWM-tekniikka**

PWM-lyhenne tulee sanoista Pulse-Width Modulation ja se tarkoittaa pulssinleveysmodulaatiota. Tällä tarkoitetaan yksinkertaisemmin jännitteen säätöä siten, että säätimelle tulevaa jännitettä katkotaan tietyin väliajoin tietyksi aikaa riippuen säädön tasosta, jolloin säätimeltä lähtevää jännitettä saadaan keskiarvillisesti pienennettyä. Säädin siis vaihtelee tilaansa hyvin nopeasti joko johtavana tai ei-johtavana, jolloin tehohäviö on vain murto-osa verrattuna vastukseen perustuvaan säätöön. (Dietrich 2022.)

### **2.4 GPS**

GPS tulee sanoista Global Positioning System. Se on yhdysvaltalaisomisteinen satelliittipaikannusjärjestelmä eli verkosto, joka koostuu vähintään 24 aktiivisesta satelliitista, jotka lähettävät koko ajan paikkatietoaan. GPS-vastaanotin on ohjelmoitu vastaanottamaan tätä paikkatietoa ja se pystyy määrittämään oman sijaintinsa perustuen vähintään neljän satelliitin paikkatietoon sekä aikaan, joka paikkatiedolla kestää saapua vastaanottimeen. (Costa ym. 2023.)

## 2.5 Koneenrakennuksen säädökset

Ajatellen suunniteltavan ohjainlaitteen mahdollista tuotteistusta myyntiin Suomessa tai muualla Euroopan unionin (EU) alueella, on silloin otettava huomioon EU:n tuotelainsäädäntö. Koska suunniteltava tuote on ennen kaikkea kone, pitää sen täyttää EU:n konedirektiivin 2006/42/EY mukaiset vaatimukset, mikäli se aiotaan tuoda markkinoille EU:n alueella. (Tukes n.d.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli kuitenkin ensisijaisesti selvittää, onko mahdollista rakentaa ohjainlaitteesta edullinen prototyyppi, jolla sähköperämoottorin ohjausta onnistutaan optimoimaan. Vasta tämän onnistuessa voi prototyyppi mahdollisesti toimia pohjana myyntituotteen kehittämiseksi. Näin ollen ohjainlaitteen suunnittelussa ja rakentamisessa ei tässä kohtaa huomioitu konedirektiivin vaatimuksia, sillä ennen mahdollista myyntiin saattamista laite kokee todennäköisesti useita muutoksia, jolloin varsinkaan ensimmäistä prototyyppiä ei ole järkevä tehdä myyntikelpoiseksi.

Ohjainlaitteen suunnittelussa ja rakentamisessa varmistettiin kuitenkin yleisesti kone- ja sähköturvallisuus ottamalla huomioon muun muassa komponenttien, johdinten ja liitosten virrankesto, suojaus ja vikaturvallisuus sekä ohjainlaitteen ohittaminen hätätilanteissa.

### 3 SUUNNITTELU

#### 3.1 Yleiset vaatimukset

Suunnittelussa lähdettiin siitä, että ohjainlaitteen pitää toimia 12 voltin tasasähköjärjestelmällä, koska suurin osa sähköperämootoreista käyttää kyseistä järjestelmää. Tällöin veneessä on myös 12 voltin akku, joka voi toimia suunniteltavan ohjainlaitteen virtalähteenä. Toinen suunnittelua rajaava tekijä oli se, että ohjainlaitteen pitää olla rakennettavissa mahdollisimman pitkälle olemassa olevista kaupallisista komponenteista, jotta kustannukset pystytään pitämään alhaisina. Nämä ovat kaikille komponenteille yhteisiä vaatimuksia.

Ohjainlaitteen tarvitsemia komponentteja alettiin hahmottaa sitä kautta, että ensinnäkin sähköperämootorin työntövoiman suunnan muuttamiseen eli sen ohjaamiseen tarvitaan jokin sähköinen toimilaite. Toimilaitetta ohjaamaan taasen tarvitaan ohjelmoitava mikrokontrolleri. Taloudellisempaa tehonsäätöä varten ohjainlaite tarvitsee PWM-säätimen. Lisäksi tarvitaan kauko-ohjain, jolla käyttäjä ohjaa mikrokontrolleria ja PWM-säädintä. Ohjainlaitteen asennusalustana käytetään Teno 62 -sähköperämootoria, joka edustaa ulkomuodoltaan suurinta osaa Suomessa myytävistä sähköperämootoreista.

#### 3.2 Toimilaite

Toimilaitteen tulee olla riittävän voimakas kääntääkseen sähköperämootorin vartta. Tähän tarvittava voima selvitettiin digitaalisen voimamittarin avulla seuraavasti. Sähköperämootorin varteen asennettiin putkikiinnike ja siihen pultti. Voimamittarin vetonaru asetettiin tähän pulttiin noin 5 cm etäisyydelle varren keskipisteestä. Kun vene oli saavuttanut tasaisen nopeuden kulloinkin valitun sähköperämootorin tehoasetuksen jälkeen, vedettiin pultista rauhallisesti voimamittarilla, kunnes sähköperämoottori oli kääntynyt 45°. Näin saatiin selville pienin tarvittava voima liikkeen suorittamiseksi. Varteen asennettu putkikiinnike ja siinä oleva pultti nähtävissä kuvassa 1.



KUVA 1. Kiinnike voimamittausta varten

Tarvittava voima testattiin ensin sähköperämoottorin eri tehoasetuksilla ja odotetusti todettiin, että suurimmalla teholla eli suurimmalla veneen nopeudella tarvitaan suurin voima kääntämään vartta. Tämän jälkeen tehtiin 10 mittausta sähköperämoottorin ollessa suurimmalla tehoasetuksella. Käytettävä mittari oli malliltaan Vernier DFS-BTA -voima-anturi, joka oli kytkettynä LabQuest LQ2-LE -tiedonkeräimeen. Tiedonkeräimestä data siirrettiin tietokoneeseen, jolla sitä voitiin tarkastella Logger Lite -ohjelmistolla. Ohjelmisto luo mittausdatasta yhden aika-voima-kuvaajan, jossa kaikki mittaukset näkyvät. Kuvaaja on nähtävissä liitteessä 1.

Mittauksista haluttiin luonnollisesti tietää suurimmat voima-arvot. Logger Litellä nämä maksimiarvot sai suoraan näkyviin kuvaajan yhteyteen. Mittauksista kolme ensimmäistä epäonnistui johtuen mittaajan huonosta asennosta; tämä on myös nähtävissä ko. mittausten maksimiarvoista. Näin ollen kolmea ensimmäistä mittausta ei oteta huomioon. Seitsemän jälkimmäisen mittauksen maksimiarvoista saadaan keskiarvoksi 40 N ja absoluuttiseksi virheeksi saadaan maksimiarvojen vaihteluvälin puolikkaasta 5 N, jolloin tulokseksi saadaan  $(40 \pm 5)$  N.

