



M/S Tammerkosken sähköistys

Juuso Lahti

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

LAHTI, JUUSO:
M/S Tammerkosken sähköistys

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Kesäkuu 2021

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Suomen Hopealinja Oy, jonka päätoimiala on sisävesiristeilyt Tampereen Pyhäjärven ja Näsijärven vesistöissä. Opinnäytetyössä selvitettiin vaihtoehdot M/S Tammerkosken moottorien uusimiselle. Opinnäytetyössä selvitettiin, minkälaisia hybridijärjestelmiä tai täyssähköisiä järjestelmiä laivan polttomoottorien tilalle on mahdollista saada ja minkälaisia muutostöitä ne vaativat laivaan.

Opinnäytetyössä esitellään erilaiset täyssähköiset järjestelmät ja hybridiratkaisut sekä niiden toimittajat, vertaillaan eri järjestelmiä sekä selvitetään, mitä vaatimuksia laivan muuttaminen akkukäyttöiseksi toisi esimerkiksi turvallisuuden kannalta.

Suomen Hopealinjan oletetaan tekevän ratkaisu järjestelmätoimittajan suhteen kesällä 2021 ja laivan olisi tarkoitus liikennöidä joko täyssähköisenä tai hybridi-järjestelmällä varustettuna kesällä 2022.

Työn yhteydessä saatuja tarjouksia eri täyssähköisten järjestelmien ja hybridi-ratkaisujen hinnoista ei julkaista opinnäytetyössä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical and automation engineering
Power engineering

LAHTI, JUUSO:
Electrification of M/S Tammerkoski

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 2 pages
June 2021

The thesis was commissioned by Suomen Hopealinja Oy, an inland waterway cruises operator in the lakes Pyhäjärvi and Näsijärvi in Tampere. The purpose of the thesis was to find out the alternatives for the renewal of M/S Tammerkoski's engines. This thesis, investigated what kind of fully electric or hybrid systems could replace the ship's combustion engines and what kind of modifications new propulsion systems would require on the ship.

The thesis introduces different fully electric and hybrid solutions and their suppliers, compares different fully electric and hybrid systems, and determines requirements for converting a ship to battery-powered engine, for example, from a safety point of view.

Finnish Silver Lines are expected to decide the system supplier in the summer of 2021 and the ship is expected to be operated either fully electric or equipped with a hybrid system in the summer of 2022.

Received quotations for the hybrid and fully electric systems are not included in the public version of the thesis.

Key words: ship, renewable energy, hybrid, engine

SISÄLLYS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | SUOMEN HOPEALINJA OY JA M/S TAMMERKOSKI | 7 |
| | 2.1 Suomen Hopealinja Oy | 7 |
| | 2.2 M/S Tammerkosken perustiedot | 7 |
| 3 | JÄRJESTELMIEN TARKASTELU | 10 |
| | 3.1 Polttomoottoreiden uusiminen | 10 |
| | 3.2 Täyssähköinen järjestelmä | 11 |
| | 3.3 Sarjahybridi | 17 |
| | 3.4 Rinnakkaishybridi | 18 |
| | 3.5 Yhteenveto | 20 |
| 4 | LAITETOIMITTAJAT JA LAITTEISTOT | 21 |
| | 4.1 Danfoss Editron | 21 |
| | 4.2 Torqeedo | 25 |
| | 4.3 Trans-Auto Oy | 27 |
| | 4.3.1 Rinnakkaishybridi | 27 |
| | 4.3.2 Sarjahybridi | 29 |
| | 4.4 ABB | 31 |
| | 4.5 Laitteistojen vertailu | 32 |
| 5 | SUUNNITTELUTOIMISTOT | 35 |
| | 5.1 Customare Oy | 35 |
| | 5.2 Elomatic | 35 |
| | 5.3 Delta Marin | 36 |
| | 5.4 LST Group Oy | 36 |
| | 5.5 Allstars Engineering | 37 |
| | 5.6 Suunnittelutoimistojen yhteenveto | 37 |
| 6 | TURVALLISUUS | 39 |
| | 6.1 Laivan luokitus akkukäytön mukaan | 39 |
| | 6.2 Akkukäytön vaatimukset | 39 |
| | 6.3 Vikatilat akkuhuoneessa | 40 |
| | 6.4 Paloturvallisuus | 41 |
| 7 | YHTEENVETO | 44 |
| | LÄHTEET | 45 |
| | LIITTEET | 47 |
| | Liite 1. Danfoss Editronin laitelista (Yrjölä) | 47 |
| | Liite 2. Torqeedon toimittaman järjestelmän periaatekuva (Schubert) | 48 |

ERITYISSANASTO

| | |
|------------------|--|
| AC | Vaihtosähkö |
| AC-puoli | Tammerkosken muu sähkönkäyttö esim. valaistus, keittikoneet ilmastointi jne. |
| DC | Tasasähkö |
| Katamaraani | Alus, jossa on kaksi runkoa |
| Kevyt polttoöljy | Moottoripolttoöljy, joka on kevyemmin verotettua kuin normaali moottoripolttoöljy tai diesel |
| M/S | Moottoroitu laiva, polttomoottorin avulla kulkeva laiva |
| Propulsio | Järjestelmä, jolla tuotetaan työntövoimaa. Laivojen yhteydessä esim. potkurit, siipirattaat ja vesisuihkupropulsio (jetti) |

1 JOHDANTO

Maailmalla puhutaan perinteisten polttomoottorien korvaamisesta monenlaisilla eri järjestelmillä. Ympäristöystävällisempien ratkaisujen etsiminen on nykyään arkipäivää jokaisella alalla, niin myös laivateollisuudessa. Suomessa on maanmittauslaitoksen arvioiden mukaan jopa 168 000 järveä ja tässä opinnäytetyössä perehdytään yhdellä niistä liikennöivän laivan, M/S Tammerkosken polttomoottoreiden korvaamiseen sähkömoottoreilla.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää erilaiset vaihtoehdot, joilla M/S Tammerkosken perinteiset polttomoottorit voidaan korvata sekä selvittää onko perinteisten polttomoottoreiden korvaaminen taloudellisesti kannattavaa. Työssä tutustutaan täyssähköiseen järjestelmään sekä erilaisiin hybridijärjestelmiin, vertaillaan eri laitetoimittajien tarjoamia vaihtoehtoja, niiden hankinta- ja käyttökustannuksia sekä kannattavuutta perinteiseen polttomoottoriin verrattuna. Opinnäytetyössä on myös selvitetty erilaiset laivasuunnittelutoimistot, joita projektin edessä voitaisiin käyttää sekä perehdytty siihen mitä vaatimuksia laivan muuttaminen akkukäyttöiseksi tuo mukanaan turvallisuutta ajatellen.

Tammerkoskeen saatavien laitteistojen ja akuston selvitys tapahtui yhteistyössä laitetoimittajien kanssa, pääosin sähköpostin ja etäyhteyksien välityksellä. Laitetoimittajilta saatiin tiedot laitteistojen tehoista, saatavilla olevista akkukapasiteeteista, akuston kuormituksesta ja kaikesta muusta mikä projektiin liittyi.

M/S Tammerkoskea liikennöi Suomen Hopealinja Oy, joka oli myös opinnäytetyön toimeksiantaja.

2 SUOMEN HOPEALINJA OY JA M/S TAMMERKOSKI

2.1 Suomen Hopealinja Oy

Suomen Hopealinja Oy (myöhemmin Hopealinjat) on vuonna 1940 perustettu yritys, jonka päätoimiala on sisävesiristeilyt Tampereen Pyhäjärven ja Näsijärven vesistöissä. Suomen Hopealinja Oy on pohjoismaiden suurin sisävesivarustamo. Hopealinjoilla on käytössään kuusi sisävesilaivaa, joilla matkustaa noin 100 000 matkustajaa vuosittain. (Hopealinjat)

2.2 M/S Tammerkosken perustiedot

Alus on n. 24 metriä pitkä ja sen runko on valmistettu alumiinista. Aluksen runkomuoto on katamaraani. Aluksella ajetaan pääsääntöisesti Tampereen Laukontorilta Tampereen kaupungin omistamaan virkistysaareen, Viikinsaareen. Matka yhteen suuntaan kestää 15–20 minuuttia eli tunnissa ajetaan kerran edestakainen matka. Tähän asti laivan aikataulu on ollut sellainen, että se lähtee tasatunnein Laukontorilta ja puolelta Viikinsaaresta. Molemmissa satamissa aikaa kuorman ja matkustajien purkuun ja lastaukseen on siis n. 15 minuuttia. Matkustajia laivaan saa ottaa 199. Kuvassa 1 on M/S Tammerkoski Ratinan suvannossa Tampereella.



KUVA 1. M/S Tammerkoski Ratinan suvannossa Tampereella (Hopealinjat)

Laiva on valmistunut vuonna 1994 ja siinä olevat moottorit (pääkone) sekä generaattori (apukone) ovat samalta vuodelta mutta generaattori on peruskorjattu 2018. Generaattorilla tuotetaan tällä hetkellä laivassa tarvittava sähkö. Pääkoneet pyörittävät akseleiden välityksellä kiinteälapaisia potkureita, vaihteiston välityksen suhde on 2,53:1. Pääkoneiden teho on rajoitettu n. 174 kW / kone eli yhteisteho on n. 348 kW. Generaattori on teholtaan 32 kW.

Aluksen matkavauhti on n. 8–9 solmua (14–16 km/h) ja kulkiessaan tätä nopeutta pääkoneiden kierrosluku on n. 1100–1300 rpm. Pääkoneista otettu teho on tällöin n. 120 kW / kone.

Polttoaineenaan laiva käyttää kevyttä polttoöljyä. Viikkotasolla aluksen polttoaineenkulutus on n. 1300–1700 litraa. Esimerkkiviikolla kesältä 2020 laiva ollut ajossa 75 tuntia (käynyt Viikinsaaressa 70 kertaa) ja polttoainetta kulunut 1356 litraa. Yhteen edestakaiseen matkaan mennyt noin 19 litraa polttoainetta. Edestakaisessa matkassa Viikinsaareen pääkoneet käyvät n. 35 minuuttia ja apukone käy koko matkan ajan eli 60 minuuttia. Yhteiskulutus kaikista kolmesta koneesta normaalilla matkavauhdilla on n. 19 litraa / tunti. Taulukossa 1 on esitetty koottuna laivan tietoja.

