

Opinnäytetyö (AMK)

Tietojenkäsittely

2025

Aaro Tukia ja Tuomas Thurén

# Suomen Meripelastusseuran simulaattorin jatkokehitys

– ekologinen ja skaalautuva ratkaisu  
meripelastuskoulutukseen



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tietojenkäsittely

2025 | 33 sivua

Aaro Tukia ja Tuomas Thurén

## Suomen Meripelastusseuran simulaattorin jatkokehitys

– ekologinen ja skaalautuva ratkaisu meripelastuskoulutukseen

Simulaattoripohjaisen koulutuksen on todettu tarjoavan merkittäviä pedagogisia ja ekologisia hyötyjä. Harjoittelun mahdollistaminen kriittisissä tilanteissa turvallisessa ympäristössä edistää virheistä oppimista ja vähentää resurssien kulutusta verrattuna perinteisiin vesiharjoituksiin. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää teknisesti Suomen Meripelastusseuran jäsenyhdistyksenä toimivan Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n käytössä olevaa Stormwind-koulutussimulaattoria. Simulaattori toimii koulutusympäristönä meripelastajille, ja sen kehittämistarpeet liittyivät erityisesti reaaliaikaisen järjestelmätiedon visualisointiin sekä realistisemmän fyysisen joystick-ohjauksen lisäämiseen.

Meripelastusseuralla ei ollut turvallista, kustannustehokasta eikä ekologisesti kestäväää tapaa kouluttaa uusia vapaaehtoisia meripelastajia pelastusveneen käsittelyyn eri tilanteissa. Tämän työn tarkoituksena oli vastata tähän tarpeeseen jatkokehittämällä jo käytössä olevaa Stormwind-koulutussimulaattoria. Jatkokehityksessä hyödynnettiin Signal K -protokollaa, InfluxDB-tietokantaa ja Grafana-visualisointialustaa järjestelmätiedon reaaliaikaiseen keräämiseen ja esittämiseen. Kehitystyön aikana toteutettiin prototyyppi, jossa yhdistyvät graafinen tilannekuva simulaattorin järjestelmistä sekä realistisempi ohjaustuntuma.

Visuaalisen käyttöliittymän suunnittelussa painotettiin käytettävyyttä, tilannetietoisuutta ja hälytysten havainnointia. Kehitetyt ratkaisut parantavat koulutuksen laatua, saavutettavuutta ja jatkuvuutta. Työn tuloksena syntynyt malli on mahdollisesti sovellettavissa myös muiden meripelastusseurojen koulutustoimintaan.

Asiasanat:

ekologinen kestävyys, meripelastus, vapaaehtoistoiminta, koulutussimulaattorit, pedagogiikka, datan visualisointi.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Business Information Technology

Aaro Tukia and Tuomas Thurén

2025 | 33 pages

## Further Development of the Finnish Lifeboat Institution's Simulator

– An Ecological and Scalable Solution for Maritime Rescue Training

The objective of this thesis was to enhance the Stormwind training simulator, used by the Kemiönsaari branch of the Finnish Lifeboat Institution, by improving real-time data visualization and integrating more realistic physical joystick controls. Designed as a scalable and ecologically sustainable training platform for maritime rescue operations, the simulator supports immersive and cost-effective skill development.

The project was driven by the need to support training in a safe, cost-effective, and ecologically sustainable manner. The development process utilized the Signal K protocol, InfluxDB database, and Grafana visualization platform to collect and display system data in real time. A prototype was created that combines a graphical system overview with a realistic control interface.

The visual user interface was designed with emphasis on usability, situational awareness, and the perception of alarms. Simulator-based training has been shown to offer significant pedagogical and ecological benefits. It enables the practice of critical scenarios in a safe environment, promoting learning through mistakes while reducing the consumption of resources compared to traditional on-water exercises.

The developed solutions improve the quality, accessibility, and continuity of training. The resulting model can also be applied to training activities of other maritime rescue associations.

Keywords:

ecological sustainability, maritime rescue, volunteer work, training simulators, pedagogy, data visualization

# Sisältö

## Sanasto

<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Toimintaympäristö ja lähtökohdat</b>	<b>11</b>
2.1 Kemiönsaaren Meripelastajat ry	11
2.2 Koulutustoiminnan nykytila ja haasteet	12
2.3 Simulaattorikoulutuksen tarve ja jatkokehityksen tavoitteet	13
<b>3 Simulaattorin merkitys</b>	<b>14</b>
3.1 Simulaattorin pedagoginen merkitys	14
3.2 Simulaattorin ekologinen merkitys	15
<b>4 Datan visualisointi</b>	<b>17</b>
4.1 Signal K -järjestelmä ja sen rooli simulaattorissa	17
4.2 Visualisoinnin tekninen toteutus ja käytettävyys	19
<b>5 Joystick- komponentin toteutus</b>	<b>22</b>
5.1 Laitteiston rakenne ja valitut teknologiat	22
5.2 Ohjelmointi ja elektroniikkakomponentit	26
5.3 Käyttökokemukset ja kehitysehdotukset	29
<b>6 Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>30</b>
<b>Lähteet</b>	<b>32</b>

# Kuvat

Kuva 1. Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n alus PV Mona (Kemiönsaaren Meripelastajat, 2023). .....	11
Kuva 2. Stormwind-simulaattori Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n koulutustiloissa.....	12
Kuva 3. Signal K toimintaperiaate (Signal K, 2024). .....	18
Kuva 4. Raspberry Pi 5 -mikrotietokone, johon Signal K -palvelin asennettiin. .	19
Kuva 5. Grafana-dashboardin käyttöliittymä. ....	21
Kuva 6. RPM-vipu mallinnettuna 3D-ohjelmassa akseli kiinnityksineen.....	23
Kuva 7. Joystickin runko-osa, johon säätövivut ja anturit asennetaan. ....	23
Kuva 8. Kotelon pohja, joka sisältää tilat elektroniikalle ja liitännöille.....	24
Kuva 9. Kauhan ohjaukseen tarkoitettu vipu. ....	25
Kuva 10. Valmis joystick-laite koottuna ja käyttövalmiina. ....	26
Kuva 11. Lähikuva Arduino Micro -mikrokontrollerista. ....	27
Kuva 12. Kuva Arduino-ohjelman koodista. ....	28

## Sanasto

Arduino	Avoimen lähdekoodin mikrokontrollerialusta, jota käytetään laiteohjauksessa ja prototypoinnissa (Arduino 2024).
EMSA	European Maritime Safety Agency, Euroopan unionin meriturvallisuusvirasto (EMSA 2023).
Grafana	Avoimen lähdekoodin alusta järjestelmätiedon ja mittausdatan visualisointiin (Grafana Labs 2024).
IMO	International Maritime Organization, YK:n alainen kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO 2020).
InfluxDB	Aikajanasarjatietokanta reaaliaikaisen järjestelmätiedon tallentamiseen ja hakemiseen (InfluxData 2024).
NMEA	National Marine Electronics Association, merenkulun datastandardien kehittäjä (NMEA 2023).
REST	Representational State Transfer, verkkosovellusten ohjelmointirajapintojen suunnitteluperiaate (Fielding 2000).
Raspberry Pi	Pieni ja edullinen yksilevyinen tietokone opetukseen ja harrastukseen (Raspberry Pi Foundation 2025).
SAR	Search and Rescue, etsintä- ja pelastustoiminta, erityisesti meri- ja ilmailukonteksteissa (IMO 2020).
Signal K	Avoin tiedonsiirtoprotokolla veneily- ja merenkulkukäyttöön, tukee NMEA-standardeja (Signal K 2024).
SMPS	Suomen Meripelastusseura ry, valtakunnallinen vapaaehtoisen meripelastuksen kattojärjestö (SMPS 2023).
Stormwind	Kemiönsaaren Meripelastajien käyttämä koulutussimulaattori, joka perustuu Stormwind-navigointisimulaattoriohjelmistoon (Forsbom 2025).