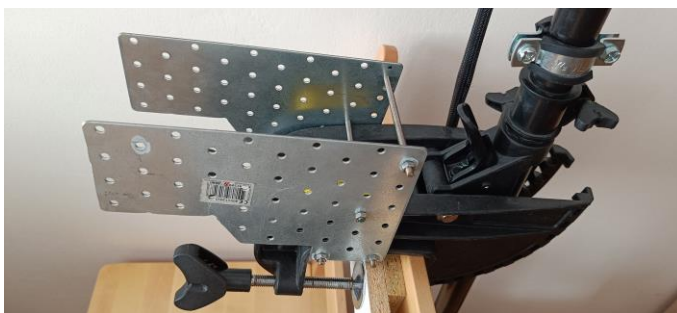
Sähköperämoottorin varren kääntäminen siis vaatii vääntöä vähintään  $45 \text{ N} \cdot 0,05 \text{ m} = 2,25 \text{ Nm}$ . Toimilaitteen vaivattoman toiminnan takaamiseksi kerrotaan tämä vielä 1,5:llä, jolloin saadaan määritettyä tuotettavaksi vähimmäisväännöksi noin 3,4 Nm.

Toimilaitetta ei erikseen suojata, joten se on altis sääolosuhteille ja muutenkin veneily-ympäristössä roiskevedelle. Tämän takia laitteen tulee olla vähintään pöly- ja roiskevesitiivis, eli kansainvälisen suojaustasoja määrittelevän IP-luokitusjärjestelmän mukaisesti vähintään IP54.

Näiden vaatimusten ja käyttökohteen perusteella alettiin tutkia useiden erilaisten sähköisten toimilaitteiden sopivuutta ja kustannuksia. Pian huomattiin, että suojausluokan ja voimantuoton vaatimukset täyttävistä vaihtoehdoista lineaaritoimilaitteiden eli karamoottoreiden joukosta löydettiin edullisimmat mallit, ja täten karamoottori valikoitui käytettäväksi toimilaitetyypiksi. Karamoottori on toimilaitte, joka tekee työtä yhden akselin suuntaisesti, eli sen liike tapahtuu lineaarisesti.

Kun toimilaitteen tyyppi oli valikoitunut karamoottori, täytyi määritellä, kuinka pitkä toimilaitteen lineaariliikkeen tulee olla, jotta se saa käännettyä sähköperämoottoria riittävästi. Sähköperämoottorin tarvittavan kääntösäteen katsotaan olevan korkeintaan  $90^\circ$  eli  $45^\circ$  puolelleen. Lineaariliikkeen määrittämiseen kuitenkin vaikuttaa se, minkä pituisen varren päästä toimilaitte kääntää sähköperämoottoria. Varren pituuden selvittämiseksi täytyi ensin suunnitella, kuinka toimilaitte tulaaan asemoimaan.

Toimilaitteen toisen pään liikuttaessa sähköperämoottorin vartta, tulee toisen pään kiinnittyä johonkin tukipisteeseen. Tukipisteen tulee olla sellainen, että sen voi toteuttaa mahdollisimman moneen erimalliseen sähköperämoottoriin jälkiasennuksen mahdollistamiseksi. Suurimmassa osassa sähköperämoottoreita on hyvin samankaltaisesti muotoiltu kiinnityskohta veneen perälaitaa varten. Näin ollen tukipiste päätettiin suunnitella siihen asennettavaksi. Tukipisteen materiaaliksi valikoituivat sinkityt reikälevyt, koska ne ovat edullisia ja helppoja kiinnittää hieman erimuotoisiin perälaitakiinnityksiin, sillä levyjä yhdistävät kierretangot voidaan asemoida useisiin eri kohtiin levyjen valmiin rei'ityksen ansiosta. Reikälevyjen asemointi nähtävissä kuvassa 2.

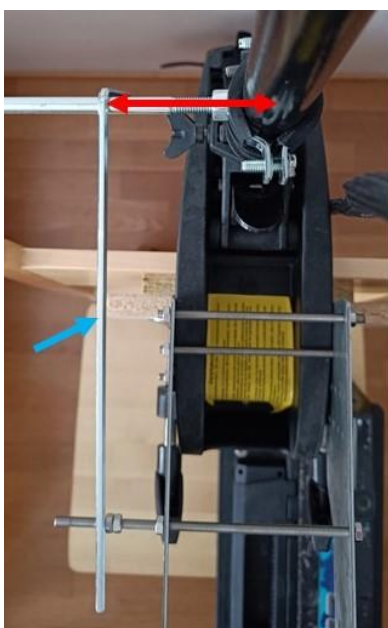


KUVA 2. Reikälevyjen asemointi

Kun toimilaitteen paikkaa alustavasti hahmoteltiin kuvassa 3 nähtävän metallitan-  
gon (sininen nuoli) avulla, mitattiin sen pään tulevan noin 7 cm päähän sähköpe-  
rämoottorin varren keskipisteestä (punainen nuoli). Toimilaitteen liikkuaessa seu-  
raisi sen pää siis ympyrän kaarta, jonka säde on 7 cm. Kun tiedetään ympyrän-  
sektorin säde ja kulma, voidaan ympyränsektorin kaaren  $b$  pituus eli tässä ta-  
pauksessa toimilaitteelta vaadittu liikematka laskea yhtälön

$$b = \frac{\alpha}{180^\circ} \pi r \quad (1)$$

mukaisesti, jossa  $\alpha$  on ympyränsektorin kulma ja  $r$  on säde (Mäkelä, Soininen,  
Tuomola & Öistämö 2019, 19). Kun määritetään sähköperämoottorin kään-  
tösäteeksi eli ympyränsektorin kulmaksi  $90^\circ$ , saadaan kaavan (1) mukaisesti  
määritettyä kaaren- eli toimilaitteen liikematkaksi likimain 11 cm.



KUVA 3. Toimilaitteen asemointi

### 3.3 Mikrokontrollerikokonaisuus

Mikrokontrollerilla tarkoitetaan tässä yhteydessä pientä piirilevylle valmistettua tietokonetta, joka voidaan ohjelmoida tekemään erilaisia tietojenkäsittelytehtäviä, ja jossa on sisään- ja ulostuloja informaatiolle (I/O-pinnejä). Tässä työssä mikrokontrollerin määrittelyssä on huomioitava myös autopilottitoimintojen mahdollistamiseksi vaadittava GPS-vastaanotin ja toimilaitteen ohjauksen vaatimat releet. Nämä on hankittava erillisinä moduuleina, mutta niiden katsotaan kuuluvan aihealueena mikrokontrolleriin.