TAULUKKO 1. M/S Tammerkoski perustiedot

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Laivan Nimi | Tammerkoski |
| Kotipaikka | Tampere |
| Rakennusvuosi | 1994 |
| Bruttovetoisuus | 133 |
| Suurin sallittu henkilömäärä | 204 |
| Suurin sallittu matkustajamäärä | 199 |
| Mittapituus (m) | 23,98 |
| Leveys (m) | 6,4 |
| Syväys (m) | 1,0 |
| Pääkoneiden kokonaisteho (kW) | 348 |
| Generaattorin teho (kW) | 32 |
| Matkanopeus (kn) | 8–9 |
| Vaihteiston välitys | 2,53:1 |
| Polttoaineen kulutus (l/h) | 19 |

3 JÄRJESTELMIEN TARKASTELU

Erilaisia täyssähköisiä- sekä hybridijärjestelmiä tarkasteltaessa on hyvä ymmärtää eri järjestelmien suurimmat erot. Yleisellä tasolla hybridillä tarkoitetaan järjestelmää, jossa on vähintään kaksi eri voimanlähdettä esim. polttomoottori, akusto, polttokenno tms. M/S Tammerkosken moottoreita uusittaessa mahdolliset järjestelmät ovat perinteisten polttomoottorien lisäksi täyssähköinen, sarjahybridi sekä rinnakkaishybridi.

3.1 Polttomoottoreiden uusiminen

Polttomoottoreista kysyttiin tarjous vertailua varten Volvo Pentalta D7-moottorista kahdesta eri teholuokasta. 166 kilowatin D7 moottori ZF-merivaihteella maksaisi 27 800 € ja 195 kilowatin D7 moottori ZF-merivaihteella maksaisi 29 000 €. Moottoreita Tammerkoskeen tulisi kaksi, joten yhteishinta Volvo Pentan uusille D7-moottoreille olisi 55 600 € tai 58 000 €.

Moottoreiden lisäksi tarvittaisiin myös generaattori, jonka teho tulisi olemaan n. 40–60 kW.

Volvo Pentan D7 moottorien ja Tekno-Marinen generaattorin yhteishintoja on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Moottorien ja generaattorin (apukone) hinnat

| | | | | |
|---------------------------|-------|--|---------------------------------|-------|
| 166 kW moottorit yhteensä | 55600 | | HUOM! Apukoneista valitaan yksi | |
| 195 kW moottorit yhteensä | 58000 | | | |
| | | | | |
| 166 kW moottori | | | 195 kW moottori | |
| + | | | + | |
| Apukone 40 kW | 78400 | | Apukone 40 kW | 80800 |

| | | | | |
|------------------------------|-------|--|------------------------------|-------|
| Apukone 40 kW kote- loitu | 82100 | | Apukone 40 kW kote- loitu | 84500 |
| Apukone 55 kW | 83000 | | Apukone 55 kW | 85400 |
| Apukone 55 kW kote- loitu | 86100 | | Apukone 55 kW kote- loitu | 88500 |

Taulukosta 2 näemme, että pelkkien moottorien ja generaattorin uusiminen maksaisi n. 80 000–90 000 €.

3.2 Täyssähköinen järjestelmä

Täyssähköinen järjestelmä koostuu yleisesti pelkästään akuista ja propulsioon liittyvistä laitteista. Joissain tapauksissa järjestelmässä saattaa olla mukana esim. aurinkopaneeleja. Voima, jonka propulsio tarvitsee aluksen liikuttamiseen, otetaan pelkästään akuista. Akkuja ladataan aluksen ollessa rannassa ja jos järjestelmässä on lisäksi esimerkiksi aurinkopaneelit, niistä saatavaa energiaa voidaan hyödyntää akkujen lataamiseen ajon aikana.

Tammerkoskea pystyttäisiin liikennöimään täyssähköisenä, jos laiva kulkee pelkästään Laukontorin ja Viikinsaaren väliä. Tällöin aikataulua pitäisi muuttaa, jolloin latausaikaa tulisi enemmän. Laiva ei enää lähtisikään tasatunnein Laukontorilta vaan esimerkiksi puolentoista tunnin välein. Määrittävä tekijä täyssähkön mahdollistamisessa on saatavissa oleva latausvirta, joka vaikuttaa suoraan lataustehoon. Mitä suurempi latausteho sitä nopeammin akut latautuvat ja vähemmän aikaa tarvitsee olla Laukontorilla. Lataamiseen käytettävää aikaa voi myös vähentää liittämällä järjestelmään generaattorin, jolla voidaan pienentää akkujen kuormitusta päivän aikana. Tällöin järjestelmä ei ole enää täyssähköinen vaan sarjahybridi.

Täyssähköisen järjestelmän suurimpana etuna on se, että ajamisen aikana päästöjä ei synny ollenkaan. Muita etuja ovat esim. järjestelmän äänettämyys ja lataukseen käytettävän energian mahdollinen tuotto uusiutuvilla muodoilla esim.

vesi- ja tuulisähköllä. Tampereen sähkölaitoksen vuonna 2019 kuluttajille ja pienyrityksille myymästä sähköstä n. 93 % tuotettiin joko vedellä, tuulella tai puuperäisillä polttoaineilla ja n. 7 % sekajätteellä. Suuryritykselle myydyn sähkön vastaavat luvut vuodelta 2019 ovat seuraavanlaiset: uusiutuvat energianlähteet 65,5 %, ydinvoima 18,7 % ja turve sekä fossiiliset energianlähteet 15,8 %. (Tampereen sähkölaitos)

Dieselöljy tuottaa palaessaan 2,67 kilogrammaa hiilidioksidia per litra. Keskimäärin Tammerkoski käyttää n. 19 litraa polttoainetta tunnissa. Laivalla liikennöidään n. 100–140 päivää vuodessa, laskuissa käytetty arvona 120 päivää. Tämän jälkeenkin laivalla ajetaan yksittäisiä ajoja. 120 päivän aikana polttoainetta kuluu keskimäärin 17 000 litraa, josta syntyy hiilidioksidipäästöjä 45 390 kg.

Tammerkosken moottorit vaihtamalla täyssähköiseen järjestelmään voitaisiin siis pienentää hiilidioksidipäästöjä n. 45 tonnia vuodessa.

Uudella aikataululla päivän aikana ajettaisiin 9 lähtöä Laukontorilta, joiden välissä olisi 40 minuuttia latausaikaa. Näitä 40 minuutin latauksia olisi mahdollista tehdä 8 päivän aikana. Öisin akkuja olisi mahdollista ladata 9–10 tuntia mutta akuston kapasiteetti saadaan järjestelmästä riippuen täyteen n. 1–7 tunnissa.

Järjestelmätoimittajat ovat laskeneet energian kulutuksen edestakaisella matkalla Viikinsaareen olevan n. 45–150 kWh järjestelmästä riippuen. Tammerkosken koko vuoden sähkönkulutus on laskettu kertomalla vuoden 2020 Tammerkosken sähkönkulutus 1,2:lla ja lisäämällä se 120 vuorokauden aikana kuluvaan sähköön. Sähköenergia maksaa Suomessa keskimääräisesti n. 9–12 snt/kWh, tässä hinnassa on mukana sähkönkulutuksesta muodostuva energiamaksu, sähkönsiirtomaksu sekä sähkövero. Laskuissa sähköenergian hintana on käytetty arvoa 11 snt/kWh. Sähkön vuosittaiset kokonaishinnat eri järjestelmillä ja suurimmalla mahdollisella latausteholla kyseisessä järjestelmässä on esitelty taulukossa 2. Taulukossa 2 lasketut arvot ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, sillä laskuissa ei ole huomioitu järjestelmien häviöitä eikä sähkön hinnan muutosta ylös- tai alaspäin. Laskut on myös laskettu hyvin karkeasti pyöristäen. Näillä laskelmilla on kuitenkin saatu jonkinlainen käsitys siitä kuinka paljon rahaa vuodessa kuluisi sähköisen laivan ylläpitokustannuksiin.

TAULUKKO 2. Sähkön vuosittaiset kokonaishinta-arviot eri järjestelmillä

| Laitteiston valmistaja | Danfoss Editron | Torqueedo | Trans-Auto (sarjahybrid) | Trans-Auto (rinnakkaishybrid) | ABB |
|---|-----------------|-----------|--------------------------|-------------------------------|---------|
| Akuston kapasiteetti (kWh) | 389 | 240 | 408 | 135 | 249 |
| Akuston käytössä oleva kapasiteetti (kWh) | 311 | 228 | 325 | 108 | |
| Latausteho (kW) | 277 | 120 | 176 | 22 | 390 |
| Kulutus yhden 40 min latauksen aikana (kWh) | 144,04 | 80,00 | 117,33 | 14,67 | 143,00 |
| Kulutus päivän aikana (kWh) | 1152,32 | 640,00 | 938,67 | 117,33 | 1144,00 |
| Kulutus yön aikana (kWh) | 415,5 | 252 | 352 | 154 | 273 |

| | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|----------|------------|
| Latausaika yön aikana | 1,5 tuntia | 2,1 tuntia | 2 tuntia | 7 tuntia | 0,7 tuntia |
| Kulutus yh- teensä vuorokau- den aikana (kWh) | 1567,82 | 892,00 | 1290,67 | 271,33 | 1417,00 |
| Hinta vuo- rokauden aikana (€) | 172,46 | 98,12 | 141,97 | 29,85 | 155,87 |
| Hinta 120 ajovuoro- kauden ai- kana (€) | 20695,22 | 11774,40 | 17036,80 | 3581,60 | 18704,40 |
| Kulutus 120 vuoro- kauden ai- kana (kWh) | 188138,40 | 107040,00 | 154880,00 | 32560,00 | 170040,00 |
| Sähkön vuosikulu- tus (kWh) | 218892,23 | 137793,83 | 185633,83 | 63313,83 | 200793,83 |
| Sähkönku- lutuksen vuosihinta | 24078,15 | 15157,32 | 20419,72 | 6964,52 | 22087,32 |

| | | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| € (kulu- tus+siirto+ vero) | | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|

Taulukossa 3 on esitelty lataukseen liittyvät sähköliittymät, niiden pääsulakekoot, hinnat ja niistä saatava latausteho ilman häviöitä.

TAULUKKO 3. Sähköliittymäkoot (Tampereen sähkölaitos)

| Liityntäluokka | Pääsulake | Hinta | | Saatava la- tausteho |
|----------------|---------------|--------------|---------------|-------------------------|
| | A | Alv. 0 % (€) | Alv. 24 % (€) | kW |
| L025 | 3 x 25 | 1593,00 | 1975,32 | 17,25 |
| L035 | 3 x 35 | 1788,00 | 2217,12 | 24,15 |
| L050 | 3 x 50 | 2179,00 | 2701,96 | 34,50 |
| L063 | 3 x 63 | 2518,00 | 3122,32 | 43,47 |
| L080 | 3 x 80 | 4669,00 | 5789,56 | 55,20 |
| L100 | 3 x 100 | 5190,00 | 6435,60 | 69,00 |
| L125 | 3 x 125 | 5841,00 | 7242,84 | 86,25 |
| L160 | 3 x 160 | 7531,00 | 9338,44 | 110,40 |
| L200 | 3 x 200 | 8639,00 | 10712,36 | 138,00 |
| L250 | 2 x (3 x 125) | 10526,00 | 13052,24 | 172,50 |
| L320 | 2 x (3 x 160) | 13612,00 | 16878,88 | 220,80 |

| | | | | |
|-------|---------------|----------|----------|--------|
| L400 | 2 x (3 x 200) | 15940,00 | 19765,60 | 276,00 |
| L500 | 3 x (3 x 160) | 22648,00 | 28083,52 | 345,00 |
| L630 | 3 x (3 x 200) | 26513,00 | 32876,12 | 434,70 |
| L750 | 3 x (3 x 250) | 29872,00 | 37041,28 | 517,50 |
| L1000 | 5 x (3 x 200) | 38844,00 | 48166,56 | 690,00 |

Polttoaine maksaa n. 50 senttiä litralta. 120 päivän aikana polttoainetta kuluu n. 17 000 litraa eli polttoainekustannukset 120 päivän ajalta ovat n. 8500 €. Koko vuoden polttoaineen kulutus on n. 21 000 litraa ja koko vuoden polttoainekustannukset n. 11 900 €.