TRA	Transport Research Arena, Euroopan suurin liikenteen tutkimusfoorumi (TRA 2022).
WebSocket	Viestintäprotokolla, joka mahdollistaa kaksisuuntaisen viestinnän selaimen ja palvelimen välillä (IETF 2011)
CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu, jota käytetään erityisesti teknisessä piirustuksessa ja 3D-mallinnuksessa (ISO 2020).
RPM	Revolutions Per Minute, kierrosta minuutissa, käytetään pyörimisnopeuden mittayksikkönä mekaanisissa ja sähköisissä järjestelmissä (ISO 2019).
Joystick	Ohjainlaite, jota käytetään suunta- ja liiketiedon syöttämiseen erityisesti simulaattoreissa, peleissä ja laiteohjauksessa (Oxford English Dictionary 2024).
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta, joka mahdollistaa sovellusten ja palveluiden välisen tiedonvaihdon (Fielding 2000).
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, internetin ydinkommunikaatioprotokollien kokonaisuus, joka mahdollistaa tietoliikenteen eri verkkojen välillä (IETF 1981).
USB	Universal Serial Bus, standardoitu sarjaliitäntä tietokoneiden ja oheislaitteiden väliseen tiedonsiirtoon ja virtasyöttöön (USB-IF 2021).
HID	Human Interface Device, USB-laiteluokka, jota käytetään ihmisen ja tietokoneen välisiin syöttölaitteisiin, kuten näppäimistöihin ja hiiriin (USB-IF 2021).
Potentiometri	Sähköinen vastuselementti, jonka resistanssia voidaan säätää mekaanisesti, käytetään esimerkiksi signaalin säätöön tai ohjaustuloihin (Oxford English Dictionary 2024).
Data	Tietoa, joka on kerätty, mitattu tai tallennettu analysoitavaksi tai käsiteltäväksi tietojärjestelmissä (ISO/IEC 2382 2015).

GPS	Global Positioning System, yhdysvaltalainen satelliittinavigointijärjestelmä, joka mahdollistaa tarkan sijainnin määrittämisen maapallolla (US Department of Defense 2023).
Simulaattori	Laitteisto tai ohjelmisto, joka jäljittelee todellista järjestelmää tai ilmiötä harjoittelua, testausta tai tutkimusta varten (ISO 2012).
Pedagogiikka	Kasvatustiede, joka tutkii opettamisen ja oppimisen periaatteita, menetelmiä ja käytäntöjä (Finnish National Agency for Education 2023).
JSON	JavaScript Object Notation, kevyt tiedonvaihtoformaatti, jota käytetään yleisesti tietojen siirrossa ja tallennuksessa (Crockford 2006).
3D	Kolmiulotteinen, esitys tai malli, joka sisältää kolme ulottuvuutta: leveyden, korkeuden ja syvyyden (Oxford English Dictionary 2024).
Rajapinta	Järjestelmän tai ohjelmiston osa, jonka kautta eri osat tai järjestelmät voivat kommunikoida ja vaihtaa tietoa (Heikkilä 2022).
Käyttöliittymä	Käyttäjän ja tietojärjestelmän välinen rajapinta, jonka kautta käyttäjä voi antaa käskyjä ja vastaanottaa tietoa (Nielsen 2023).
Visualisointi	Tietojen tai ilmiöiden esittäminen kuvallisesti, usein graafien, kaavioiden tai muiden visuaalisten elementtien avulla (Tufte 2001).
Tietokanta	Järjestelmä, joka mahdollistaa tietojen järjestelmällisen tallennuksen, haun ja hallinnan (ISO/IEC 2382 2015).

# 1 Johdanto

Vapaaehtoinen meripelastustoiminta on olennainen osa Suomen meriturvallisuuden kokonaistoimintaa. Suomen Meripelastusseura ry (SMPS) ja sen jäsenyhdistykset muodostavat valtakunnallisen verkoston, joka osallistuu vuosittain tuhansiin pelastus- ja avustustehtäviin merialueilla ja sisävesillä. Tehtävien hoitaminen vaatii korkeatasoista koulutusta, jossa korostuvat turvallisuus, saavutettavuus, toistettavuus sekä resurssien tehokas hyödyntäminen. (Suomen Meripelastusseura ry, 2025.)

Tämän opinnäytetyön aihe on syntynyt käytännön tarpeesta kehittää nykyaikaisia, tehokkaita koulutusratkaisuja meripelastustoimintaan. Työ on toteutettu toimeksiantona keskusjärjestön jäsenyhdistyksenä toimivalle Kemiönsaaren Meripelastajat ry:lle ja sen tavoitteena on tukea yhdistyksen koulustoittoa kehittämällä teknisesti monipuolinen ja pedagogisesti vaikuttava lisäosa koulutussimulaattoriin. Tämän vikasimulaattorin avulla voidaan harjoitella kriittisiä meripelastustilanteita turvallisesti, toistettavasti ja kustannustehokkaasti ilman operatiivisen kaluston tai sääolosuhteiden rajoitteita.

Viranomaistahot ja yhteiskunta odottavat yhä enemmän vapaaehtoistoimijoilta kriisitilanteissa. Esimerkiksi pelastustoimen kehittämissuunnitelmassa korostetaan vapaaehtoistoiminnan roolin vahvistamista ja sen koulutuksellista kehittämistä (Sisäministeriö, 2022). Teknologian hyödyntäminen, erityisesti simulaatiopohjaisessa oppimisessä, tarjoaa tähän selkeän mahdollisuuden. Vaikka simulaattoreita on pitkään hyödynnetty kaupallisessa merenkulussa, niin niiden käyttö vapaaehtoispuolella on toistaiseksi vähäistä (Dewan et al., 2023). Simulaattoripohjaisen koulutuksen edut ovat selkeät: se mahdollistaa virheistä oppimisen ilman riskejä, harjoitusten toistamisen sääolosuhteista riippumatta sekä resurssien säästämisen. Samalla koulutuksen saavutettavuus paranee, kun oppimisympäristö voidaan tuoda lähemmäksi harjoittelijoita digitaalisessa muodossa.

Tässä työssä käsitellään koulutussimulaattorin suunnittelu- ja toteutusvaiheita sekä painotetaan erityisesti reaaliaikaisen datan visualisointia ja fyysisen joystick-ohjauksen rakentamista. Työn tekniset ja pedagogiset ratkaisut esitellään vaiheittain ja niiden merkitystä koulutukselliselle vaikuttavuudelle arvioidaan. Vaikka käyttäjätestauksia ei aikataulun puitteissa ehditty toteuttaa, niiden potentiaali nostetaan esiin jatkokehityksen yhteydessä. Työn tuloksena syntyneestä kokonaisuudesta on konkreettista hyötyä Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n koulutustoiminnalle ja se toimii samalla käytännön esimerkkinä myös muille Suomen Meripelastusseuran jäsenyhdistyksille.