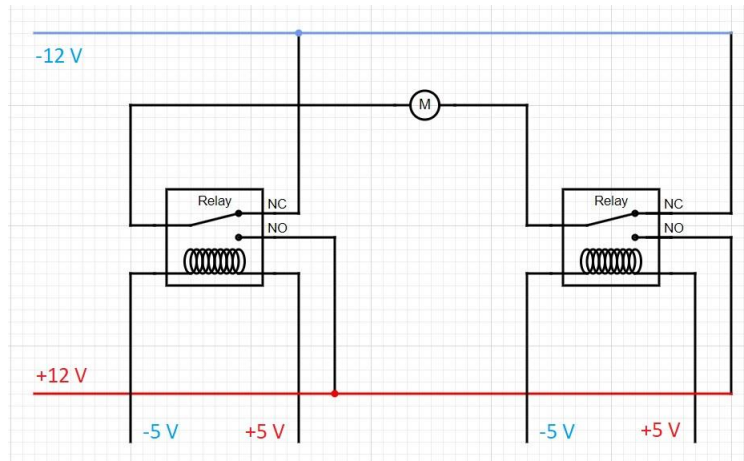
#### 3.3.1 GPS-moduuli

GPS-moduulille ole tarpeen määritellä muuta vaatimusta kuin että sen käyttöjännite on joko akulta saatava 12 V tai mikrokontrollerilta syötettävä 3–5 V. Koska ohjainlaitetta käytetään vesistöissä eli lähtökohtaisesti aukeilla paikoilla, katsotaan ettei GPS-moduulin tarvitse olla erityisesti maaston häiriöitä sietävä.

#### 3.3.2 Relemoduuli

Relemoduulin on oltava virrankestoltaan riittävä. Tämän määrittää hankintavaiheessa valittavan toimilaitteen maksimivirta. Relemoduulissa on oltava kaksi erillistä relettä, koska edullisissa karamoottoreissa on vain kaksi sähköjohdinta, joten toimilaitteen liikesuunnan vaihto pitää tehdä muuttamalla virran kulkusuunta näissä johtimissa. Tämä onnistuu kahden releen avulla kytkemällä ne kuviossa 1 esitetyn kaavion mukaisesti.

Kaaviossa toimilaitte on kytketty 12 voltin sähköjärjestelmään, ja passiivisessa tilassa sen molemmat johtimet on maadoitettu. Releitä ohjataan mikrokontrollerin viiden voltin järjestelmästä ja riippuen siitä, kumpi rele aktivoidaan, kytkettyy toimilaitte virran kulkusuuntaan nähden eri päin. Kytkentä on siltä osin vikaturvallinen, että mikäli releet olisivat vahingossa kytkettyinä samaan aikaan, kytkettyvät toimilaitteen molemmat johtimet jännitepuolelle, eikä virta tällöin kulje.



KUVIO 1. Releiden kytkentäkaavio

### 3.3.3 Mikrokontrolleri

Mikrokontrollerin erityisinä vaatimuksina ovat riittävä ohjelmamuisti ja digitaalisten I/O-piennien määrä sekä GPS-moduulista riippuen 3–5 voltin jännitelähtö. Riittäväksi ohjelmamuistiksi katsotaan 32 KB, koska se on yleinen kokoluokka suosituissa harrastemikrokontrollereissa, joilla voidaan toteuttaa monimutkaisiakin projekteja. Digitaalisia I/O-pinnejä arvioidaan tässä kohtaa tarvittavan kahden erilaisen autopilottitoiminnon kytkemiseksi, GPS- ja relemoduulin yhdistämiseksi, sekä manuaalisten ohjaukskäskyjen antamiseksi. Kunkin autopilottitoiminnon kytkemiseksi tarvitaan kytkin, ja kukin niistä yhdistyy mikrokontrolleriin yhdellä I/O-piennillä. GPS-moduulit yhdistyvät yleensä kahdella I/O-piennillä ja jokainen yksittäinen rele yhdellä I/O-piennillä. Manuaalisia ohjaukskäskyjä on voitava antaa kaksi; käänntö oikealle ja -vasemmalle. Digitaalisia I/O-pinnejä siis tarvitaan vähintään kahdeksan.

### 3.4 PWM-säädin

Kuten aiemmin on todettu, useimpien sähköperämoottoreiden tehonsäätö on toteutettu vastuksilla, jolloin osatehoalueella osa käytetystä sähköenergiasta hukataan lämmöksi. Tässä työssä sähköperämoottorille menevää jännitettä halutaan

säätää PWM-säätimellä pienemmän tehohäviön eli korkeamman hyötysuhteen saavuttamiseksi.

Tässä tapauksessa PWM-säätimellä on voitava myös kääntää virran kulkusuuntaa, jotta sähköperämoottorin potkurin pyörimissuuntaa voidaan vaihtaa. Lisäksi on varmistettava säätimen riittävä virrankesto. Ohjainlaitteen asennusalustana käytettävä Teno 62 -sähköperämoottori edustaa teholtaan suurinta sähköisten soutuvenemoottoreiden luokkaa, ja sen suurimmaksi virrankulutukseksi ilmoitetaan 58 A. Täten PWM-säätimen virrankeston tulee olla vähintään 60 A.

### **3.5 Kauko-ohjain**

Kauko-ohjaimesta päätettiin tehdä johdollinen tähän prototyyppiin, koska se vähentää ohjainlaitteen monimutkaisuutta. Kaukosäätimestä on mahdollista tehdä langatonkin, mutta siinä tapauksessa ohjainlaitteeseen pitäisi lisätä ainakin jonkinlainen signaalin lähetin ja vastaanotin sekä releitä, joiden kautta mikrokontrolleri saataisiin ohjaamaan PWM-säädintä. Johdollisessa versiossa PWM-säätimen ohjaus tuodaan suoraan johdoilla kaukosäätimeen, eli käyttäjä hallitsee kaikissa tilanteissa itse sähköperämoottorin potkurin pyörimissuuntaa ja pyörimisnopeutta.

Kauko-ohjaimen täytyy varautua asentamaan kytkimiä ainakin kahdelle autopilottitoiminnolle sekä toimilaitteen ohjaukselle ja PWM-säätimen ohjaukselle eli potkurin pyörimissuunnan vaihdolle ja pyörimisnopeuden säädölle. Kytkimiksi valitaan yleismallisia keinukytkimiä, joten kauko-ohjaimen pitää olla kooltaan riittävä kytkimien mahduttamiseksi. Lisäksi päätettiin, että myös mikrokontrolleri ja GPS-moduuli asennetaan kauko-ohjaimen, jotta varsinkin GPS-moduuli saadaan mahdollisimman kauaksi ohjainlaitteen muiden komponenttien ja sähköperämoottorin mahdollisesti aiheuttamista sähkömagneettisista kentistä. Ohjaimen suojausluokan tulee olla toimilaitteen tavoin vähintään IP54.

## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Hankinta

#### 4.1.1 Karamoottori

Toimilaitteeksi hankittavia karamoottoreita, joilla oli riittävä suojausluokka, oli selvästi edullisimmin tarjolla ulkomaisissa verkkokaupoissa. Tässä tarjonnassa karamoottorien huomattiin jakautuvan selkeästi liikematkan mukaan viidestä senttimetristä ylöspäin viiden senttimetrin välein.