Sähköisiin- tai hybridijärjestelmiin siirryttäessä käyttökustannuksissa ei tällä hetkellä säästettäisi sillä sähkönsiirtomaksu sekä verotus on niin korkea. Jos sähkönsiirtot hinnat sekä sähkövero pysyvät nykyisellä tasolla, polttoaineen hinnan pitäisi nousta n. 1,2 euroon litralta, jotta käyttökustannukset olisivat vuodessa samalla tasolla kuin suurimpia lataustehoja käytävillä sähköisillä järjestelmillä.

Täyssähköisen järjestelmän huonoja puolia verrattuna sarja- ja rinnakkaisyhybridiin ovat esim. ajettavan matkan rajoitus Laukontorin ja Viikinsaaren välille sillä akkuja pitää ladata jokaisen Viikinsaaren käynnin jälkeen sekä sähkömoottorin rikkoutuessa laivan ohjailukyvyttömyys. Moottorin rikkoutuminen on tietenkin harvinaista ja Tammerkosken tapauksessa on hyvä, että laivaan tulisi 2 sähkömoottoria eli järjestelmä olisi redundanttinen. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka toiselta puolelta hajoaisi moottori, toinen toimii silti. Tällä mahdollistetaan ainakin jonkinlainen aluksen hallinta vikatilanteissa.

Turvallisuuden kannalta on myös hyvä, että laivassa on jonkinlainen varavoimajärjestelmä, jolla pystytään tarvittaessa tuottamaan energiaa akuille. Generaatto-

ria ei välttämättä normaalissa ajossa jouduta käyttämään päivän aikana ollenkaan mutta jos rannassa jää esim. yksi lataus välistä voi generaattorilla paikata tätä.

3.3 Sarjahybridi

Sarjahybridi on hybridijärjestelmä, jossa yleensä polttomoottorilla (generaattori) tuotetaan sähköä akuille tai suoraan sähkömoottorille. Generaattorilla tuotettiin Tammerkosken tapauksessa myös laivan AC-puolen sähkö. Järjestelmien välillä on vaihtelua siitä, kuinka AC-puolen sähkö tuotetaan. Osassa järjestelmistä generaattorilla tuotetaan pelkästään akuille sähköä ja kaikki laivan sähkö otetaan akuista, osassa järjestelmissä generaattorilla tuotetaan sähköä sekä akuille että laivan AC-puolen verkkoon.

Akuista otetaan tarvittava voima propulsiolle. Kun akkujen varaus putoaa tarpeeksi alas, generaattori alkaa lataamaan akkuja ja lataa niitä niin kauan, että akkujen varaus on tietyn tason yläpuolella. Varaustaso, jolloin generaattori alkaa lataamaan riippuu järjestelmän valmistajasta. Akkuja voidaan siis ladata ajon aikana niin kauan, kun generaattori tuottaa sähköä. Hybridijärjestelmään voidaan yhdistää myös aurinkopaneelit. Akkuja ladataan kuitenkin pääsääntöisesti myös rannassa, jolloin generaattoria ei tarvitse käyttää niin usein tai niin paljon. Akkujen varaustason monitorointi ja generaattorin käynnistyminen tapahtuu järjestelmissä automaattisesti, joten siitä ei tarvitse huolehtia sen enempää.

Sarjahybrideissä yleisesti valittavia ajotiloja ovat täyssähköinen- sekä hybriditila. Samaan tapaan kuin täyssähköisessä järjestelmässä, sarjahybridissä laivaa pystyy siis ajamaan pelkillä akuilla, jolloin ajon aikana ei synny päästöjä eikä ääntä. Sarjahybridin suurimpana etuna verrattuna täyssähköiseen järjestelmään on ajettavan matkan pituuden kasvu, sarjahybridillä mahdollistettaisiin Tammerkoskella ajo myös muualle kuin Viikinsaareen. Tämä toteutetaan generaattoreilla, joilla pystytään pienentämään akkujen kuormitusta ajon aikana. Generaattori(t) ovat myös hankintahinnaltaan halvempia kuin akkupaketin kasvattaminen. Myös laitteiston sijoittelua laivaan täytyy miettiä ja M/S Tammerkosken tapauksessa tilojen ollessa rajalliset, sarjahybridi on hyvä vaihtoehto.

Sarjahybridin huonona puolena verrattuna täyssähköiseen järjestelmään on se, että generaattoreita voi joutua käyttämään akkujen lataukseen ajamisen aikana, jolloin syntyy pakokaasuja. Generaattori ei käy kuitenkaan koko ajan, joten normaaliin polttomoottoriin verrattuna päästöjä syntyy vähemmän.

Täyssähköisen järjestelmän tapaan sähkömoottorin rikkoutuminen tarkoittaa sitä, että laivaa ei pysty ajamaan, vaikka akuissa olisi varausta jäljellä.

3.4 Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridi on järjestelmä, jossa sähkömoottori ja perinteinen polttomoottori toimivat ikään kuin rinnakkain. Tämä toteutetaan yleensä vaihteella, jolla voidaan säätää, kumpaa tapaa käytetään. Rinnakkaishybridissä voidaan siis ajaa joko perinteisellä polttomoottorilla, sähkömoottorilla tai molemmilla samaan aikaan ns. "boost modella". Rinnakkaishybridiin liittyy myös akusto mutta se on yleensä pienempi kuin sarjahybridissä.

Rinnakkaishybridin idea on se, että sähkömoottoria käytetään, kun ajetaan satamassa tai hiljaisilla nopeuksilla. Kun päästään satamasta pois siirrytään käyttämään polttomoottoreita ja laiva toimii silloin kuin normaali polttomoottorikäyttöinen alus.

Rinnakkaishybridin hyvinä puolina voidaan pitää sitä, että laivan pääkoneiden päästöt (yleensä suurimmat satamasta lähdettäessä ja satamaan tultaessa) saadaan eliminoitua satama-alueilla. Sähköllä ajettaessa päästöjä ja ääntä ei pääkoneista synny. Rinnakkaishybridi on myös yleisesti halvempi kuin sarjahybridi, tämä johtuu pienemmästä akkukapasiteetista (Tammerkosken tapauksessa n. 25 % sarjahybridin akkukapasiteetista) sekä pienemmästä lataustehosta. Rinnakkaishybridi ei myöskään rajoita laivan ajamaa matkaa, sillä polttomoottoreilla voidaan ajaa normaalisti, vaikka akuissa ei olisikaan varausta tai sähkömoottori olisi rikki.

Yksi rinnakkaishybridin huonoista puolista on se, että sähköllä ei pystytä ajamaan kuin lyhyt matka tai alhaisilla nopeuksilla. Trans-Auton tarjoamassa rinnakkaishybridissä pelkällä sähkömoottorilla ajettaessa saavutetaan n. 3–4 solmun nopeus. Rinnakkaishybridin huonoiksi puoliksi voidaan lukea myös se, että akuston

pienuudesta johtuen laivan AC-puolen sähkö täytyy tuottaa generaattorilla, joten edes hetken aikaa kokonaan päästötöntä laivaa ei rinnakkaishybridillä saada.

3.5 Yhteenveto

Järjestelmää valittaessa on hyvä tiedostaa aluksen käyttötarpeet. Jos aluksella halutaan ajaa pelkästään kahden sataman väliä, kannattaa harkita täyssähköistä järjestelmää. Täyssähköisellä järjestelmällä saadaan eliminoitua päästöt käytännössä kokonaan ja Tammerkosken tapauksessa tämä tarkoittaisi n. 45 tonnin edestä CO2 päästöjen vähenemistä vuodessa. Täyssähköinen järjestelmä edellyttää toisaalta enemmän esim. latausinfrastruktuurin osalta sekä rajoittaa laivalla ajettavaa matkaa. Täyssähköinen järjestelmä saattaa olla myös kalliimpi hankkia ja sähkön korkeasta hinnasta johtuen sen käyttökustannukset ovat suuremmat kuin polttomoottorilla toimivissa laivoissa. Täyssähköisessä järjestelmässä myös latauksen merkitys kasvaa, jos laivaa ei saada ladattua tarvittavaa aikaa sillä ei välttämättä pysty ajamaan ollenkaan.

Hybridijärjestelmistä löytyy molemmista omat hyvät ja huonot puolensa ja Tammerkosken tapauksessa sekä sarjahybridi että rinnakkaishybridi ovat mahdollisia. Tammerkosken tapauksessa täytyy miettiä mitä alukselta halutaan tulevaisuudessa. Jos tavoitteena on tehdä mahdollisimman vähäpäästöinen hybridialus, on sarjahybridi parempi vaihtoehto, jos taas tarkoituksena on vain vähentää hie-man päästöjä ja uusia samalla polttomoottorit, on rinnakkaishybridi parempi vaihtoehto.

Tällaisissa projekteissa myös kustannukset vaikuttavat päätöksentekoon ja ne ovatkin näissä järjestelmissä eri luokkaa. Sarjahybridi saattaa olla jopa kaksi kertaa kalliimpi kuin rinnakkaishybridi. Myös järjestelmien käyttökustannukset eroavat toisistaan paljonkin sähkönkulutuksen takia.

Tammerkoskeen täyssähköinen järjestelmä olisi mahdollinen, mutta turvallisuuden ja käytön helpottamiseksi itse suosittelisin sarjahybridiä. Osalla sarjahybrideistäkin pystyy ajamaan päivän edestakaista reittiä Viikinsaareen käyttämättä generaattoria. Generaattori olisi kuitenkin hyvä olla varalla, jos rannassa on esim. latauksen kanssa ongelmia. Sarjahybridijärjestelmä ei ole niin riippuvainen latauksesta ja Tammerkoskella pystyy ajamaan pidempiä matkoja esim. telakalle.