## 2 Toimintaympäristö ja lähtökohdat

### 2.1 Kemiönsaaren Meripelastajat ry

Kemiönsaaren Meripelastajat ry toimii Lounais-Suomen saaristossa ja on osa Suomen Meripelastusseuraa (SMPS), joka koordinoi vapaaehtoisten meripelastajien valtakunnallista verkostoa. Yhdistys on perustettu vuonna 2015 ja se on nopeasti vakiinnuttanut asemansa aktiivisena sekä innovatiivisena toimijana. Toiminta perustuu täysin vapaaehtoisuuteen. (Kemiönsaaren Meripelastajat, 2023a.)

Kuvassa 1 on yhdistyksen operatiiviseen kalustoon kuuluva SAR-luokan pelastusalus PV Mona, joka on varustettu nykyaikaisilla navigointi- ja viestintälaitteilla. Yhdistyksen jäsenet ylläpitävät valmiutta säännöllisillä harjoituksilla ja koulutuksilla ympäri vuoden, erityisesti kesäkaudella. Harjoituksissa painotetaan aluksen ohjaustaitoja, navigointiosaamista, ensiapua ja meripelastustoimintaa. (Suomen Meripelastusseura ry, 2025.)



Kuva 1. Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n alus PV Mona (Kemiönsaaren Meripelastajat, 2023b).

## 2.2 Koulutustoiminnan nykytila ja haasteet

Koulutustoiminta on yhdistyksen ydintoimintaa ja olennainen osa valmiuden ylläpitoa. Käytännön harjoitukset merellä ovat koulutuksen peruspilari, mutta niiden toteuttaminen on ajoittain haasteellista sääolosuhteiden, kaluston huoltotarpeiden ja resurssien rajallisuuden vuoksi. (Suomen Meripelastusseura ry, 2025.)

Näihin haasteisiin vastaamiseksi yhdistyksellä on käytössä Stormwind-niminen koulutussimulaattori, joka mahdollistaa navigoinnin, aluksen ohjaamisen ja viestinnän harjoittelun turvallisessa ympäristössä. Kuvassa 2 oleva Stormwind mahdollistaa skaalautuvan ja ajasta riippumattoman harjoitteluympäristön, mikä parantaa koulutuksen saavutettavuutta erityisesti uusien vapaaehtoisten meripelastajien perehdytyksessä. (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025.)



Kuva 2. Stormwind-simulaattori Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n koulutustiloissa.

Kuitenkin nykyisessä muodossaan Stormwind rajoittuu pääosin navigointi- ja ohjausharjoituksiin eikä se tue teknisten vikojen tai hätätilanteiden realistista simulointia. Tämä on tunnistettu merkittäväksi kehityskohdaksi, koska nykyaikainen meripelastuskoulutus edellyttää myös poikkeustilanteiden hallintataitojen harjoittelua turvallisissa olosuhteissa. (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025.)

### **2.3 Simulaattorikoulutuksen tarve ja jatkokehityksen tavoitteet**

Stormwindin jatkokehittäminen teknisten vikojen ja hätätilanteiden simulointiin on tunnistettu keskeiseksi strategiseksi tavoitteeksi. Tekniset vikatilanteet, kuten moottorihäiriöt, navigointilaitteiden toimintahäiriöt tai sähköjärjestelmän viat ovat kaikissa aluskategoriassa toistuvia riskitekijöitä meripelastustilanteissa. Näiden hallinta vaatii systemaattista harjoittelua. (European Maritime Safety Agency, 2022.)

Tämän työn tavoitteena on suunnitella ja tehdä kehitysmalli, jolla Stormwind-simulaattoriin integroidaan vikatoimintojen simulointi. Kehitettävät ominaisuudet sisältävät muun muassa vikatilanteiden visuaaliset ja auditiiviset hälytykset, koulutettavien toimintavaihtoehdot ja kouluttajan mahdollisuuden skenaariomuokkaukseen.

Lisäksi siinä huomioidaan ekologinen ja taloudellinen näkökulma: simulaattoriharjoitukset säästävät polttoainetta, vähentävät veneiden kulumista ja mahdollistavat tehokkaan resurssienhallinnan (Trafi, 2013). Tavoitteena on, että kehitetty järjestelmä tarjoaa entistä laajempia ja realistisempia oppimismahdollisuuksia vapaaehtoisille meripelastajille.

## 3 Simulaattorin merkitys

### 3.1 Simulaattorin pedagoginen merkitys

Simulaattoripohjainen koulutus on osoittautunut erittäin vaikuttavaksi tavaksi kehittää meripelastustehtävissä tarvittavia taitoja turvallisesti ja systemaattisesti. Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n kehittämä simulaattori tarjoaa koulutusympäristön, jossa voidaan toteuttaa realistisia skenaarioita ilman riskiä henkilövahingoista tai operatiivisen kaluston rasitusta. Tämä mahdollistaa koulutuksen järjestämisen myös sellaisissa olosuhteissa, joissa sääolosuhteet, kaluston saatavuus tai aikataululliset tekijät estäisivät merellä tapahtuvat harjoitukset. (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025.)

Pedagoginen merkitys korostuu erityisesti virheiden tekemisen turvallisuudessa. Simulaattorissa koulutettavat voivat kokeilla erilaisia toimintamalleja, tehdä virheitä ja oppia niistä ilman konkreettista vaaraa. Kouluttajat voivat seurata suorituksia reaaliaikaisesti ja antaa välitöntä, yksityiskohtaista palautetta hyödyntäen simulaattorin keräämää dataa. Visualisoinnin ja fyysisen vuorovaikutuksen avulla harjoittelijat voivat havainnoida ja kokea tekojensa seuraukset käytännössä, mikä tukee syvempää oppimista (Karahalil, Lützhöft & Scanlan, 2023).

Toimeksiannon (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025) perusteella erityisesti uusien vapaaehtoisten kouluttaminen simulaattorin avulla on parantanut oppimistuloksia ja lisännyt vapaaehtoisten sitoutumista toimintaan. Simulaattori madaltaa koulutuksen aloituskynnystä antamalla mahdollisuuden järjestelmiin ja toimintatapoihin tutustumiseen turvallisessa ja ohjatussa ympäristössä ennen todellisia tehtäviä. Tämä valmistaa vapaaehtoisia tehokkaammin meripelastustoimintaan ja parantaa toiminnan turvallisuutta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että simulaattori toimii pedagogisena välineenä, joka mahdollistaa oppimisen syventämisen, turvallisuuden lisäämisen ja yksilöllisen kehittymisen tukemisen meripelastustoiminnassa.

### 3.2 Simulaattorin ekologinen merkitys

Simulaattoripohjainen koulutus tukee ekologista kestävyyttä monipuolisesti ja merkittäväällä tavalla. Perinteinen meripelastusharjoittelu vaatii usein alusten ja moottorikäyttöisten välineiden intensiivistä käyttöä, mikä johtaa suoraan polttoaineenkulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen. Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO, 2020) mukaan meriliikenteen aiheuttamat päästöt muodostavat huomattavan osan maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä ja näiden päästöjen vähentäminen on keskeinen tavoite myös koulutus- ja harjoitustoiminnassa. Simulaattorin avulla koulutustoiminta voidaan osittain siirtää digitaaliseen ympäristöön, jossa harjoittelu ei edellytä polttomoottorikäyttöisten alusten käyttöä, mikä vähentää välittömästi polttoaineen kulutusta sekä hiilidioksidi- ja typpioksidipäästöjä.