Toimilaitteen liikematkaksi määritettiin suunnittelussa 11 cm, joten sitä lähimpänä yleismallisten karamoottorien valikoimassa olivat 10 senttimetrin liikematkan mallit. Tällä liikematkalla saavutettava sähköperämoottorin kääntösäde voidaan ratkaista seuraavalla tavalla. Ratkaistaessa yhtälö (1) ympyränsektorin kulman  $\alpha$  suhteen, saadaan yhtälö

$$\alpha = \frac{b}{\pi r} 180^\circ \quad (2)$$

Sijoittamalla yhtälöön (2) ympyränsektorin kaaren  $b$  paikalle uusi liikematka eli 10 cm, saadaan ratkaisuksi noin  $80^\circ$ . Tämänkin kääntösäteen katsottiin olevan vielä varsin riittävä, joten hankittavaksi karamoottoriksi voitiin valita 10 senttimetrin liikematkan malli.

Tämän liikematkan moottoreista pystyi vielä valitsemaan kahden eri liikenopeuden välillä, jotka olivat 10 mm/s tai 15 mm/s. Näistä valittiin nopeus 10 mm/s, koska sen ajateltiin olevan riittävä ja helpommin hallittavissa oleva nopeus. Liikenopeus myös määrittä karamoottorin maksimivoiman, joka tässä tapauksessa oli 1500 N. Koska karamoottori tulee liikuttamaan sähköperämoottorin vartta 7 cm etäisyydeltä, saadaan tuotettavaksi väännöksi  $1500 \text{ N} \cdot 0,07 \text{ m} = 105 \text{ Nm}$ , mikä tyydyttää varsin moninkertaisesti vaaditun 3,4 Nm väännön. Hankitun karamoottorin (kuva 4) oleelliset tekniset tiedot taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Karamoottorin tekniset tiedot

Syöttöjännite	12 VDC
Maksimivirta	5 A
Liikematka	10 cm
Liikenopeus	10 mm/s
Liikevoima	1500 N
Suojausluokka	IP54
Materiaali	Alumiini



KUVA 4. Hankittu karamoottori

#### 4.1.2 Mikrokontrolleri

Mikrokontrollerin haluttiin olevan yleinen ja helppokäyttöinen, jotta projektin onnistuminen ei jää siitä kiinni. Tarjonnasta päätellen kaksi yleisintä harrastekäyttöön suunnattua merkkiä ovat Arduino ja Raspberry Pi. Näistä Arduino on edullisempi mutta yksinkertaisempi niin toiminnoiltaan kuin käyttöönotoltaankin. Tämä johtuu muun muassa siitä, ettei Arduinossa ole käyttöjärjestelmää. Arduinon mallistosta kuitenkin löytyy ominaisuuksiltaan riittäviä malleja ohjainlaitteen toimintoja varten.

Arduinon mallien vertailun perusteella UNO-malli täytti helposti kaikki mikrokontrollerille asetetut vaatimukset ja oli silti hyvin edullinen erityisesti ulkomaisissa verkkokaupoissa johtuen sen suuresta suosiosta harrastekäytössä. Näin ollen hankittavaksi valittiin Arduino UNO R3 -mikrokontrolleri (kuva 5), jonka oleellisimmat tiedot taulukossa 2.

## TAULUKKO 2. Arduino UNO:n tekniset tiedot

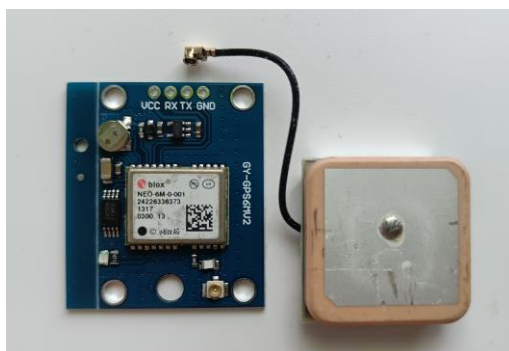
Syöttöjännite	7-12 VDC
Digitaalisia I/O-pinnejä	14 kpl
Jännitelähdöt	3 VDC & 5 VDC
Ohjelmamuisti	32 KB



KUVA 5. Arduino UNO -mikrokontrolleri

#### 4.1.3 GPS-moduuli

Hankittavaksi GPS-moduuliksi valikoitui edullisien ja Arduinon kanssa yhteensopivien mallien tarjonnasta selvästi yleisin ja elektroniikkaharrastajien keskuudessa suosittu GY-NEO6MV2 (kuva 6). Se koostuu antennista ja mikroprosessorista, joka muuntaa antennin poimimaa dataa Arduinon ymmärtämään viestimuo-  
toon. Kun moduuli saa tietoa riittävän monelta GPS-satelliitilta, se osaa kertoa paikkansa lisäksi muun muassa mahdollisen kurssinsa ja nopeutensa. Käyttöjännitteeksi moduuli huolii kolmesta viiteen voltia, joten myös sen virransyöttö voidaan ottaa Arduinolta.



KUVA 6. GPS-moduuli

#### 4.1.4 Relemoduuli

Arduinon kanssa yhteensopivat relemoduulit ovat hyvin samankaltaisia keskenään. Yleisimmin ne jaotellaan vain releiden vetokäämin käyttämän jännitteen ja moduulin sisältämän relemäärän mukaan. Releiden kuormavirrankesto on 10 A, joten ne kestävät hyvin karamoottorin maksimivirraksi ilmoitetun 5 A. Karamoottorin ohjausta varten määritettiin tarve kahdelle releelle, joten relemoduulin on oltava 2-kanavainen.

Koska ohjainlaite muutoinkin käyttää 12 voltin jännitettä, oli järkevää valita relemoduuli, jonka vetokäämit käyttävät myös 12 voltin jännitettä. Relemoduulin sisäinen ohjaus toimii tässä tapauksessa siten, että mikrokontrollerilta tuleva 5 voltin aktivointisignaali päästää 12 voltin jännitteen releen vetokäämille, joka viimein päästää virran kulkemaan karamoottorille. Mikäli valittaisiin 5 voltin käämit, tarvitsisi niiden virransyötön tulla Arduinolta, mikä lisäisi sen kuormitusta. Hankittavaksi releeksi siis valikoitui 2-kanavainen, 10 A virrankestolla ja 12 V käämillä varustettu moduuli (kuva 7).



KUVA 7. Relemoduuli

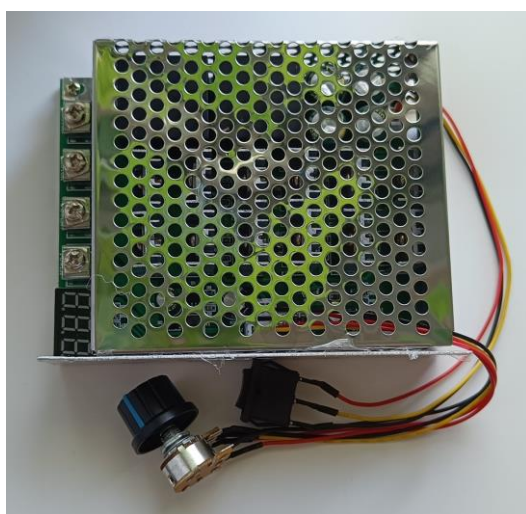
#### 4.1.5 PWM-säädin

Edullisen luokan PWM-säätimistä oli hankala löytää varsinkin riittävän virrankeston omaavia malleja. Lopulta kuitenkin ulkomaisesta verkkokaupasta löydettiin

kriteerit täyttävä yleismallinen tuote (kuva 8), jonka oleelliset tekniset tiedot taulukossa 3.