4 LAITETOIMITTAJAT JA LAITTEISTOT

Potentiaalisiksi laitetoimittajiksi valikoitui Danfoss Editron, Torqeedo, Trans-Auto Oy sekä ABB. Laitteistoja kysyttiin myös Wärtsilältä ja Siemensiltä. Siemensiltä ei vastattu tiedusteluihin. Wärtsilältä ei löytynyt Tammerkosken kokoi-siin aluksiin ratkaisuja, mutta he suosittelivat Torqeedoa. Trans-Autolta on jo vuonna 2019 kysytty selvitystä Tammerkosken moottorien uusimisesta hybridi-käyttöiseksi. Danfoss Editron ja ABB ovat tunnettuja laitetoimittajia marine puo-len markkinoilla.

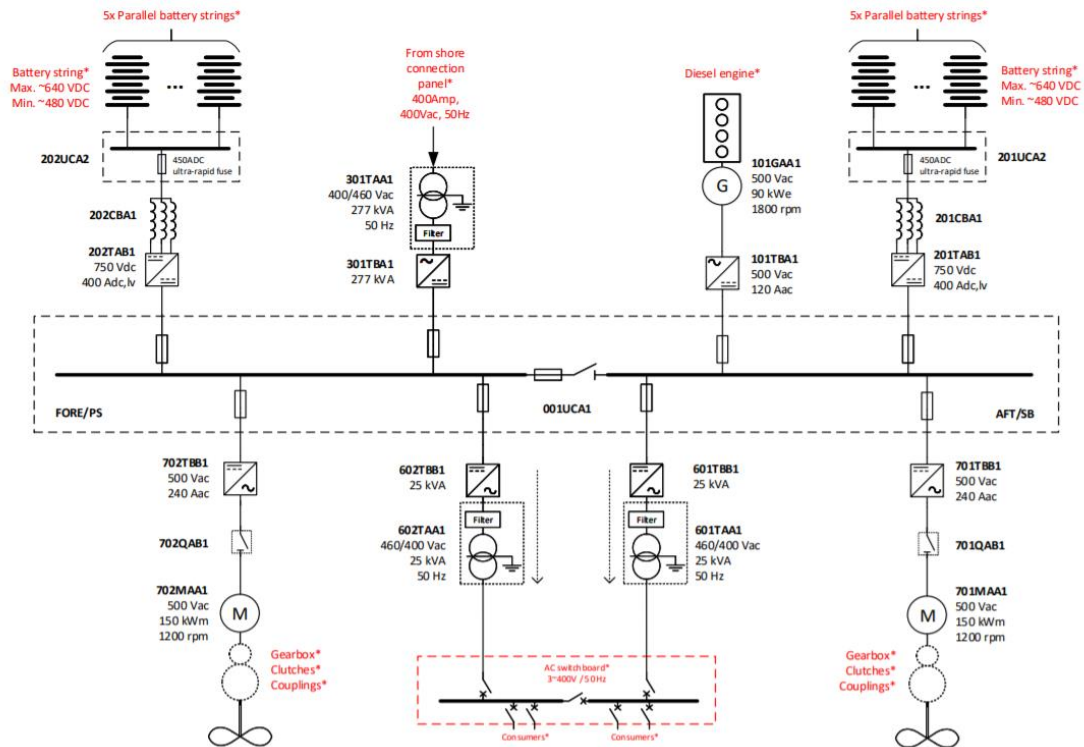
4.1 Danfoss Editron

Danfoss Editron on perustettu vuonna 2009. Yhtiön kotipaikka on Lappeen-ranta. Danfoss Editronin toimittamia laitteistoja on mm. Tanskassa liikennöi-vässä Ellenissä, joka oli valmistuessaan maailman suurin täyssähköinen alus, Turun kaupunkilautta Förissä (muutettu sähkökäyttöiseksi 2017), työveneissä kiinan suurimmalla tekojärvellä (Miyun Reservoir workboats) sekä Nauvon ja Korppoon välissä kulkevassa lossissa (Prostvik 1). (Danfoss Editron)

Editron toimittaa pääasiassa vain voimalaitos- ja propulsioratkaisuja, joten jos Editronin järjestelmä valitaan, tulee akut ja Editronin toimittamaan generaattoriin liittyvä moottori hankkia ulkopuoliselta toimittajalta. Generaattoriin liittyvää moot-toria tiedusteltiin Volvo Pentalta (Editronin suositus) sekä Tekno-Marinelta (Ho-pealinjalla muitakin Tekno-Marinen koneita), Tekno-Marinelta ei tarjousta tullut, joten heidän moottoriaan ei ole lopputarjouksessa huomioitu.

Norjalainen Corvus on toimittanut Editronin projekteihin ennenkin akustoja ja Editronin edustaja suositteli heitä sillä heidän laitteensa toimivat helposti yh-teen.

Tammerkoskeen Editronilta olisi mahdollista saada propulsio ja voimalaitospuo-len ratkaisut. Järjestelmän tyyppi on sarjahybridi eli akustoja olisi mahdollista la-data päivän aikana generaattorilla. Kuvassa 2 on esitetty Editronin järjestelmän yksirivikaavio.



KUVA 2. Danfoss Editronin sarjahybridin yksirivikaavio

Ylempänä mainittujen akkujen ja generaattoriin liittyvän moottorin lisäksi kuvassa 2 näkyvät vaihdelaatikko, kytkimet, moottorin kytkeminen akseliin sekä AC-sähkökeskus eivät kuulu Editronin toimittamaan pakettiin ja ne pitäisi hankkia ulkoiselta toimittajalta.

Editronin toimittamaan järjestelmään sisältyvät laitteet on esitelty liitteessä 1. Liitteessä 1 mainittujen laitteiden lisäksi toimitukseen sisältyy seuraavat asiat:

- Projektinhallinta
- Insinööryö
- Editron control system ECS, oletustoimintatiloilla

ECS on systeeminhallintajärjestelmä, jolla valvotaan ja säädetään laitteiston toimintaa. Projektiin liittyvä insinööryö liittyy pelkästään Editronin toimittamaan laitteistoon.

Editronin järjestelmän käyttöönotto ei sisälly pakettiin vaan se täytyy ostaa erikseen. Käyttöönottoa on maksimissaan 30 päivää ja se räätälöidään asiakkaan tarpeen mukaan laitteiston toimituksen jälkeen.

Editronin toimittamaan järjestelmään ei sisälly seuraavat asiat:

- Lämmönvaihdin ja jäähdytyspiirin ulkoinen putkisto
- Jäähdytysjärjestelmä
- Ulkoinen kaapelointi
- Mekaaniset kytkimet ja vaihdelaatikat
- Laitteiden pakkaus ja kotelointi (esim. generaattorin äänieristys)
- Laitteiden asennus ja kytkentä
- AC-sähkökeskus
- Akusto ja siihen liittyvä BMS (Battery management system)
- Akuston toimitus Suomeen
- Propulsion hallintalaitteet (RCS, remote control systems)
- Integroitu automaation, valvonnan ja hallinnan systeemi (IAMCS)
- Varaosat
- Käyttökoulutus

Corvus on yhtiö, joka on perustettu 2009. Toimintaa sillä on Kanadassa, Amsterdamissa ja Norjassa, jossa sijaitsee Euroopan pääkonttori sekä akkutehdas. Corvuksen akkuja on esim. maailman ensimmäisessä täyssähköisessä autolautassa MV Amperessa sekä maailman ensimmäisessä täyssähköisessä hinaajassa. Navtek NV-712 ZeeTUG-hinaaja operoi pääasiassa Istanbulin satamassa.

Corvuksen toimittaman, Danfoss Editronin järjestelmään liittyvän akuston tiedot on esitetty kuvassa 3.

| System basic properties | Power-5-10 |
|--|-------------------|
| Total system energy content +- 2% | 389 kWh |
| System maximum voltage | 640 V |
| System Nominal Voltage | 576 V |
| System minimum voltage | 480 V |
| System nominal peak power (<10s) | 1728 kW |
| System nominal continuous power | 864 kW |
| System nominal charge peak power (<10s) | 778 kW |
| System nominal continuous charge power | 622 kW |
| Estimated total system weight +- 5 Kg/pack | 3157 kg |
| Number of battery packs | 10 |

KUVA 3. Editronin järjestelmään liittyvän akuston tiedot (Corvus)

4.2 Torqeedo

Torqeedo on saksalainen yritys, joka on perustettu 2005. Torqeedolta löytyy mallistostaan kaiken kokoisia sähkömoottoreita, joista pienimmät sopivat soutuveneeseen kokoisiin veneisiin. Torqeedon toimittamia laitteistoja on mm. jätettä keräävässä Waste Cleaner 66-veneessä, Swedish sea rescue societyn (vapaaehtoinen meripelastusseura) partioveneessä, Kanadan suurimmassa täyssähköisessä aluksessa (Queen Elizabeth), joka ajaa jokiristeilyitä Ottawassa sekä ECOCAT aluksessa, joka on täysin aurinkosähköllä toimiva. (Torqeedo)

Torqeedon Tammerkoskeen toimittama järjestelmä olisi myöskin sarjahybridi, eli generaattoreilla pystyttäisiin lataamaan akkuja myös ajamisen aikana. Torqeedon järjestelmään on myös mahdollista liittää aurinkopaneelit, joista saatavaa energiaa pystytään käyttämään hyödyksi akkujen lataamisessa.

Torqeedon toimittamaan järjestelmään sisältyy monia elementtejä, joita ei muista järjestelmistä valmiina löydy. Tärkeimmät näistä ovat akusto ja generaattori. Torqeedon toimittaman järjestelmän periaatekuva on esitetty liitteessä 2.

Torqeedon toimittamaan järjestelmään sisältyy seuraavat asiat:

- Sähkömoottorit (2 x Torqeedo Deep Blue 100i 900 rpm)
- Akusto (6 x 40 kWh eli yhteensä 240 kWh)
- 50 kW generaattori
- Tuuletussarja akkuihin (6 kpl)
- Tuuletussarjan asennussarja (2 kpl)
- Deep Blue connection box L customized (4 kpl)
- Deep Blue Converter cooling kit (4 kpl)
- 6 x 22 kW laturia, yhteislatausteho 132 kW
- DC/AC 15 kW invertteri (2 kpl)
- DCDC 24 V HV
- Power 24–3500, 24 Voltin akusto (4 kpl)
- 12 V jakoboksi (2 kpl)
- Deep Blue näyttö 7", värillinen
- Deep Blue reititin
- Propulsion hallintalaitteet (RCS)
- Akuston hallinta ja monitorointi (BMS)
- Aurinkopaneelien johdotus ja liitäntä osaksi järjestelmää
- Järjestelmän liitäntä ja käyttöönotto
- Suunnittelu

Käyttöönotto ja suunnittelu eriteltynä:

- Liitântä, käyttöönotto ja merikoe
- Torqeedon laitteiston insinöörityö, henkilötyöpäivät tarkentuvat projektin edetessä.