Simulaattoripohjainen koulutus vähentää myös epäsuoraa ympäristökuormitusta. Perinteiset harjoitukset merellä vaativat kaluston huoltoa, varaosia ja infrastruktuurin ylläpitoa, joiden tuotanto- ja käyttöprosesseissa syntyy ympäristöhaittoja (Trafi, 2013). Digitaalinen koulutus vähentää näitä tarpeita merkittävästi, mikä tukee kiertotalouden ja materiaalitehokkuuden edistämistä. Samalla simulaattorin käyttö vähentää fyysisten harjoitusten aiheuttamaa häiriötä herkillä rannikko- ja merialueilla. Vesistöissä tapahtuvat harjoitukset voivat esimerkiksi aiheuttaa melusaastetta, polttoainevuotoja tai fyysisiä vaurioita ekosysteemeille (Bakouni, 2025). Simulaattoriharjoitusten avulla voidaan minimoida nämä vaikutukset ja suojella luonnon monimuotoisuutta.

Ekologinen kestävyys liittyy myös ilmastopoliittisiin tavoitteisiin. Euroopan komission (2020) julkaisemassa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa korostetaan, että kaikilla sektoreilla on edistettävä vähäpäästöisiä, energiatehokkaita ja resurssiviisaita toimintamalleja. Simulaattorikoulutuksen

kehittäminen ja käyttö meripelastustoiminnassa vastaa tähän tavoitteeseen konkreettisella tavalla. Se osoittaa, että myös vapaaehtoisjärjestöt voivat aktiivisesti osallistua ilmastonmuutoksen torjuntaan ja kestävän kehityksen edistämiseen.

Lisäksi simulaattorikoulutus tukee sosiaalista kestävyyttä tarjoamalla koulutusmahdollisuuksia laajemmalle joukolle osallistujia. Simulaattori mahdollistaa harjoittelun myös niille henkilöille, joilla ei ole aiempaa kokemusta vesillä liikkumisesta tai jotka eivät fyysisistä, taloudellisista tai muista syistä pääse osallistumaan käytännön harjoituksiin. Tämä lisää yhdenvertaisuutta koulutustoiminnassa ja vahvistaa vapaaehtoisorganisaation osaamis pohjaa. (de Oliveira et al., 2022.)

Yhteenvetona voidaan todeta, että simulaattoripohjainen koulutus edistää ekologista kestävyyttä laaja-alaisesti vähentämällä sekä suoria että epäsuoria päästöjä, säästämällä luonnonvaroja, suojelemalla herkkiä meriympäristöjä ja tukemalla sosiaalista kestävyyttä. Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n kehittämä simulaattoriratkaisu on esimerkki nykyaikaisesta, vastuullisesta ja kestävästä tavasta yhdistää operatiivinen tehokkuus ja ympäristövastuu meripelastustoiminnassa. (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025.)

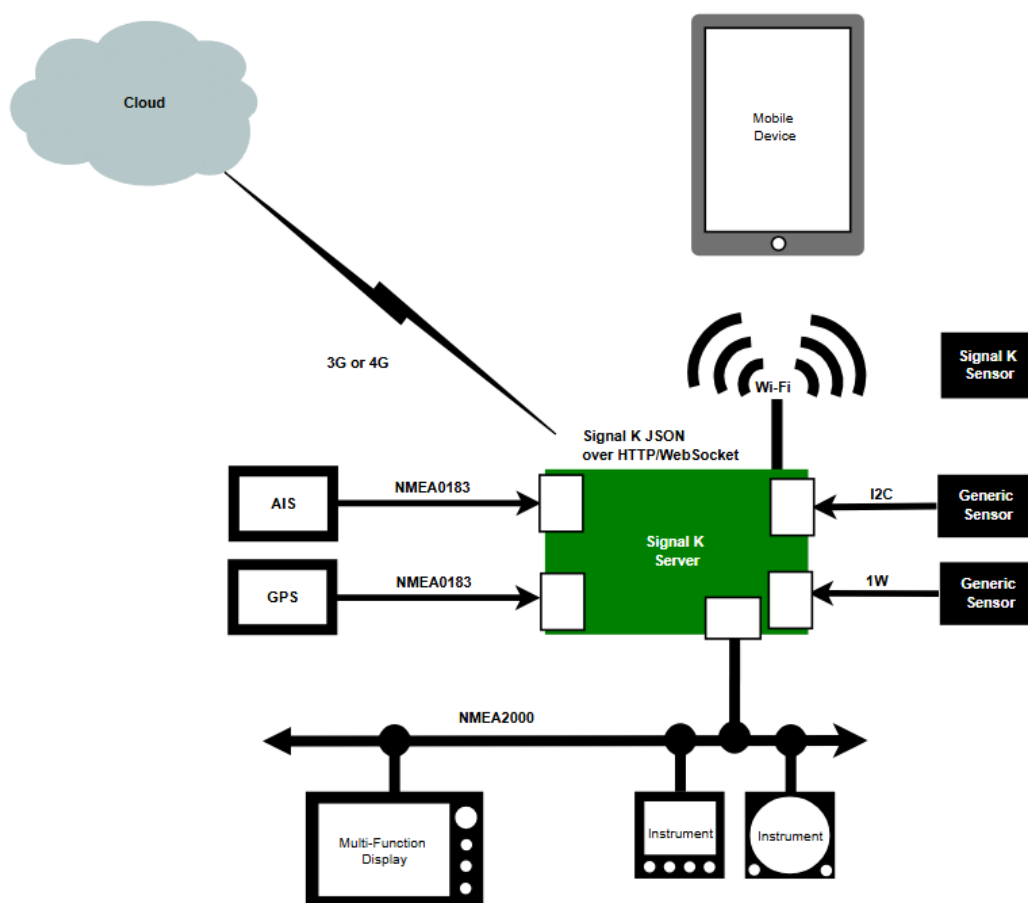
## 4 Datan visualisointi

### 4.1 Signal K -järjestelmä ja sen rooli simulaattorissa

Signal K on moderni, avoimen lähdekoodin tiedonsiirtoprotokolla, joka on kehitetty erityisesti veneily- ja merenkulkusovellusten tarpeisiin. Sen tavoitteena on yhdistää eri järjestelmät yhteiseen laajennettavaan tietomalliin, joka tukee niin perinteisiä järjestelmästandardeja, kuten NMEA 0183 ja NMEA 2000, kuin uusia verkkopohjaisia ja reaaliaikaisia tiedonvälitystapoja. Signal K hyödyntää JSON-formaattia, minkä ansiosta tiedot ovat helposti luettavissa ja käsiteltävissä verkkoselaimilla, mobiililaitteilla ja ohjelmointirajapinnoilla. (Signal K Project, 2024.)

Protokollan keskeinen etu on sen joustava arkkitehtuuri ja avoimuus, jotka mahdollistavat tiedon vastaanoton ja lähetyksen useista lähteistä, kuten GPS-laitteista, moottorinohjausyksiköistä, akkuseurannasta ja ympäristöantureista. Signal K -järjestelmä tukee sekä REST API -rajapintoja että WebSocket-tekniikkaa, mikä mahdollistaa sekä historiatiedon haun että reaaliaikaisen tiedonsiirron eri käyttöliittymiin. (Signal K Project, 2024.)

Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n Stormwind-simulaattorissa Signal K toimii keskeisenä tiedonvälityskerrostumana. Järjestelmän kautta kulkee joystickin ja muiden ohjauslaitteiden tuottamaa dataa, joka siirretään edelleen simulaattorin käyttöliittymiin. Signal K toimii paikallisesti asennetun palvelimen kautta, joka yhdistää eri tietolähteet TCP/IP-verkossa ja mahdollistaa tietojen edelleenjakamisen myös mobiililaitteille ja selainpohjaisiin näkymiin. Kuvassa 3 on esitetty Signal K -järjestelmän toimintaperiaate, jossa nähdään keskeiset yhteydet eri antureiden, NMEA-laitteiden ja verkkorajapintojen välillä.