TAULUKKO 3. PWM-säätimen tekniset tiedot

Tulojännite	10–55 VDC
Jännitteen säätö	0–100 %
Virran kulkusuunnan vaihto	Kytkimellä
Jatkuva virta	60 A
Suurin virta	100 A



KUVA 8. PWM-säädin

#### 4.1.6 Kauko-ohjain

Kauko-ohjaimen rungoksi päätettiin hankkia talosähkötekniikkaan tarkoitettu kytkentärasia, koska niitä on kotimaankin tavarataloissa laaja valikoima ja hyvin saatavilla. Hankittavan kytkentärasian kooksi valikoitui 168 x 143 x 90 mm ja suojausluokaksi IP55 eli pölyn ja vesisuihkun kestävä. Myös yleismallisia kytkimiä kauko-ohjaimen löytyi hyvin kotimaan tavarataloista.

## 4.2 Ohjelmointi

Mikrokontrolleri ohjelmoitiin Arduinon internetsivuilta ilmaiseksi ladattavalla Arduino IDE -ohjelmistolla, jossa käytetään omaa C++ -ohjelmointikielen varianttia. Itse ohjelmakoodia ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä kopioinnin estämiseksi mutta ohjelman rakenteesta kerrotaan pääpiirteittäin.

Ohjelman koodauksessa lähdettiin siitä, että Arduinon saadessa milloin tahansa manuaalisen ohjauksikäskyn kaukosäätimeltä, se aktivoi tarvittavan toimilaitetta ohjaavan releen. Tämän jälkeen ohjelmaan koodattiin ensimmäinen versio yksinkertaisimmasta autopilottitoiminnosta eli kurssinpidosta. Ohjelma toimii tämän toiminnon osalta pääpiirteittäin siten, että kurssinpidon kytkimen aktivoituessa ohjelma alkaa kysyä GPS-moduulilta, onko sillä tieto sen hetkisestä veneen kurssista. Kun kurssitieto saadaan, mikrokontrollerin piirilevyyn integroitu keltainen ledi syttyy, kurssitieto tallentuu ja siihen aletaan vertaamaan veneen kulloistakin kurssitietoa. Mikäli kurssitieto alkaa poiketa liikaa tallennetusta kurssista, käskytää se tarvittavalla tavalla relemoduulia, jotta toimilaite lähtee kääntämään sähköperämootoria ja sitä kautta korjaamaan veneen kurssia.

Kun ohjelmaan oli koodattu edellä mainitut asiat, oli se jo sen verran pitkän ja monimutkaisen oloinen ohjelmointia vähemmän tehneen silmin, että päätettiin olla lisäämättä siihen tässä kohtaa enempää autopilottitoimintoja.

## 4.3 Kokoonpano

Kokoonpanovaiheessa ratkaistiin valittujen komponenttien asennuspaikat ja kiinnitykset toisiinsa. Ensimmäisenä lähdettiin ratkaisemaan toimilaitteen asennus kääntövarteen ja tukipisteeseen.

### 4.3.1 Toimilaite

Sähköperämoottorin varren kääntämisen geometria edellyttää toimilaitteen molempien päiden kiinnityksiltä mahdollisuutta kiertyä yhden akselin suhteen. On

myös huomioitava, että toimilaitteen päät eivät asetu aivan samalle tasolle sen liikealueen suunnassa varsinkaan kaikissa sähköperämootoreissa, joten päiden on sallittava kiertyä vielä toisenkin akselin suhteen. Lisäksi haluttiin mahdollistaa hätätilanteessa sähköperämootorin varren kääntäminen käsin niin, ettei ohjainlaite vaurioidu. Näiden seikkojen vuoksi päätettiin toimilaitte kiinnittää sähköperämootorin varteen putkikiinnikkeellä, joka voidaan säätää sellaiseen tiukkuuteen, ettei se luista ohjainlaitetta käytettäessä, mutta antaa periksi, mikäli missään tilanteessa tulee tarve liikuttaa vartta käsin.

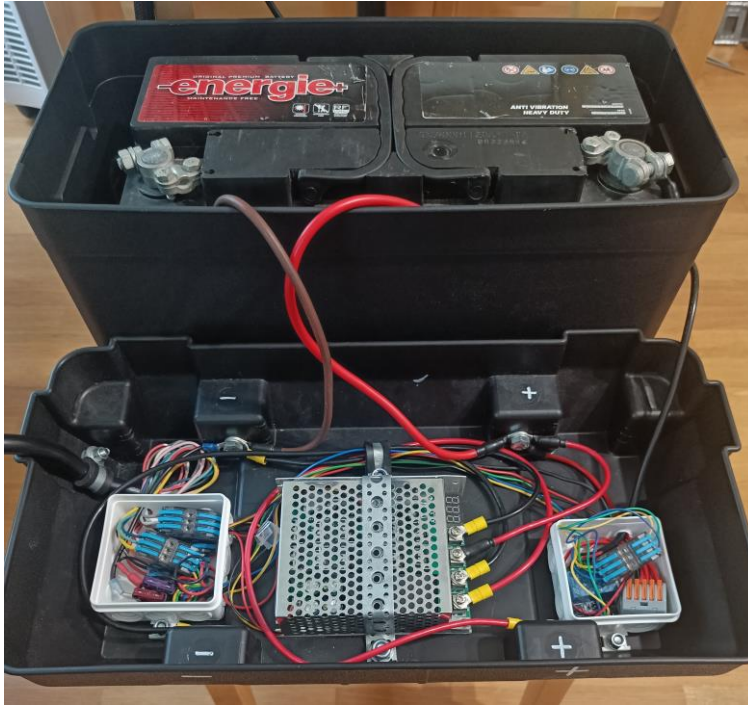
Putkikiinnikkeen ja toimilaitteen pään väliin laitettiin kulmanivel, joka mahdollistaa sen tarvitsemat kiertymiset. Toimilaitteen toinen pää asennettiin reikälevyyn kiinnitettävään kierretankoon, joka on tarkoituksella sen verran väljä, että se mahdollistaa riittävän kiertymisen kahden akselin suhteen. Toimilaitte nähtävissä asennettuna kuvassa 9.