Torqeedon toimittamaan järjestelmään ei sisälly seuraavat asiat:

- Aurinkopaneelit
- Laitteiden asennus (Torqeedo toimittaa osan asennuskuvista)
- Detail tason-design eli laitteiden sijoittelu laivaan

4.3 Trans-Auto Oy

Trans-Auto Suomi on osa Axel Johnson International-konsernia. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Södertäljessä, Ruotsissa. Trans-Autolla myyntikonttoreita on Suomen lisäksi Ruotsissa ja Venäjällä. Trans-Auto liittyi Axel Johnson Internationaliin vuonna 2011 ja se on osa Driveline Solutions liiketoimintaryhmää. Driveline Solutions koostuu 11 yhtiöstä, joiden liikevaihto on yhteensä 70 miljoonaa euroa. Päämarkkina-alue on Euroopan lisäksi Venäjällä. (Axel Johnson International)

Hybridiratkaisuista puhuttaessa Tammerkoskeen Trans-autolta olisi mahdollista saada belgialaisen Esco Powerin rinnakkaishybridi. Rinnakkaishybridi toteutetaan Escon toimittamalla hybridivaihteella. Esco Powerin toimittamia laitteistoja on mm. Sveitsissä liikennöivissä ravintolalaivoissa MS Diamondissa ja MS Burgenstockissa sekä Ruotsissa liikennöivässä MS Yxlanissa. (Trans-Auto)

4.3.1 Rinnakkaishybridi

Trans-auton toimittamaan rinnakkaishybridijärjestelmään sisältyy seuraavat asiat:

- ESCO PHT300A303 hybridivaihteisto (2 kpl)
- 50 kW sähkömoottori (2 kpl), jäähdytys asiakkaan hoidettava
- Sähkökaappi (2 kpl), sisältäen taajuusmuuttajat, sisäänrakennetun ohjelmoidun logiikan sekä sisäänrakennetun ohjausyksikön dieselmoottorille ja merivaihteelle
- Twin Disc MG-5075SC merivaihte (2 kpl)
- Propulsion hallintalaitteet ja ajotilan valintapainikkeet (RCS) (1 kpl)
- Hybridin ohjausnäytöt (2 kpl)
- Hybriditehon ohjausjärjestelmä eri moodeilla (moodit: sähköinen, diesel, automaattinen, generaattori ja back-up mode)
- Asennus- ja ohjauskaapelit (HESP-komponenttien eli Escon komponenttien välillä)
- 3 henkilötyöpäivää käyttöönottoa ja asennusta Escon-laitteille (matkat ja majoitus eivät sisälly)

Pakettiin myös mahdollista saada seuraavat asiat:

- Sähköinen öljynkorkeusanturi, PHT (2 kpl, liittyy hybridivaihteistoon)
- Lämmönvaihdin (2 kpl, liittyy hybridivaihteistoon)
- Escon kytkin PTO/PTI ja sähkömoottorin väliin (2 kpl, liittyy hybridivaihteistoon)

Lisäksi pakettiin saatavilla oleva akkupaketti sisältää seuraavat asiat:

- Akkumoduulit
- Akkujen hallintajärjestelmä (BMS)
- 22 kW laturi (shore connection charger)
- Harmoninen suodatin sekä virtakaapeli

Trans-auton toimittamaan rinnakkaishybridijärjestelmään ei sisälly seuraavat asiat:

- Asennus, kaapelointi ja liitännät
- Sähkömoottorin ja PTO/PTI laipan välinen yhteys
- Insinööri työ
- Ylimääräiset työtunnit asennusvirheiden takia
- Sähkömoottorin / taajuusmuuttajan nestejäähdytys
- Sulakkeet ja kontaktorit sähkökaappiin
- DC sulakkeet ja DC kuormakytin
- Johdotus ja asennus aluksen sisällä
- Liitännät ja kiinnitykset
- Moottorit, johon hybridivaihte liitetään
- Generaattori, jolla tuotetaan laivan AC-verkkoon sähkö

Pakettiin saatavilla olevaan akkupakettiin ei sisälly seuraavat asiat:

- Asennus, kaapelointi ja liitännät aluksessa
- Jäähdytys ja kiinnitykset

Tässä Trans-auton tarjouksessa huomioitavaa on se, että hinta on alhainen verrattuna muihin järjestelmiin. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että kyseessä on rinnakkaishybridi eikä sarjahybridi. Tässä järjestelmässä sähkömoottori ja perinteinen polttomoottori toimivat siis rinnakkain Escon hybridivaihteiston avulla. Alhaisilla nopeuksilla (satamassa ajo) käytetään pelkkää sähkömoottoria ja tietyn pisteen jälkeen polttomoottori kytkeytyy järjestelmään ja laiva toimii kuin normaali polttomoottorikäyttöinen alus. Akkupaketti on myös huomattavasti pienempi kuin sarjahybrideissä (135 kWh vrt. 480 kWh (Torqeedo) tai 389 kWh (Corvus)).

Rinnakkaishybridiin tarvitaan myös moottorit, johon hybridivaihteet liittyvät sekä generaattori (apukone), jolla tuotetaan sähkö laivan AC-puolen verkkoon. Taulukossa 4 on esitetty Volvo Pentan D7-moottoreiden sekä Tekno-marinen generaattorien hintoja.

TAULUKKO 4. Volvo Pentan D7 moottoreiden ja generaattoreiden hinnat

| | | | |
|---------------------------|-------|--|-------|
| Moottori (2x) | 27800 | Volvo Penta D7 166 kW 2300 rpm ZF merivaihteella | |
| | 29000 | Volvo Penta D7 195 kW @ 2300 rpm ZF merivaihteella | |
| | | | |
| Apukone 40 kW | 22800 | | |
| Apukone 40 kW koteloitu | 26500 | | |
| Apukone 55 kW | 27400 | Valitaan yksi apukoneista | |
| Apukone 55 kW koteloitu | 30500 | | |
| Apukone 90 kW | 33000 | | |
| Apukone 90 kW koteloitu | 38600 | | |
| | | | |
| 166 kW moottorit yhteensä | 55600 | | |
| 195 kW moottorit yhteensä | 58000 | | |
| | | | |
| 166 kW moottori | | 195 kW moottori | |
| + | | + | |
| Apukone 40 kW | 78400 | Apukone 40 kW | 80800 |
| Apukone 40 kW koteloitu | 82100 | Apukone 40 kW koteloitu | 84500 |
| Apukone 55 kW | 83000 | Apukone 55 kW | 85400 |
| Apukone 55 kW koteloitu | 86100 | Apukone 55 kW koteloitu | 88500 |
| Apukone 90 kW | 88600 | Apukone 90 kW | 91000 |
| Apukone 90 kW koteloitu | 94200 | Apukone 90 kW koteloitu | 96600 |

Taulukosta 4 näemme, että Trans-auton laitteiston lisäksi moottoreista ja generaattorista tulee vähintäänkin n. 80 000 euron lisähinta.

4.3.2 Sarjahybridi

Trans-auton toimittamaan sarjahybridijärjestelmään sisältyy seuraavat asiat:

- ESP 130 kW sähkömoottori (2 kpl)
- Sähkökaappi (2 kpl), sisältäen taajuusmuuttajat, sisäänrakennetun ohjelmoidun logiikan sekä sisäänrakennetun ohjausyksikön dieselmoottorille ja merivaihteelle
- Technodrive TM 200B merivaihte (2 kpl)
- Propulsion hallintalaitteet ja ajotilan valintapainikkeet (RCS) (1 kpl)
- Hybridin ohjausnäytöt (2 kpl)
- Hybriditehon ohjausjärjestelmä eri moodeilla
- Asennus- ja ohjauskaapelit (HESP-komponenttien välillä eli Escon komponenttien välillä)
- 3 henkilötyöpäivää käyttöönottoa ja asennusta Escon hybridille (matkat ja majoitus eivät sisälly)

Sarjahybridisiin on mahdollista saada sekä 135 että 406 kilowattitunnin akusto. Käytännössä näistä on pakko valita 406 kilowattitunnin akusto, sillä pienemmillä akustolla ei päästäisi edes yhtä edestakaista matkaa Viikinsaareen pelkkää sähköä käyttäen. Tämä tarkoittaisi sitä, että laivassa täytyisi olla generaattori koko ajan päällä.

Järjestelmään liittyvä akkupaketti sisältää seuraavat asiat:

- Akkumoduulit
- Akkujen hallintajärjestelmä (BMS)
- 22 kW laturi, mahdollisuus saada 88–300 kW laturi. Käytännössä laturin tehon pitäisi olla vähintään 88 kW että siitä olisi edes jonkinlaista hyötyä. Jos halutaan ajaa ilman generaattoria koko päivä lataustehon pitäisi olla vähintään 180 kW.
- Harmoninen suodatin sekä virtakaapeli

Trans-Auton toimittamaan sarjahybridijärjestelmään ei sisälly seuraavat asiat:

- Asennus, kaapelointi ja liitännät
- Sähkömoottorin ja PTO/PTI laipan välinen yhteys
- Studies / engineering or extra programming
- Ylimääräiset työtunnit asennusvirheiden takia
- Sähkömoottorin / taajuusmuuttajan nestejäähdytys
- Sulakkeet ja kontaktorit sähkökaappiin
- DC sulakkeet ja DC kuormakytkin
- Johdotus ja asennus aluksen sisällä
- Liitännät ja kiinnitykset
- Generaattori, tuo n. 30 000 € lisähintaa

Järjestelmään liittyvä akkupaketti ei sisällä seuraavia asioita

- Asennus, kaapelointi ja liitännät aluksessa
- Jäähdytys ja kiinnitykset
- Lataustehon kasvaessa yli 88 kilowattiin tarvitaan tehokas ilmajäähdytys, jos latausteho on 88 kW tai alle, riittää nestejäähdytys. Jäähdytys täytyy asiakkaan hankkia itse.

4.4 ABB

ABB on ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsissä. ABB:llä on toimintaa yli 100 maassa. Suomessa ABB:llä on n. 5000 työntekijää ja Suomessa toimivan ABB:n liikevaihto on n. 2,2 miljardia euroa. (ABB Suomi)

ABB:llä on toimintaa monella eri alalla mutta Tammerkosken sähköistykseen liittyy erityisesti ABB-Marine. ABB-Marinen tunnetuin tuote on Azipod-propulsiojärjestelmä. Azipod on 360 astetta kääntyvä potkurijärjestelmä, joka mahdollistaa aluksen paremman ohjailukyvyn, Azipod-järjestelmällä varustettu alus säästää myös polttoainetta jopa 20 prosenttia perinteisiin potkureihin verrattuna.