Kuva 3. Signal K toimintaperiaate (Signal K, 2024).

Toimeksiannon (Kemiönsaaren Meripelastajat ry, 2025) mukaan yksi keskeisimmistä syistä Signal K:n käyttöönottoon oli sen erinomainen yhteensopivuus eri laitteiden ja standardien kanssa sekä sen tarjoama joustavuus järjestelmän jatkokehityksessä. Signal K:n dokumentointi ja aktiivinen kehittäjäyhteisö mahdollistavat nopean käyttöönoton ja jatkuvan tuen erityisesti avoimen lähdekoodin projekteissa.

Signal K -palvelin toteutettiin paikallisesti Raspberry Pi -alustalle, mikä mahdollistaa edullisen ja helposti muokattavan ratkaisun simulaattorin tarpeisiin. Kuvassa 4 on esitetty käytetty Raspberry Pi -laitteisto, johon palvelinympäristö asennettiin.



Kuva 4. Raspberry Pi 5 -mikrotietokone, johon Signal K -palvelin asennettiin.

Raspberry Pi 5 valittiin Signal K -palvelimen alustaksi sen suorituskyvyn, muokattavuuden ja kustannustehokkuuden vuoksi. Kompaktin kokonsa ansiosta se soveltuu hyvin osaksi simulaattoriympäristöä, jossa tilankäyttö ja helppo asennettavuus ovat keskeisiä vaatimuksia. Laitteen tuki avoimen lähdekoodin ohjelmistoille sekä aktiivinen käyttäjäyhteisö tukevat kehitystyötä ja mahdollistavat järjestelmän jatkokehittämisen tarpeiden mukaan (Raspberry Pi Ltd., 2025).

## 4.2 Visualisoinnin tekninen toteutus ja käytettävyys

Visualisointiratkaisu toteutettiin hyödyntämällä Signal K -järjestelmän tarjoamia REST- ja WebSocket-rajapintoja, joiden kautta reaaliaikaista dataa voidaan hakea ja esittää graafisesti. Tiedon tallennusta varten järjestelmään liitettiin InfluxDB, joka on ajalliseen dataan optimoitu tietokanta. Se mahdollistaa suurella tarkkuudella kirjattujen aikaleimattujen tietojen tehokkaan tallennuksen ja haun, ja soveltuu erityisesti sensori- ja telemetriatiedon analysointiin. Signal K -palvelimelta kerättävä tieto siirtyy InfluxDB-tietokantaan ajastetusti ja säilyy

myöhempää analysointia varten esimerkiksi koulutuksen arvioinnissa.  
(InfluxData, 2024.)

Datan esittämistä varten käytettiin Grafanaa, joka toimii järjestelmän graafisena käyttöliittymänä. Grafana on avoimen lähdekoodin työkalu, joka tukee useita tietokantalähteitä ja tarjoaa joustavan tavan luoda hallintapaneelleja, joissa tiedot voidaan esittää mittareina, taulukoina ja reaaliaikaisina kaavioina. Grafanan avulla simulaattorin tila voidaan visualisoida selkeästi sekä nopeasti ja se mahdollistaa myös useiden eri näkymien rakentamisen eri käyttäjäryhmille. (Grafana Labs, 2024.)

Toteutuksen lähtökohtana oli kehittää intuitiivinen ja informatiivinen käyttöliittymä, joka tarjoaa kouluttajille ja oppijoille selkeän tilannekuvan simulaattorin toiminnasta. Näkymiin sisällytettiin muun muassa moottorin kierroslukumittarit, akun varaustasot, karttapohjainen sijainti, polttoaineen kulutus sekä mahdolliset häiriö- ja vikailmoitukset. Grafana mahdollistaa näiden elementtien yhdistämisen yhdeksi dynaamiseksi näkymäksi, joka mukautuu eri simulaatiotilanteisiin. Lisäksi järjestelmässä on valmius laajentaa visualisointeja muun muassa teknisten vikojen ja hälytysten esittämiseen, mikä tukee järjestelmän jatkokehitystä ja pedagogista käyttöä.

Käyttöliittymän suunnittelussa painotettiin selkeyttä, skaalautuvuutta ja nopeaa reagointia kriittisiin tilanteisiin. Esimerkiksi värikoodatut hälytykset ja tilamuutokset parantavat koulutettavien kykyä havaita ja reagoida muuttuviin olosuhteisiin. Visuaaliset vihjeet, kuten nopeusnäyttöjen muutokset ja karttapohjan reaaliaikaiset päivitykset, tukevat tilannetietoisuuden kehittymistä ja helpottavat oppimista simuloituissa hätä- ja häiriötilanteissa (Sellberg & Wiig, 2024).

Visualisoinnin lopputulos on nähtävissä Grafana-käyttöliittymässä, jossa simulaattorin mittauservot esitetään visuaalisesti helposti tulkittavassa muodossa. Kuvassa 5 nähdään esimerkinäkymä, jossa käyttäjälle esitetään muun muassa kurssisuunta, moottorin kierrosluku, nopeus, lämpötila sekä öljy- ja ahtopaineet.



Kuva 5. Grafana-dashboardin käyttöliittymä.

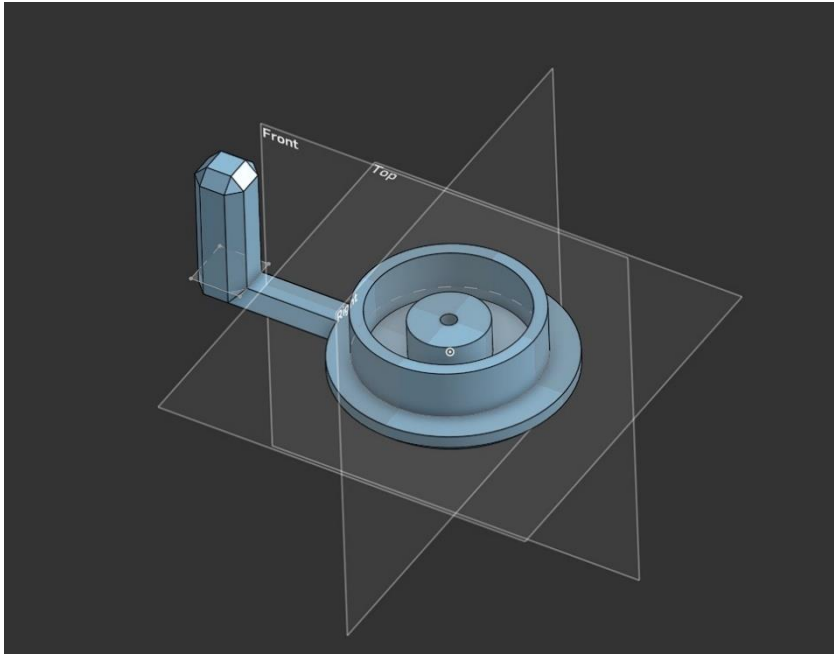
Dashboardsissa esitetyt mittarit tarjoavat visuaalisesti selkeän kokonaisuuden, joka helpottaa keskeisten parametrien seurantaan yhdellä silmäyksellä. Värilliset mittaripinnat ohjaavat käyttäjän huomiota mahdollisiin poikkeamiin ja auttavat priorisoimaan toimenpiteitä. Tämä tukee turvallista ja hallittua toimintaa simulaatioympäristössä.