KUVA 9. Toimilaitteen asennus

#### 4.3.2 Akkukotelo

Seuraavaksi täytyi ratkaista mikrokontrollerin, relemoduulin ja PWM-säätimen asennus. Yksi vaihtoehto oli laittaa kaikki nämä komponentit yhteen vedeltä suojattuun laatikkoon. Sitten oivallettiin, että yleensä veneessä tarvitaan muutenkin akulle oma laatikko, ja näin ollen päätettiin asentaa komponentit akkulaatikon kannen sisäpuolelle kuvassa 10 nähtävällä tavalla.



KUVA 10. Akkulaatikkoon kokoonpano

Kuvassa 10 akkulaatikon kansi on käännetty ylösalaisin akkulaatikon eteen. Akun navoilta vedettiin maa- ja virtakaapeli akkulaatikon kanteen tehtyihin virranotto-pisteisiin, jotka on merkitty plus- ja miinusmerkillä laatikon kanteen (kuvassa ylempi plus- ja miinusmerkki). Normaalissa käytössä suurin akulta otettava virta määräytyy sähköperämoottorin ja toimilaitteen maksimivirrankulutuksesta, mikä tekee yhteensä  $58\text{ A} + 5\text{ A} = 63\text{ A}$ . Muiden komponenttien virrankulutus on suhteessa merkityksetön. Näin ollen akulta tulevaan maakaapeliin laitettiin 100 ampeerin sulake, koska se oli seuraava sopiva sulakekoko suurimmasta normaalista virrankulutuksesta.

Keskelle kantta asennettiin PWM-säädin, johon vedettiin virta virranjakopisteistä. Säätimeltä lähtevät säädetyin jännitteen johtimet vietiin akkulaatikon kanteen tehtyihin virranantopisteisiin, jotka on merkitty plus- ja miinusmerkillä laatikon kanteen (kuvassa alempi plus- ja miinusmerkki). Näihin virranantopisteisiin voidaan akkulaatikon ulkopuolelta kytkeä sähköperämoottorin virtajohdot.

Kannen oikeanpuoleiseen kytkentärasiaan sijoitettiin relemoduuli ja rakennettiin sen tarvitsemat kytkennät kuvion 1 mukaisesti. Vasemmanpuoleisessa kytkentä-

rasiaassa kytkettiin vipurasialiittimillä tarvittavat ohjainlaitteen johtimet kauko-ohjaimelle menevään johtonippuun. Näitä olivat siis relemoduulin ja PWM-säätimen ohjaus sekä virransyöttö mikrokontrollerille.

Vasemmanpuoleiseen kytkentärasiaan laitettiin myös sulakkeet toimilaitteelle ja mikrokontrollerille. Toimilaitteelle valittiin maksimikäyttövirrasta seuraava sulakekoko eli 10 A ja mikrokontrollerille pienin yleisesti saatavilla oleva autosähkösulake eli 3 A.

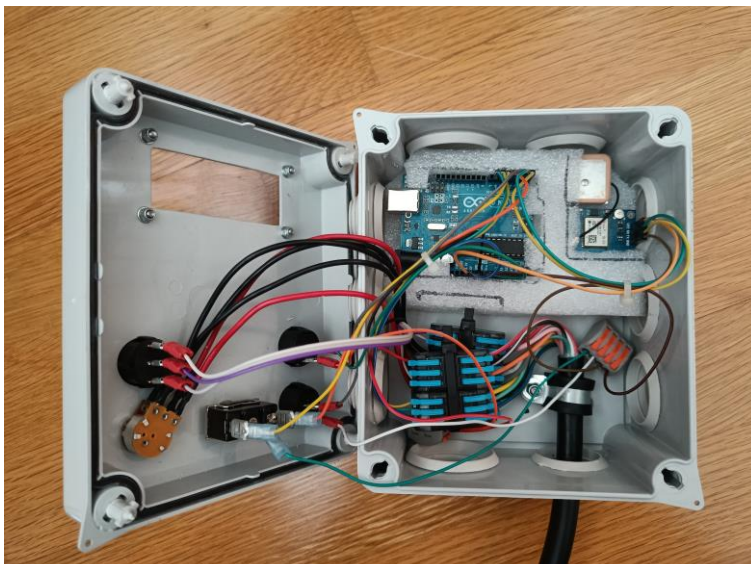
Kauko-ohjaimen johtoon ja kuvan 10 ottamisen jälkeen myös toimilaitteen johtoon tehtiin vedonpoistot kaapelikiinnikkeillä. PWM-säädin, kytkentärasiat ja kaapelikiinnikkeet asennettiin akkulaatikon kanteen pulteilla. Kansi on kuitenkin sen verran pehmeää muovia, että pulttien kannat tiivistyvät siihen niin hyvin, ettei vesi pääse valumaan pulttien kautta sisäpuolelle.

Toimilaitteen ja kaukosäätimen johtojen ei nähty tarpeelliseksi olla pikaliitettäviä, vaan ne asennettiin kiinteästi akkukotelon kanteen, sillä toimilaitte on nopeasti irrotettavissa kiinnikkeistään. Näin ohjainlaite ja sähköperämoottori ovat tarvittaessa helposti erotettavissa esimerkiksi kantamista varten.

### **4.3.3 Kauko-ohjain**

Mikrokontrolleri ja GPS-moduuli sijoitettiin kauko-ohjaimen sisään kuvassa 11 nähtävällä tavalla. Mikrokontrolleri asemoitiin solumuovista muotoillun pedin avulla niin, että siihen integroitu ledi on nähtävissä kauko-ohjaimen kanteen tehdystä ikkunasta, ja mikrokontrollerin sarjaporttiin päästään käsiksi irrottamalla kauko-ohjaimen sivussa oleva tulppa. Näin meneteltiin siksi, että mikrokontrolleria halutaan päästä ohjelmoimaan sarjaportista avaamatta kauko-ohjaimen kantta ja ledistä halutaan nähdä autopilottitoiminnon tila.

Myös kauko-ohjaimen päässä sen johtoon tehtiin kuvassa 11 nähtävä vedonpoisto ja johtonipun johtimet yhdistettiin vipurasialiittimillä mikrokontrolleriin sekä kauko-ohjaimen kytkimiin.



KUVA 11. Kauko-ohjaimen kokoonpano

Kauko-ohjaimen kytkimet ja ikkuna asennettiin kuvassa 12 nähtävällä tavalla ja kytkimien toiminnot on esitetty taulukossa 4. Ikkuna on polykarbonaattia ja se on asennettu kytkentärasiaan tiivistenauhan kanssa. Myös jokainen kytkin on roiskevesitiivis.



KUVA 12. Kauko-ohjaimen kytkimet

TAULUKKO 4. Kauko-ohjaimen toiminnot

Kytkin	Toiminto
Vasemmalla ylempi	Mikrokontrollerin virtakytkin
Vasemmalla alempi	Kurssinpito päälle/pois
Keskellä	Sähköperämootorin kääntö vas./oik.
Oikealla ylempi	Potkurin pyörimissuunnan vaihto
Oikealla alempi	Potkurin pyörimisnopeuden säätö

#### 4.3.4 Kokonaisuus

Koko ohjainlaitetekonaisuus sähköperämoottoriin asennettuna nähtävissä kuvassa 13.