ABB on yksi maailman suurimpia toimijoita marine-puolella ja heiltä löytyy monen vuosikymmenen kokemus laivoista ja laivanrakennukseen liittyvästä tekniikasta. ABB:n toimittamia laitteistoja on mm. Viking Gracessa, jäänmurtaja Polariksessä ja Sisussa, sekä Viking Linen uusimmassa aluksessa, Viking Gloryssa. Tämän lisäksi maailmalta löytyy lukemattomia aluksia, jotka on varustettu Azipod-propulsiojärjestelmällä. (ABB Marine)

ABB:n tällä hetkellä tarjoama järjestelmä olisi täyssähköinen eli siihen ei kuuluisi generaattoria. Järjestelmään on kuitenkin mahdollista liittää generaattori, jos on tarve.

ABB:n järjestelmä on tällä hetkellä todella alustavassa vaiheessa, sillä toimituslaajuus on todella suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että toimituksen laajuus tulee todennäköisesti muuttumaan, kun tarvittava laitteisto tarkentuu.

ABB:n toimittamaan järjestelmään sisältyy seuraavat asiat:

- Akusto
- Akustoa ohjaavat käytöt
- Uudet sähkömoottorit
- Ohjaamon laitteet (ohjauspaneeli, propulsiyonhallinta)
- Automaation (sisältäen PLC, I/O)
- Pienjännitekeskus
- Hotellikuorman muuntaja
- Yllä mainittuihin asioihin liittyvä suunnittelu

ABB:n toimittamaan järjestelmään ei sisälly seuraavat asiat:

- Laitteiden asennus
- Käyttöönotto ja merikokeet
- Varaosat

Asennustyöt, käyttöönotto, merikokeet ja varaosat on kuitenkin mahdollista saada ABB:lta, mutta ne täytyy neuvotella erikseen.

4.5 Laitteistojen vertailu

Laitteistoja vertailtaessa täytyy pitää mielessä eri järjestelmien erot. Täyssähköisen järjestelmän, sarjahybridin ja rinnakkaishybridin hintaa ei voi suoraan vertailla keskenään.

Laitteistojen vertailussa kiinnitetään huomiota seuraaviin asioihin:

- Hinta (ei näkyvillä opinnäytetyön julkisessa versiossa)
- Järjestelmän tyyppi
- Järjestelmän toimittaja
- Järjestelmän valmius (tällä tarkoitetaan esim. sitä, että tarvitseeko jotain tilata ulkopuoliselta toimittajalta, kuinka paljon laitetoimittajalta saadaan valmiita komponentteja, sisältykö asennusta, käyttöönottoa jne.)
- Järjestelmän ja akuston takuu-aika

Taulukossa 6 on esitetty koottuna eri laitevalmistajien järjestelmät.

TAULUKKO 6. Eri laitevalmistajien järjestelmien vertailu

| Valmistaja | Danfoss Editron | Torqueedo | Trans-Auto | Trans-Auto | ABB |
|--|--------------------|-------------|-------------|------------------|---------------|
| Järjestelmän tyyppi | Sarjahybrid | Sarjahybrid | Sarjahybrid | Rinnakkaishybrid | Täyssähköinen |
| Akusto (kWh) | 389 | 240 | 408 | 135 | 249 |
| Akuston käytettävissä oleva kapasiteetti (kWh) | 311 | 228 | 325 | 108 | |

| | | | | | |
|---------------------------------|--|-------|--|-------|-------|
| Akuston paino (kg) | 3157 | 1908 | 4290 | 1430 | 2046 |
| Akusto sisältyy | Ei, akusto tulisi Corvuxelta | Kyllä | Kyllä | Kyllä | Kyllä |
| Akkujen laturi sisältyy | Kyllä | Kyllä | Kyllä | Kyllä | Kyllä |
| Laturin teho (kW) | 277 | 120 | 22, mahdollisuus saada 88-176, tässä käytetty 176 kW:n laturia | 22 | 390 |
| Laturin tarvitsema virta (A) | 400 | 200 | 121, jos latausteho kasvaa niin myös virta kasvaa jopa 400 ampeeriin | 32 | 630 |
| Generaattori sisältyy pakettiin | Kyllä, mutta generaattoriin liittyvä moottori tulisi joko Volvo Pentalta tai | Kyllä | Ei | Ei | Ei |

| | | | | | |
|----------------------|-----------------------|--------------------------------|----------|----------|----|
| | Tekno-Ma- rinelta | | | | |
| Käyttöön- otto | Erikseen sovittuna | Sisältyy | Sisältyy | Sisältyy | Ei |
| Aurinkopa- neelit | | Mahdolli- set | | | |
| Kuljetus | Akut Nor- jasta | Järjes- telmä sak- sasta | | | |
| Huomiot | | | | | |

5 SUUNNITTELUTOIMISTOT

Suunnittelutoimistoja selvitykseen valikoitui viisi. Suunnittelutoimiston tehtävä projektissa on mm. projektinhallinta, piirustusten ja suunnittelukuvien piirto ja asennus- ja urakointityöt tai ainakin niitä tarjoavien yritysten tunteminen. Suunnittelutoimiston tehtävä projektissa tulee tarkentumaan laitetoimittajan valinnan jälkeen, kun tiedetään mitä laitevalmistaja toimittaa ja mitä tarvitsee hankkia ulkopuolisilta.

Suunnittelutoimistoilla LST:tä lukuun ottamatta ei ole tarjota urakointia itsellään, mutta jokaisella yrityksellä löytyy laaja verkosto tekijöistä.

5.1 Customare Oy

Customare on Turussa toimiva suunnittelutoimisto, joka on perustettu 2016. Customaren päätoiminta sijoittuu kansivarusteluun ja mekaniikkasuunnitteluun. Customare on muihin suunnittelutoimistoihin verrattuna pieni, työntekijöitä vuonna 2019 sillä oli 3 ja liikevaihto oli 379 000 €. (Finder)

Customarella on itsellensä menossa myös muutama pienempi laiteprojekti akkuteknologiaan liittyen. Customarella on myös Helvic Carbonin maahantuonnin kautta yhteistyötä esim. Danfossin ja ABB marinen kanssa.

5.2 Elomatic

Elomatic on suomalainen vuonna 1970 perustettu yksityisomistuksessa oleva suunnittelutoimisto, joka työllistää yli 1000 henkilöä. Elomaticilla on asiakkaita 80 maassa. Konsernin pääkonttori sijaitsee Turussa ja toimistoja sillä on suomen lisäksi Intiassa, Italiassa, Kazakstanissa, Kiinassa, Puolassa, Venäjällä ja yhdistyneissä arabiemiraateissa. Elomatic tarjoaa konsultointi-, suunnittelu-, tuotekehitys- ja projektinjohtopalveluita sekä tuotteita ja kokonaisratkaisuja. Elomatic on iso suunnittelutoimisto, jolta löytyy kokemusta laivasuunnittelusta jo vuosikymmenten ajalta. Elomatic on ollut mukana mm. seuraavien laivojen rakentamisessa: Mein Schiff 3–6, Viking Grace, Oasis of the seas ja Allure of the seas. (Elomatic)

Elomaticin edustajan kanssa oli puhetta myös laivan mahdollisesta laserskannauksesta. Laserskannauksessa skannataan laiva ja saadaan laivasta 3d piste-pilvimalli, tätä mallia voi hyödyntää laivan suunnittelussa nyt ja tulevaisuudessa. Mallista päästään tarkastelemaan laivan sisäisiä osia ja miettimään esim. hybridilaitteistojen ja akkujen sijoituksia. Laserskannausta myös suositellaan, sillä Tammerkoskesta ei ole olemassa kunnollisia piirustuksia.

5.3 Delta Marin

Deltamarin Group on Raisiossa vuonna 1990 perustetusta laivasuunnittelutoimistosta alkunsa saanut konserni, jolla on toimipisteitä suomen lisäksi Kiinassa, Puolassa ja Kroatiassa. Yhtiön n. 400 työntekijästä n. 250 työskentelee Suomessa. Lokakuussa 2012 Delta Marinin osake-enemmistö siirtyi suomalaisilta kiinalaiselle AVIC international Investments Limited-yhtiölle.

Delta Marin tarjoaa suunnittelu-, asennusten valvonta- ja projektinhallintapalveluita. Delta Marin on iso suunnittelutoimisto, jolta löytyy kokemusta laivasuunnittelusta monen vuosikymmenen ajalta. Delta Marin on ollut mukana mm. seuraavien laivojen rakennuksessa: MySTAR, Viking Glory, Emma Maersk (valmistuessaan maailman suurin konttilaiva) sekä hybridikäyttöinen lossi Elektra. (Delta Marin)

Delta Marinin kanssa mahdollisia ovat laitetoimittajavetoiset, Delta Marinin vetämät projektit sekä kaikenlaiset projektit tältä väliltä. Delta Marinin vetämä projekti on käytännössä sellainen, jossa asiakas valitsee laitetoimittajan ja Delta Marin hoitaa loput. Delta Marinilta on mahdollista saada myös laserskannaus Tammerkoskeen.

5.4 LST Group Oy

LST Group valikoitui selvitykseen Danfoss Editronin edustajan suosituksen mukaan. LST on tehnyt aikaisemmin Danfoss Editronin projektissa asiakkaalle sähkörakointia ja asennuksia. Editron on toimittanut tähän projektiin voimalaitos- ja propulsioratkaisut.

LST Group on suomalainen vuonna 1962 perustettu perheyritys, joka koostuu emoyhtiöstä ja seitsemästä tytäryhtiöstä. LST Group työllistää n. 170 henkilöä. Laivasähkötyö Oy on LST Groupin vanhin yritys. Laivasähkötyö Oy on vuosien saatossa ollut sähköistämässä monia erilaisia aluksia mm. Turun telakalla. Heidän työkohteitaan ovat olleet mm. hinaajat, lossit, satamamurtajat, työveneet ja risteilijät. Uusiin laivoihin Laivasähkötyö Oy tekee sähkösuunnittelun lisäksi materiaaleja, asennustöitä sekä asennettujen alueiden käyttöönottoja.

LST eroaa muista suunnittelutoimistoista siten että heiltä on suoraan mahdollisuus saada suunnittelun lisäksi myös asennus- ja käyttöönottopalveluita. (LST Group)

5.5 Allstars Engineering

Allstars Engineering on vuonna 1991 Turussa perustettu suunnittelutoimisto. Allstars on keskikokoinen suunnittelutoimisto, vuonna 2019 sen liikevaihto oli 10,4 miljoonaa euroa ja työntekijöitä sillä oli 65. Allstars engineering on tehnyt paljon yhteistyötä Turun ja Rauman telakoiden kanssa ja on ollut mukana mm. seuraavien laivojen suunnittelussa: Mardi Gras, Costa Smeralda, Mein Schiff 3–8, Tallink Megastar sekä Viking Grace.