## 5 Joystick- komponentin toteutus

### 5.1 Laitteiston rakenne ja valitut teknologiat

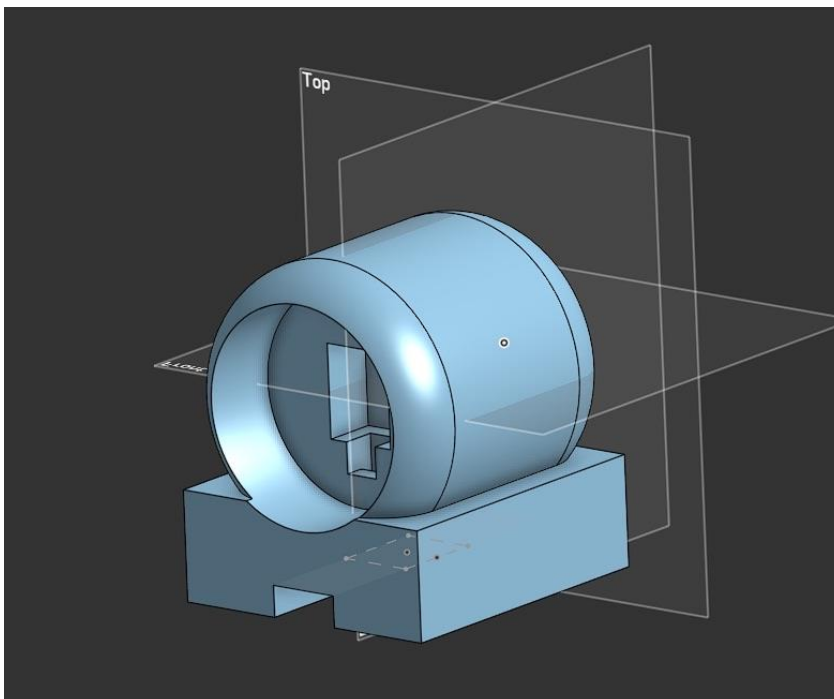
Joystick-komponentin kehittäminen oli keskeinen osa simulaattorin kehitystyötä, sillä fyysisen ohjauksen lisääminen nostaa koulutuksen realistisuutta ja immersiota merkittävästi. Kemiönsaaren Meripelastajat ry:lle tehdyssä työssä joystick ei ole kaupallisesti hankittu valmisohjain, vaan se on suunniteltu ja rakennettu täysin itse yhdistyksen tarpeisiin. Rakenteellinen ja toiminnallinen lähtökohta pohjautui yhdistyksen omassa käytössä olevan pelastusveneeseen ohjauslaitteistoon, mukaan lukien kauhan suunnanvaihtomekanismi sekä lineaarisesti säädettävä kierrosnopeus.

Ohjaimen kaikki mekaaniset osat suunniteltiin 3D-mallinnuksena käyttäen Onshape CAD -ohjelmistoa, joka mahdollisti yksittäisten komponenttien tarkan muotoilun ja kokoamisen virtuaalisesti ennen fyysistä toteutusta. Kuvassa 6 on esitetty RPM-säätövivun rakenne, jossa näkyy keskiakselin holkki ja vivun nivelöity liikevarsi. Kuvassa 7 nähdään joystickin runko-osa, johon asennetaan akselit ja potentiometrit. Kuvassa 8 on kotelon pohja, joka toimii elektroniikan ja mikrokontrollerin asennusalustana. Lisäksi kuvassa 9 näkyy kauhan ohjaukseen tarkoitettu vivusto, joka toimii toisena säätöakselina.



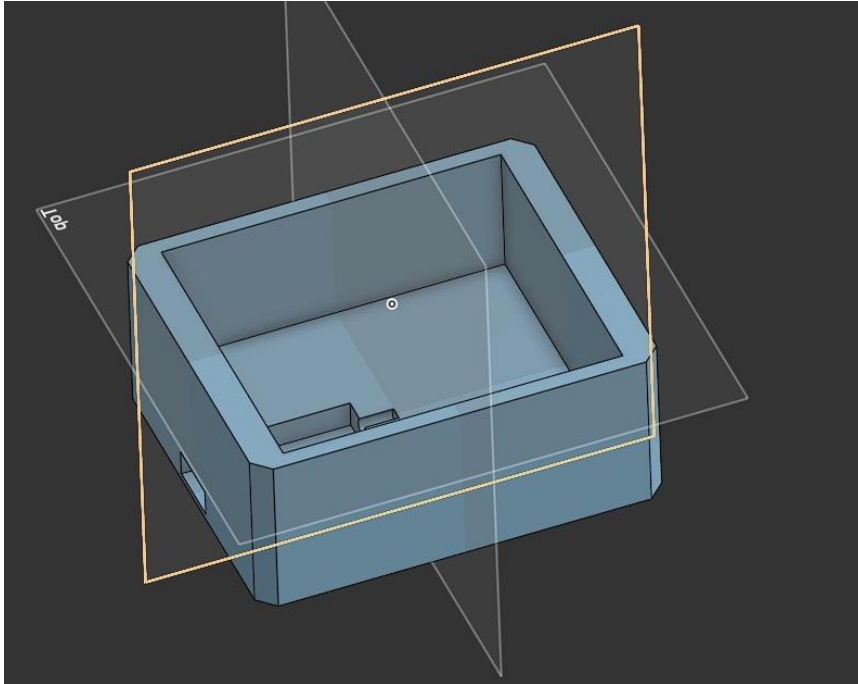
Kuva 6. RPM-vipu mallinnettuna 3D-ohjelmassa akseli kiinnityksineen.

3D-mallinnettu RPM-vipu asetetaan suoraan potentiometrin 3 mm akselille. Rakenne mahdollistaa käyttäjän liikkeiden tarkan siirtymisen simulaattorille ohjauskomentoina, joka mahdollistaa tarkan moottorin kierroslukujen säätelyn.



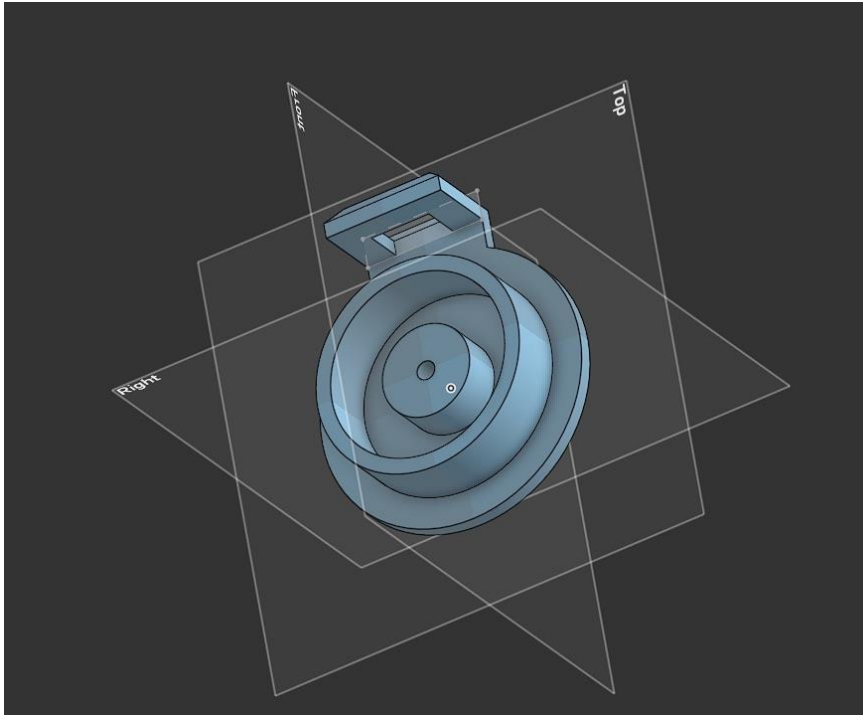
Kuva 7. Joystickin runko-osa, johon säätövivut ja anturit asennetaan.