KUVA 13. Ohjainlaitetekonaisuus

## 5 LOPPUTULOS

### 5.1 Testaus

Ohjainlaitteen toimintoja ns. kuivatestattiin jo sisätiloissa pitkin toteutusvaihetta, mutta laitteen konkreettinen toimivuus voidaan selvittää vasta aidossa käyttöympäristössä, joten sitä käytiin testaamassa perinteisellä soutuveneellä Pirkanmaan Vesijärvellä. Ohjainlaitteen kaukosäädin ja toimilaite oli kätevä laittaa akkukotelon sisään. Tällä tavalla sähköperämoottori, akku ja akkukotelo voidaan kantaa autolta rantaan omina kokonaisuuksinaan. Veneessä ei tarvinnut kuin asettaa akku koteloon ja kytkeä sen navat ohjainlaitteen akkukaapeleihin sekä kiinnittää toimilaite sähköperämoottoriin. Ohjainlaite käyttöympäristössään veneen perässä nähtävissä kuvassa 14.



KUVA 14. Ohjainlaite käyttöympäristössään

### **5.1.1 Manuaalinen ohjaus**

Sähköperämoottorin manuaalinen ohjaus kauko-ohjaimesta onnistui heti virheettömästi. Mikrokontrolleri kytkeytyi päälle, Sähköperämoottorin kääntäminen vasempaan ja oikeaan onnistui sekä potkurin suunnanvaihto ja pyörimisnopeuden säätö toimivat.

### **5.1.2 Autopilotti**

Kun autopilottitoiminto eli kurssinpito kytkettiin ensimmäisen kerran päälle, sytty mikrokontrolleriin keltainen ledi merkiksi kurssin tallennuksesta. Pian kuitenkin huomattiin, että mikrokontrollerin ohjelma korjaa veneen suuntaa päinvastaiseen suuntaan kuin pitäisi. Tämä saatiin nopeasti korjattua veneessä tekemällä yksinkertainen muutos mikrokontrollerin ohjelmaan tietokoneen kanssa.

Ohjelma toimi nyt paremmin ja alkoi aina kytkettäessä korjata asetettua kurssia hyvin, mutta muutaman korjaavan ohjausliikkeen jälkeen sähköperämoottori oli ohjattu liian jyrkkään kulmaan ja vene alkoi kääntyä nopeammin pois kurssilta kuin ohjelma ehti sitä korjata.

Kurssinpitoa testaillessa GPS-moduuli onnistui saamaan kurssin noin neljällä kerralla viidestä. Silloinkin kun kurssia ei heti saatu, ei mennyt montaakaan sekuntia, kun se taas löytyi. Tämän voi katsoa olevan varsin hyvä suoritus tämän hintaluokan moduulilta.

### **5.1.3 PWM-säätö**

Järvellä tehtiin myös muutama mittaus sähköperämoottorin virrankulutuksesta PWM-säätimen kanssa sekä ilman sitä. Virrankulutusta mitattiin laittamalla akulta lähtevään virtajohtimeen Fluke 77 -yleismittari, jonka resoluutio oli 0,01 A. Ensiksi sähköperämoottori kytkettiin akkuun ilman ohjauslaitetta ja asetettiin moottorin

oma vastuksiin perustuva säätö pienimmälle tehoasetukselle, jolloin sen tehoviöt ovat suurimmat. Tämä asetus on myös yleensä sopivin uisteluun tällä kyseisellä moottorilla soutuveneiden kanssa.

Veneen nopeutta seurattiin mobiililaitteen Karttaselain-sovelluksella, jonka resoluutio oli 0,1 km/h. Kun veneen nopeus oli tasaantunut, todettiin sen olevan 2,6 km/h. Tämä toistettiin vielä kaksi kertaa sammuttamalla sähköperämoottori kertojen välillä. Joka kerralla nopeus tasaantui samaan arvoon ja virran huomattiin joka kerta yhteen desimaaliin pyöristettynä olevan 7,5 A.

Seuraavaksi sähköperämoottori liitettiin taas ohjainlaitteeseen, jolloin sen tehonsäätö tapahtuu PWM-säätimen kautta. Mittauskertoja suoritettiin taas kolme siten, että joka kerta kauko-ohjaimesta säädettiin teho sellaiseksi, että nopeus tasaantui taas arvoon 2,6 km/h. Tällä tavoin saatiin joka mittauksesta virrankulutuksen arvoksi yhteen desimaaliin pyöristettynä 3,2 A. PWM-säätimen todettiin siis vähentävän virrankulutusta yli puolella uisteluvauhdissa, tarkemmin 57 prosentilla.

## **5.2 Kustannukset**

Kaikki tässä kappaleessa ilmoitetut summat sisältävät ALV:n, jotta kustannuksia on yhdenmukaisempaa verrata toisiinsa. Liitteessä 2 on kustannuslaskelma, josta nähdään, että komponenttien yhteishinta oli noin 124 euroa.

Rakennettaessa ensimmäistä prototyyppiä ottaa kokoonpano ja ohjelmointi paljon aikaa. Rakennettaessa sama laite uudelleen, kuluu aikaa monin kerroin vähemmän, koska ohjelma voidaan suoraan kopioida ja kokoonpano on vain mekaanista suorittamista. Tällaisen ohjainlaitteen uudelleenrakennuksessa kuluu eniten aikaa sähköjohtimien liitostyöhön, joka sekin voidaan pitkälle optimoida, koska esimerkiksi johtimien pituudet ovat jo valmiiksi tiedossa. Uudelleenrakennukseen tarvittavan ajan arvioidaan karkeasti olevan työpäivä eli kahdeksan tuntia.

Esimerkiksi 3000 euron nettokuukausituloon yltävän yksityisyrityksen on veloitettava rakennustyöstä vähintään 43 e/h (Valjas 2019). Työn osuudeksi tulee tällöin 344 euroa. Tällaisen esimerkin tapauksessa ohjainlaitteesta siis voitaisiin veloittaa työ ja materiaalit huomioon ottaen esimerkiksi 500 euroa. Edullisen hintaluokan manuaaliset sähköperämoottorit taasen kustantavat alle 200 euroa. Näin ollen sähköperämoottorin ja ohjainlaitteen yhteishinta kuluttajalle jäisi alle 700 euroon.

## 6 POHDINTA

### 6.1 Tavoitteiden täytyminen

Tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa sähköperämootoreihin jälkiasennettava, edullinen ja kauko-ohjattava ohjainlaite, jossa on autopilottitoimintoja ja taloudellinen tehonsäätö.

Työssä ei päästy konkreettisesti kokeilemaan, kuinka helposti ohjainlaitteen toimilaite on jälkiasennettavissa muihin kuin käytössä olleeseen sähköperämoottorimalliin. Reikälevyratkaisun voidaan kuitenkin ajatella olevan kiinnitystavaltaan hyvin mukautuva.