Allstarsin tarjoamiin palveluihin kuuluu esim. projektisuunnitelmat, dokumenttien hallinta, laadun varmistus, riskien hallinta, mekaaninen suunnittelu, lujuuslaskenta, koneisto- ja systeemisuunnittelu, kansivarustelu, LVI- ja putkistosuunnittelu, sisustus- ja sähkösuunnittelu. Allstars tarjoaa myös asiantuntijapalveluita, joihin kuuluu mm. projektipäälliköt ja -assistentit, suunnitteluinsinöörit sekä työnjohtajat ja tarkastajat. (Allstars Engineering)

5.6 Suunnittelutoimistojen yhteenveto

Suunnittelutoimistoilla ei ole suuria eroja tarjoamissaan palveluissa. Jokaisella toimistolla on mahdollisuus ottaa projekti vetääkseen ja tarjota siihen tarvittavat palvelut (suunnittelu, asennus, käyttöönotto sekä projektinhallinta). Suunnittelu-

toimistoilla kaikilla on myös tällä hetkellä kova kiinnostus tällaisiin retrofit-projekteihin, maailmalla näkyvä ”vihreä trendi” näkyy myös suunnittelutoimistojen tarjoamissa palveluissa.

Suunnittelutoimistoa valittaessa isoksi tekijäksi muodostuu tietysti hinta. Isoilla suunnittelutoimistoilla hinta saattaa olla korkeampi kuin esimerkiksi 3 ihmistä työllistävällä Customarella. Toisaalta isoilla suunnittelutoimistoilla saattaa olla enemmän kokemusta tällaisista projekteista, osaavampaa henkilökuntaa tai laajemmat verkostot esim. urakoinnin järjestämiseen. Suunnittelutoimistoa valittaessa täytyy myös miettiä, sitä minkälaista näkyvyyttä toimistolle tarjotaan projektin edetessä ja sen vaikutusta lopulliseen hintaan, suuri näkyvyys tällaisessa projektissa saattaa laskea hintaa rajustikin.

Toinen asia mikä pitää huomioida on laitetoimittajan valinta. Esim. LST Groupilla on kokemusta Danfoss Editronin laitteistoista, niiden asennuksista ja heitä suositeltiin Editronin puolelta. Tämä ei toki tarkoita sitä, että muut toimistot eivät osaisi Editronin toimittamaa laitteistoa sovittaa Tammerkoskeen mutta tällaiset asiat on kuitenkin hyvä pitää mielessä. Laitetoimittajan valinta vaikuttaa keskeisesti suunnittelutoimiston tulevaan työmäärään.

Oma mielipiteeni on se, että mikään toimisto ei ole huono valinta. Kaikista löytyy varmasti tarvittavaa ammattitaitoa tällaisen projektin vetämiseen. Itse suosittelisin kuitenkin valitsemaan joko Elomaticin, Delta Marinen, LST Groupin tai Allstars Engineeringin.

Tätä valintaa perustelen sillä, että Customare on hyvin pieni yritys verrattuna muihin ja heidän toimintansa on pääosin kansivarustelun ja mekaniikkasuunnittelun puolella. Tammerkosken sähköistys on laivan kokoon nähden iso projekti ja 3 henkilön työpanos verrattuna esim. 15 ihmisen työhön voi olla huomattava esim. aikatauluista kiinni pitämisessä. Muilta suunnittelutoimistoilta on mahdollista saada samaan aikaan myös muita suunnittelupalveluita (laivan yleinen sähkösuunnittelu, sisustussuunnittelu, LVI-suunnittelu) jos Tammerkoskeen halutaan tehdä samalla myös muita uudistuksia.

6 TURVALLISUUS

6.1 Laivan luokitus akkukäytön mukaan

Aluksen muuttaminen sähkö- tai hybridikäyttöiseksi tuo alukseen myös uusia turvallisuusmääräyksiä. Suurin osa uusista turvallisuusmääräyksistä liittyy akkuihin tai akkutilaan. Laivat, joissa akkuja käytetään, luetaan yleensä kahteen eri luokkaan. Laivat, jossa akkuja käytetään propulsioon normaalin käytön aikana kuuluvat Battery Power-luokkaan ja ne laivat, joissa akustot eivät ole suoraan yhteydessä propulsioon kuuluvat Battery Safety-luokkaan. (Tentative rules for battery power 2012)

Battery Safety-luokka pitää sisällään akkuhybridialukset, joissa akkujen tuottamaa tehoa ei käytetä propulsioon. Nämä luokitukset lisäävät akustojen turvallista asennusta, sekä käyttöä laivoissa. Battery Safety-luokitus on pakollinen laivoissa, joissa akkuasennuksia käytetään lisätehon lähteenä ja jotka pystyvät tuottamaan yli 50 kWh sähköenergiaa, lukuun ottamatta NiCd- ja lyijyhappoakkuja. Tämä luokitus on sopiva myös silloin kun parannetaan dynaamista tehon suorituskykyä. Akkujärjestelmät, joita käytetään muihin tarkoituksiin maksimissaan 50 kWh ja joita ei ole erikseen käsitelty ohjeistuksissa voidaan asettaa Battery Safety-luokkaan, mikäli turvallisuusvaatimukset täyttyvät.

Battery Power-luokka pitää sisällään asennukset, joissa akkuvoimalla toimivissa laivoissa hyödynnetään propulsiokäytössä normaalin käytön aikana, tai aluksissa, joissa akkujen tehoa käytetään laivan liikuttamiseen esimerkiksi sata-massa. Tammerkosken tapauksessa akkutehoa käytettäisiin laivan liikuttamiseen, joten Tammerkoski kuuluisi Battery Power-luokkaan.

6.2 Akkukäytön vaatimukset

Akkuhuone on tila, johon akut on asennettu. Akustolle varatussa tilassa eli akkuhuoneessa ei saa olla propulsiokäyttöön tai laivan ohjaukseen käytettäviä järjestelmiä. Akustot pitää asentaa tilaan, johon voidaan järjestää ilmanvaihto, jotta tilan lämpötilansäätely on mahdollista. Akuston asennuksessa täytyy ottaa huomioon myös se, että akustoihin täytyy olla pääsy ja ne täytyy kiinnittää niin että ne

eivät liiku laivan liikkeiden mukana. (ES-TRIN) Akkuhuoneeseen on kuuluttava seinät, lattia, katto sekä kaikki tarpeelliset asiat, jotta akusto pystytään pitämään paikallaan sekä tarjoamaan sen vaatimat ympäristölliset olosuhteet kuten sopiva lämpötila ja ilmankosteus. DNV suosittelee, että akkuhuoneelle tehdään turva-arviointi, joka sisältää ainakin seuraavat kohdat (DNVGL Guideline 2015):

- Mahdolliset vaaratekijät, niiden syyt ja seuraukset, kuten myös tulipalon sammutuksen haasteet
- Riskien arviointi, johon kuuluu mukaan arvio riskitekijöistä
- Uhkien hallitsemisen vaihtoehdot
- Toimintamenetelmät

Akkujärjestelmälle tulisi järjestää riittävä suoja lämmöltä, kipinälähteiltä, pölyltä, öljyn saasteilta ja muilta mahdollisesti vahingollisilta ympäristön vaikutuksilta järjestelmää ja sen komponentteja kohtaan. Akkuhuoneisiin olisi hyvä järjestää visuaalinen yhteys joko esimerkiksi ovesa olevan ikkunan kautta tai videokameravalvonnan avulla, jotta huoneen tila voitaisiin tarkistaa ennen huoneeseen menoa. (DNVGL Guideline 2015)

6.3 Vikatilat akkuhuoneessa

Akkuhuoneessa on erilaisia syitä, jotka voivat johtaa vaara- tai vikatilaan. Niiden ehkäisemiseksi tarvitaan akkuhuoneeseen ilman lämpötilan säätely, ilmanvaihto, palontorjunta sekä moduuleiden lämmönhallinta.

- Lämpötilan säätely kontrolloi akkuhuoneen lämpötilaa joko aktiivisesti tai passiivisesti poistamalla tai lisäämällä ilmaa. Vikatilanteessa huoneesta tulee liian kuuma tai liian kylmä, mikä vaikuttaa akkujen toimintaan ja elinikään. (DNVGL Guideline 2015.)
- Ilmanvaihto poistaa mahdollisia akuista purkautuneita kaasuja huoneesta. Se havaitsee huoneeseen tulevat kaasut akkujärjestelmän antureista ja käynnistää kaasun poistamisen. Ilmanvaihto on yhteydessä kanavaan, joka poistaa kaasut turva-alueelle. Vikatilan sattuessa huoneeseen voi muodostua myrkyllisiä, sekä palavia kaasuja akuista. (DNVGL Guideline 2015.)

- Tulipalon sattuessa akuissa tai akkuhuoneessa, palontorjunta pitää huoneen lämpötilan mahdollisimman alhaisena ja pyrkii sammuttamaan palon. Sammutustyyppi riippuu akkujen kemiasta. Vikatilanteessa palontorjunta ei huomaa tulipaloa ajoissa tai ollenkaan, aktivoituu vaikka niin ei olisi tarkoitettu, tai ei onnistu sammuttamaan paloa. (DNVGL Guideline 2015.)
- Akkujen oma lämmönhallinta kontrolloi moduuleiden lämpöä mittaamalla solujen lämpötilaa, tarjoamalla riittävän jäähdytysaineen ja tuottamalla tietoa akkujenhallintajärjestelmälle moduuleiden lämpötilasta, jolloin moduuli voidaan kytkeä pois päältä, jos se on liian kuuma. Jos lämmönhallinnassa on vikatila, sen sensorit eivät toimi oikealla tavalla, jäähdytysaineen välittäminen ei onnistu tai sen ohjauksessa voi olla vikaa. (DNVGL Guideline 2015.)

6.4 Paloturvallisuus

Huoneissa, jotka sijaitsevat akkutilojen vieressä, tulee olla riittävä palonsuojaus. Riittävän suojauksen antaa, jos ne pitävät sisällään hyvät palontunnistuslaitteet, sekä palonsammutusjärjestelmät, jotka estävät palon leviämisen akkuhuoneisiin. On tarkastettava myös, pitääkö akkuhuoneen eristys sen riittävän koskemattomana mahdollisen viereisen huoneen tulipalon ajan. Mikäli palo saa alkunsa akkuhuoneessa, auttaa varhainen palon havaitseminen ja tehokkaampi viilennys pitämään paloa kurissa. (DNVGL Guideline 2015.)

Akkujen palosuojaukselle on omat toteuttamistavat. Näihin kuuluvat akunhallintajärjestelmän (BMS) oma sähkön- ja lämpötilanohjaus ilman manuaalista turva-toimenpiteiden käyttöönottoa. Soluissa tapahtuva lämmönsiirtyminen tulisi pitää minimissään, joten akkumoduulit on suunniteltu niin, että solusta soluun tapahtuva lämmönkarkaus on vähäistä. Jos lämpö kuitenkin pääsee etenemään moduulin sisällä, ei moduulin ulompi pinta saa ylittää kriittistä lämpötilaa, joka on noin 130 °C. Liekkejä ei saisi aiheutua akkumoduulin palon aikana. Mikäli moduulin suojaus ei toimi toivotulla tavalla, pitää viimeistään akkutilan palonsammutusjärjestelmien estää palon eteneminen moduuleiden sekä muun huoneen välillä. Tulen leviytyessä muihin akkupaketteihin pidetään tulipaloa hallitsemattomana. (DNVGL Guideline 2015.)