Joystickin runko-osa on 3D-mallinnettu sylinterimäiseksi, jäljitellen aidon ohjausyksikön rakennetta. Osaan kiinnitetään säätövivut ja anturit, ja sen muoto mahdollistaa tarkat asetellut sekä liikkeen sujuvuuden, joka tukee realistista ohjaustuntumaa simulaattorissa.



Kuva 8. Kotelon pohja, joka sisältää tilat elektroniikalle ja liitännöille.

Kotelon pohjaosa on suunniteltu sisältämään ohjaimen elektroniikka- ja liitännäkomponentit. Rakenne mahdollistaa rungon irrottamisen ja pohjan avaamisen, jolloin sisäisiin komponentteihin pääsee helposti käsiksi huoltoon, säätöön tai jatkokehitystä varten. Tilankäyttö ja mitoitus tukevat selkeää johdotusta ja turvallista asennusta.



Kuva 9. Kauhan ohjaukseen tarkoitettu vipu.

Fysiikkaan perustuva toiminnallisuus toteutettiin yksinomaan 3D-tulostetuilla muovikomponenteilla. Liikkeiden rajoittaminen ja vakaus saavutettiin suunnittelemalla tarkat geometriset muodot ja mekaaniset ääriajat suoraan osien rakenteeseen. Tulostustyöt teetettiin ulkopuolisella palveluntarjoajalla, koska yhdistyksellä ei ollut omaa tulostuskalustoa käytettävissä. Muotoilussa kiinnitettiin huomiota käytettävyyteen, kuten vipujen ergonomiaan, osien vaihdettavuuteen ja johdotuksen sijoitteluun. Lopullinen rakenne oli yhteensopiva Arduino Micro -alustan ja standardien 10 k $\Omega$ :n potentiometrien kanssa, mikä mahdollisti helpon liitettävyyden ohjausjärjestelmään. Kuvassa 10 näkyy valmiiksi koottu joystick-kokonaisuus.



Kuva 10. Valmis joystick-laite koottuna ja käyttövalmiina.

## 5.2 Ohjelmointi ja elektroniikkakomponentit

Joystickin tuottamien analogisten signaalien tulkinta toteutettiin Arduino-ohjelmoinnin avulla. Arduino Micro -mikrokontrolleri lukee kahden potentiometrin välittämät jännitearvot, jotka vastaavat vivun fyysistä asentoa X- ja Y-suunnassa. Näiden perusteella laite tuottaa digitaalisia ohjaussignaaleja, jotka välitetään edelleen simulaattorille HID-protokollan mukaisesti. Arduino Micro valittiin sen pienikokoisuuden ja natiivin USB-tuen vuoksi, jonka ansiosta se voidaan tunnistaa tietokoneella suoraan ohjauslaitteena ilman ulkoisia ajureita. Kuvassa 11 on esitetty mikrokontrolleri osana laitteen kokoonpanoa.



Kuva 11. Lähikuva Arduino Micro -mikrokontrollerista.

Joystickin fyysinen rakenne perustuu kahteen pyörivään 10 k $\Omega$ :n potentiometriin, joiden sähköinen kulma on noin 270 astetta. Käytännössä joystickin mekaaninen liikerata rajoittuu noin 180 asteeseen, jolloin koko potentiometrin sähköinen kapasiteetti ei ole käytössä. Tämän vuoksi Arduino-koodissa hyödynnettiin map()- ja constrain()-funktioita, joiden avulla käytössä oleva fyysinen liikealue skaalataan ohjelmallisesti täydeksi digitaaliseksi ohjausalueeksi (0–1023). Kuvassa 12 esitetty Arduino-koodi sisältää arvonskaalauksen, jolla kompensoidaan potentiometriä rajoittava fyysinen liikerata. Tämä mahdollistaa koko säätöalueen hyödyntämisen ohjelmallisesti, vaikka mekaaninen liike ei kattaisikaan koko potentiometrin sähköistä aluetta.

```
Joystick_codefile.ino
1  #include <Joystick.h>
2
3  Joystick_ Joystick;
4
5  const int rpmMin = 180;
6  const int rpmMax = 820;
7
8  const int bucketMin = 300;
9  const int bucketMax = 650;
10
11 void setup() {
12   Joystick.begin();
13   Serial.begin(9600);
14 }
15
16 void loop() {
17   int rawRpm = analogRead(A1);
18   int rawBucket = analogRead(A3);
19
20   int rpm = map(rawRpm, rpmMin, rpmMax, 1023, 0);
21   int bucket = map(rawBucket, bucketMin, bucketMax, 0, 1023);
22
23   rpm = constrain(rpm, 0, 1023);
24   bucket = constrain(bucket, 0, 1023);
25
26   Serial.print("RPM : ");
27   Serial.print(rpm);
28   Serial.print(" | Reverse bucket: ");
29   Serial.println(bucket);
30
31   Joystick.setXAxis(rpm);
32   Joystick.setYAxis(bucket);
33
34   delay(100);
35 }
36
37
```

Kuva 12. Kuva Arduino-ohjelman koodista.

Lisäksi ohjelmassa on myös huomioitu ohjauslogiikan suunnanmuutos. RPM-toiminnon arvojen suunta on käännetty siten, että vivun työntäminen ylöspäin kasvattaa kierroslukua. Tämä tekee käytöstä intuitiivisempaa ja vastaa paremmin käyttäjän odotuksia simulaattoriympäristössä. Bucket-toiminto puolestaan säilyttää suoran skaalaus suunnan.

Arduino toimii vuorovaikutuksessa simulaattorihjelmiston kanssa niin, että joystickin fyysinen liike muunnetaan reaaliaikaisesti moottorin kierrosluvun, ajosuunnan tai muiden parametrien säätämiseksi. Tämä mahdollistaa aidontuntuisen ohjaukokemuksen esimerkiksi koulutuskäyttöön tarkoitetuissa simulaattoreissa. Tiedonsiirto tapahtuu suoraan simulaattoripalvelimelle, jossa avoimeen standardiin perustuva Signal K-alusta toimii tietoliikenteen vastaanottajana ja jatkokäsittelijänä. Signal K visualisoi vastaanotetut ohjaustiedot graafiseen käyttöliittymään, josta käyttäjä voi seurata simulaattorin tilaa reaaliajassa.

### **5.3 Käyttökokemukset ja kehitysehdotukset**

Valmis joystick-ratkaisu saatiin rakennettua, ohjelmoitua ja integroitua osaksi Stormwind-simulaattorin ohjausjärjestelmää suunnitellussa aikataulussa. Käytännön käyttökokemuksia ei kuitenkaan ehditty hankkimaan opinnäytetyön aikarajojen puitteissa eikä järjestelmällistä testausta tai simuloituja koulustilanteita ehditty toteuttaa. Tämän vuoksi myöskään käyttäjälähtöisiä kehitysehdotuksia ei saatu kerättyä systemaattisesti.