Testauksessa todennettiin, että kauko-ohjaus toimi moitteetta ja laitteeseen saatiin ohjelmoitua yksi autopilottitoiminto. Ja vaikka kurssinpito ei toiminutkaan täydellisesti, voidaan sanoa, että sen kehittämiseksi on hyvä pohja ja ongelma voidaan korjata puhtaasti ohjelmallisesti. Myös muita autopilottitoimintoja arvioidaan olevan mahdollista lisätä pelkästään ohjelmistokehityksellä.

PWM-säätimen vaikutusta tehonsäädön taloudellisuuteen todennettiin mittaamalla virrankulutusta säätimen kanssa ja ilman. Kävi ilmi, että uistelunopeudessa virrankulutus oli 57 % pienempi PWM-säädintä käyttäessä. Voidaan todeta, että sähköperämootorin hyötysuhdetta saatiin merkittävästi parannettua tällä ratkaisulla.

Laitteen myyntihinnaksi arvioitiin esimerkin avulla alle 700 €, mikä on puolet vähemmän, kuin halvimmatkaan kauko-ohjattavat mallit. Voidaan siis todeta, että on mahdollista tuoda tämän ohjainlaitteen kaltaiset ominaisuudet kuluttajan saataville merkittävästi edullisemmin, kuin ne nyt ovat. Näin ollen opinnäytetyön tavoitteiden voi katsoa täyttyneen lähes täysin.

## 6.2 Kehitysideat

Komponenttien hankintapaikkoja valitessa yksi valintakriteereistä oli, että tuote toimitetaan kohtuullisessa ajassa, jottei se aiheuta suuria viiveitä opinnäytetyön tekemiseen. Mikäli toimitusajassa joustetaan, voidaan komponenttien yhteishankintahinnasta säästää vielä ainakin 30 %.

Kurssinpidon ohjelmointia voidaan kehittää esimerkiksi siten, että ohjelma ei yritä korjata kurssia enää silloin kun kurssi on jo lähtenyt siirtymään kohti tavoitetta. Tällä päästäisiin eroon tilanteista, joissa ohjainlaite kääntää sähköperämootoria edelleen lisää; usein liikaa, vaikka vene on jo siirtymässä oikealle kurssille. Ohjelmointiin voidaan myös alkaa lisätä muita automaattitoimintoja, kuten reittiajo ja taivasankkuri, kunhan kurssinpito opitaan hallitsemaan.

Kauko-ohjauksen voisi mahdollisesti toteuttaa myös langattomasti esimerkiksi Bluetooth-tekniikalla. Tämä lisäisi komponenttien määrää mutta tekisi kauko-ohjauksesta entistä kätevämpää.

## LÄHTEET

Costa, H., Sprout, E., Teng, S., McDaniel, M., Hunt, J., Boudreau, D., Ramroop, T., Rutledge, K. & Hall, H., 2023. GPS. National Geographic. Verkkosivu. Viitattu 2.6.2024. <https://education.nationalgeographic.org/resource/gps/>

Dietrich, S., 2022. Understanding the Basics of Pulse Width Modulation. Control Automation. Verkkosivu. Viitattu 2.6.2024. <https://control.com/technical-articles/understanding-the-basics-of-pulse-width-modulation-pwm/>

Moottori. 2021. Veneala veti viime vuonna. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2024. <https://moottori.fi/uutinen/veneala-veti-viime-vuonna-pienet-moottoriveneet-vahvimmilla/>

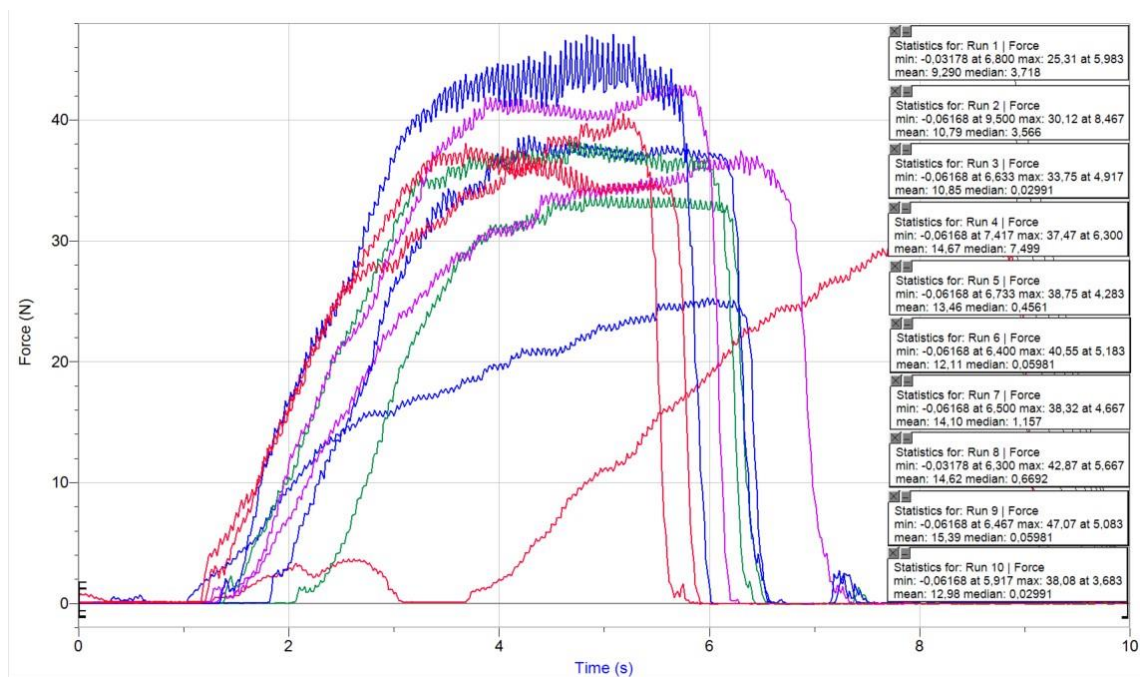
Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2019. Tekniikan kaavasto. 20. painos. Tampere: AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Tukes. n.d. Koneita koskevat vaatimukset. Verkkosivu. Viitattu 2.6.2024. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>

Valjas. 2019. Paljonko yrittäjän pitää laskuttaa. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2024. <https://valjas.fi/opi/blogi/3000-e-nettona-kk-paljonko-yrittajan-pitaa-laskuttaa/>

## LIITTEET

Liite 1. Voimamittauksen kuvaaja ajan suhteen



## Liite 2. Komponenttien kustannuslaskelma

<b>Komponentti</b>	<b>Kustannus (€)</b>
Toimilaite	25,20
Mikrokontrolleri	10,55
GPS-Moduuli	3,15
2-kanavainen relemoduuli	1,73
PWM-säädin	11,36
Kauko-ohjainkotelo	7,99
Kytkimet	9,00
Akkukotelo	16,90
Reikälevyt	7,98
Kiinnikkeet	12,77
Sähköjohtimet	17,51
<b>Yhteensä</b>	<b>124,14</b>