Toimeksiantajan, Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n antama palaute oli kuitenkin erittäin myönteistä. Erityisesti joystickin fyysinen toteutus ja sen istuvuus simulaattorin ohjausfilosofiaan sekä ohjelmallinen integraatio saivat kiitosta. Toimeksiantajan mukaan lopputulos oli huomattava parannus aiempaan ratkaisuun. Uusi ohjain vastaa selkeästi paremmin koulutuskäytön vaatimuksiin ja antaa realistisemmän hallintatuntuman.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Suomen Meripelastusseuran jäsenyhdistyksenä toimivan Kemiönsaaren Meripelastajat ry:n koulutussimulaattoria kahden osa-alueen kautta: datan visualisointi ja fyysinen joystick-ohjain. Tavoitteena oli tukea yhdistyksen koulutustoimintaa kehittämällä teknisesti monipuolinen ja pedagogisesti vaikuttava lisäosa koulutussimulaattoriin, joka parantaa simulaattorin käytettävyyttä ja oppimiskokemusta. Tämän lisäosan avulla voidaan harjoitella kriittisiä meripelastustilanteita turvallisesti, toistettavasti ja kustannustehokkaasti. Tarve simulaattorin kehittämiseen nousi esiin yhdistyksen omasta toiminnasta ja haastatteluissa, joissa korostui erityisesti käytettävyyden ja palautteenannon kehittäminen.

Visualisointiratkaisun avulla pyrittiin selkeyttämään simulaattorista saatavan järjestelmätiedon esittämistä. Signal K-protokollan ja Grafana-alustan avulla toteutettiin käyttöliittymä, jonka avulla voidaan seurata järjestelmän tilaa reaaliaikaisesti. Tämä auttaa koulutettavia ymmärtämään tilanteita paremmin ja tukee kouluttajaa palautteen antamisessa. Esimerkiksi moottorin tila, akuston varaus tai navigointijärjestelmien häiriöt voidaan nyt havaita yhdellä silmäyksellä.

Fyysisen joystick-ohjaimen rakentaminen toi simulaattoriin konkreettisen ohjauselementin, joka jäljittelee veneen todellista ohjausjärjestelmää. Laitteisto toteutettiin Raspberry Pi -alustalle ja sen avulla voidaan harjoitella esimerkiksi suunnan ja nopeuden säätelyä. Tämä tuo koulutukseen mukaan käytännön tuntuman, jota pelkällä näppäimistöllä tai hiirellä ei saa.

Kehitystyössä korostui myös se, kuinka simulaattorikoulutus tukee ekologista ja resurssitehokasta toimintaa. Simulaattorin avulla voidaan harjoitella ilman, että tarvitsee lähteä vesille, mikä säästää polttoainetta ja vähentää kaluston kulumista. Samalla simulaattori mahdollistaa virheistä oppimisen turvallisessa ympäristössä.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kokonaisuus, joka palvelee yhdistyksen koulutusta käytännössä ja jota voidaan soveltaa myös muissa meripelastusyhdistyksissä. Työ mahdollistaa, että paikallisesti kehitetyt ratkaisut voivat skaalautua Suomen Meripelastusseuran laajempaan käyttöön ja tukea vapaaehtoistoimintaa kestäväen kehityksen keinoin.

## Lähteet

Kemiönsaaren Meripelastajat ry (2025). Toimeksianto *projektin etenemisestä ja koulutustarpeista* [Henkilökohtainen tiedonanto]. Kemiönsaaren Meripelastajat ry.

Dewan, M. H., Godina, R., Chowdhury, M. R. K., Noor, C. W. M., Wan Nik, W. M. N., & Man, M. (2023). *Immersive and Non-Immersive Simulators for the Education and Training in Maritime Domain—A Review*. Journal of Marine Science and Engineering. [viitattu:2.6.2025] <https://doi.org/10.3390/jmse11010147>

Grafana Labs. (2024). *What is Grafana?* [viitattu:10.6.2025] <https://grafana.com/docs/grafana/latest/introduction/>

InfluxData. (2024). *InfluxDB documentation – Introduction to InfluxDB*. [viitattu:10.6.2025] <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/get-started/>

International Maritime Organization. (2018). *Model Course 3.24: Security Awareness Training for Port Facility Personnel with Designated Security Duties*. [viitattu:2.6.2025] <https://www.scribd.com/document/477124349/Model-Course-3-24-Security-Awareness-Training-for-Port-Facility-Personnel-With-Designated-Security-Duties-2018>

International Maritime Organization. (2020). *Fourth IMO GHG study 2020*. [viitattu:5.6.2025] <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/fourth-imo-greenhouse-gas-study-2020.aspx>

de Oliveira, R. P., Carim Junior, G., Pereira, B., Hunter, D., Drummond, J., & Andre, M. (2022). *Systematic Literature Review on the Fidelity of Maritime Simulator Training*. Education Sciences. [viitattu:2.6]. <https://doi.org/10.3390/educsci12110817>

Raspberry Pi Ltd. (2025). *Raspberry Pi 5: Product brief*. [viitattu:10.6.2025] <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi5/raspberry-pi-5-product-brief.pdf>

Sellberg, C., & Wiig, S. (2024). Toward multimodal learning analytics in simulation-based collaborative learning: A design ethnography of maritime training. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*. [viitattu:12.6.2025] <https://doi.org/10.1007/s11412-024-09435-2>

Signal K Project. (2024). *Signal K: Specification and API documentation*. [viitattu:10.6.2025] <https://signalk.org/specification/>

Bakouni, J.-E. (2025). *Sustainable development and simulation-based training in maritime*. [viitattu: 26.6.2025] <https://maersktraining.com/news-and-insights/news/sustainable-development-and-simulation-based-training-in-maritime>

Sisäministeriö. (2022). *Asetus pelastustoimen palvelutasopäätöksestä (1225/2022)*, 8 §. Finlex. [viitattu: 18.6.2025] <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20221225>

Suomen Meripelastusseura ry. (2025). *Koulutus*. [viitattu: 27.6.2025] <https://meripelastus.fi/toiminta/koulutus/>

Kemiönsaaren Meripelastajat (2023a). *Tietoa meistä*. [viitattu: 20.5.2025]  
<https://meripelastus.fi/kemionsaari/fi/kemionsaaren-meripelastajat/tietoa-meista/>

Kemiönsaaren Meripelastajat (2023b). *Alukset* [valokuva]. [viitattu:25.6.2025]  
osoitteesta <https://meripelastus.fi/kemionsaari/fi/toiminta/alukset/>

European Maritime Safety Agency. (2022). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2022*. [viitattu:2.6.2025] <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5052-annual-overview-of-marine-casualties-and-incident.html>

Trafi. (2013). *Liikenteen turvallisuuden ja ympäristövaikutusten synergiat ja vastakkainasettelut* (Trafin julkaisu 04/2013). Suomen Trafi. [viitattu: 4.6.2025]  
[https://www.traficom.fi/sites/default/files/11792-Trafin\\_julkaisu\\_04-2013\\_-\\_Liikenteen\\_turvallisuuden\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_synergiat\\_ja\\_vastakkainasettelut\\_2.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/11792-Trafin_julkaisu_04-2013_-_Liikenteen_turvallisuuden_ja_ymparistovaikutusten_synergiat_ja_vastakkainasettelut_2.pdf)

Euroopan komissio. (2020). *Euroopan vihreän kehityksen ohjelma*. [viitattu: 2.6.2025]  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>

Karahalil, M., Lützhöft, M., & Scanlan, J. (2023). *Formative assessment in maritime simulator-based higher education*. *WMU Journal of Maritime Affairs*. [viitattu: 20.6.2025] <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00313-6>