Tulipalon tapahtuessa akkuhuoneen ulkopuolella tulee ottaa huomioon, että palo ei saa aiheuttaa akkumoduuleiden lämpötilan nousua yli 70 °C kuin 30 minuutiksi. Jos akkukennojen lämpötila on ylittänyt akkuvalmistajan antaman maksimi lämpötilan, pitää akkujärjestelmä tarkistaa ja huoltaa akkuvalmistajan toimesta ennen kuin se voidaan ottaa taas käyttöön. Akkutilan lattia, seinät, ovet ja muut pinnat on oltava paloluokkaa A60, jonka on estettävä palon leviämistä 60 minuutin ajan. (DNVGL Guideline 2015.) A-luokan paloa eristävä rakenne tarkoittaa, ettei tulipalon sattuessa, tulipalon vastakkaisella puolella, rakenteen keskilämpö saa nousta yli 140 °C, eikä missään pisteessä yli 180 °C tietyn ajan sisällä. Lisäksi eristävän rakenteen täytyy olla tehty palamattomista materiaaleista eli teräksestä tai vastaavasta materiaalista. Aika, joka rakenteen täytyy lämpöä kestää, on riippuvainen rakenteen paloluokasta. A-60 paloluokka tarkoittaa, että aika, joka rakenteen täytyy lämpöä kestää, on 60 minuuttia. Alumiinirakenteissa ei A-, eikä B-luokan kantavan rakenteen sisäosan lämpötila saa nousta yli 200 °C ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Tällä estetään materiaalien ominaisuuksien muuttuminen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että alumiinirakenteet täytyy joko eristää molemmilta puolilta tai muulla tapaa estää palon suora kosketus rakenteeseen. (Laki aluksen teknisestä turvallisuudesta ja turvallisesta käytöstä)

Akkujen kemiallinen rakenne on tärkeää ottaa huomioon, kun aletaan miettiä tulipalon sammutusmetodeja, sillä veden käyttö litiumakkujen sammutuksessa saa aikaan vetyä, joka on erittäin helposti syttyvä kaasu. On tärkeää olla yhteydessä akkuvalmistajaan, joka parhaiten pystyy määrittelemään tarvittavat vaatimukset, sekä ammattilaiseen, joka on vastuussa palontorjuntajärjestelmistä. Voi myös olla mahdollista, että sammutustapoja joudutaan testaamaan ennen virallista päätöstä, jotta voidaan olla varmoja sammutustavan toimivuudesta ja turvallisuudesta. Traficomien ylitarkastaja Heikki Virtasen mukaan kuitenkin tällä hetkellä vallitseva käsitys on, että litiumioniakun palaessa vain vedellä jäähdyttäminen toimii.

Pitää kuitenkin ottaa huomioon myös se, että on normaalia, jos akkuhuoneeseen ei pääse ihmisiä palon aikana, joten se vaikuttaa myös siihen mihin sammutustapaan päädytään. Palon sattuessa litiumioni akuista vapautuu erilaisia kaasuja, joista suurin osa ovat palavia. Niistä vapautuu myös hiilimonoksidia, joka on myrkyllistä. Näin ollen ne vaikuttavat myös palon vakavuuteen ja voivat vaarantaa

ihmishengen. Jos sammutustavaksi valitaan vesi, täytyy sammutuksessa käytetty vesi hävittää turvallisesti, koska siihen on voinut sammutuksen aikana sekoittua vaarallisia kemikaaleja akuista. (Lloyd's Register 2015.)

7 YHTEENVETO

Polttomoottoreiden siirtyessä syrjään tulevina vuosina, vaihtoehtoisten energiamuotojen kysyntä tulee todennäköisesti kasvamaan räjähdysmäisesti. Hopealinjoilla olikin tarkoituksenaan olla ensimmäinen varustamo Suomessa, jolla olisi matkustajaliikenteessä täyssähköinen tai hybridijärjestelmällä varustettu laiva. Opinnäytetyöstä ilmenee se, että sähköä käyttävät järjestelmät eivät ole vielä tällä hetkellä käyttökustannuksiltaan halvempia kuin perinteiset polttomoottorit. Tällaisiin muutoksiin liittyy aina myös suuri alkuinvestointi ja kustannuksia ajatellen onkin vaikea perustella miksi perinteiset polttomoottorit kannattaisi vaihtaa ympäristöystävällisempään vaihtoehtoon. Tällaisessa projektissa ei voi kuitenkaan antaa kustannusten ajaa kaiken muun edelle vaan täytyy miettiä myös tulevaisuutta. Tammerkosken polttomoottorien korvaaminen sähkömoottoreilla vähentäisi hiilidioksidipäästöjä Tampereen keskusta-alueella n. 45 tonnia vuodessa sekä vähentäisi polttomoottoreista aiheutuvaa melusaastetta sataman läheisyydessä.

Opinnäytetyön pohjalta on Hopealinjojen mahdollista valita parhaiten itselleen sopiva laitteisto. Myös muut polttomoottoreiden korvaamista harkitsevat varustamot Suomessa voivat käyttää tätä opinnäytetyötä referenssinä esimerkiksi laiteoimittajia mietittäessä. Opinnäytetyö antaa myös käsityksen siitä minkälaisista projekteista on kyse muutostöiden osalta.

LÄHTEET

ABB Marine. n.d. Luettu 26.4.2021

<https://new.abb.com/marine>

ABB Suomi. n.d. Luettu 26.4.2021

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

Allstars Engineering. n.d. Luettu 26.4.2021

<https://www.aegroup.fi/fi/>

Axel Johnson International. n.d. Luettu 27.4.2021

<https://www.axinter.com/our-business-groups/driveline-solutions/>

European Committee for drawing up Standards in the field of Inland Navigation (CESNI). 2021. European Standard laying down Technical Requirements for Inland Navigation vessels (ES-TRIN). Luettu 22.4.2021

https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2020/10/ES_TRIN_2021_en.pdf

Danfoss Editron. n.d. Editron Marine. Luettu 25.4.2021.

<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/power-solutions/danfoss-editron/editron-marine/>

Delta Marin. n.d. Luettu 24.4.2021

<https://deltamarin.com/>

DNV. 2012. Tentative rules for battery power. Luettu 22.4.2021

<https://docplayer.net/35368038-Tentative-rules-for-battery-power.html>

DNVGL Guideline. 2015. DNV GL - Guideline for large maritime battery systems. Luettu 22.4.2021. <http://docplayer.net/29978233-Dnv-gl-guideline-for-large-maritime-battery-systems.html>

<http://docplayer.net/29978233-Dnv-gl-guideline-for-large-maritime-battery-systems.html>

Elomatic. n.d. Luettu 26.4.2021

<https://www.elomatic.com/fi/>

Finder. n.d. Customare Oy. Luettu 25.4.2021

<https://www.finder.fi/Suunnittelutoimisto/Customare+Oy/Turku/yhteystiedot/3113571>

Hopealinjat. n.d. Hopealinjojen laivasto. Luettu 25.4.2021

<https://www.hopealinjat.fi/laivasto/>

Lloyd's Register. 2015. Large battery installations. Luettu 22.4.2021.

Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

LST group Oy. n.d. Luettu 23.4.2021

<https://lst.fi/>

Schubert, M. Director commercial sales. M/S Tammerkoski retrofit. Sähköpostiviesti. Luettu 22.4.2021

Tampereen sähkölaitos. n.d. Sähköliittymähinnastot. Luettu 27.4.2021
<https://www.sahkolaitos.fi/tampereen-sahkoverkko/palvelut-ja-tuotteet/tuotteet-ja-hinnastot/sahkoliittymahinnastot/>

Tampereen sähkölaitos. n.d. Sähkön ja lämmön alkuperätiedot. Luettu 27.4.2021
https://www.sahkolaitos.fi/asiakaspalvelu/sahkon-ja-lammon-alkuperatiedot/#A_1

Traficom. 2015. Laki aluksen teknisestä turvallisuudesta ja turvallisesta käytöstä.

Torqueedo. n.d. Luettu 25.4.2021
<https://www.torqueedo.com/en>

Trans-Auto Suomi Oy. n.d. Luettu 27.4.2021
<https://www.transauto.fi/tervetuloa/>

Yrjölä, A. Sales manager. M/S Tammerkoski retrofit. Sähköpostiviesti. Luettu 22.4.2021

LIITTEET

Liite 1. Danfoss Editronin laitelista (Yrjölä)

| Pos. | Qty | Item | Type code | Power [kW] | Weight [kg] per piece | Dimensions [mm] | | | Notes |
|-------------------|-----|---|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|--------|-------|---|
| | | | | | | Length | Height | Depth | |
| 101GAA1 | 1 | Permanent magnet generator, liquid cooled, IP65 | EM-PMI375-T500-1800 | 90 kW _e @1800 rpm | 172 | 438 | 446 | 501 | |
| 101TBA1 | 1 | Inverter for generator, liquid cooled, IP67 | EC-C1200-450-L+MC120 | | 15 | 244 | 482 | 109 | |
| 101UCA1 | 1 | I/O Junction box for generator inverter with local control panel for generator inverter | | | 10 | 380 | 300 | 210 | |
| 001KEB1...002KEB1 | 2 | ECS (Editron Control System) | | | 70 | 760 | 760 | 210 | Power and Energy Management System and Propulsion Control System |
| 001UCA1 | 1 | DC-link cabinet, AN, IP23 | | | -500 | 1800 | 1700 | 510 | Preliminary dimensions and weight |
| 701MAA1...702MAA1 | 2 | Permanent magnet machine, liquid cooled, IP65 | EM-PMI375-T1100-1200 | 150 kW _m @1200 rpm | 295 | 628 | 446 | 501 | The propulsion motor does not have thrust bearing for propeller loads |
| 701TBB1...702TBB1 | 2 | Inverter for propulsion machine, liquid cooled, IP67 | EC-C1200-450-L+MC240 | 240 Arms | 15 | 244 | 482 | 109 | |
| 701UCA1...702UCA1 | 2 | I/O Junction box for one propulsion inverter with local control panel for propulsion inverter | | | 10 | 380 | 300 | 210 | |
| 701QAB1...702QAB1 | 2 | AC isolator for propulsion inverter | | | 20 | 400 | 500 | 210 | |
| 301TBA1 | 1 | Inverter for Shore transformer feed, liquid cooled, IP67 | EC-C1200-450-L+AFE350 | 277 | 17 | 244 | 482 | 205 | |
| 301TAA1 | 1 | Shore transformer with integrated LC-filter, WF, IP23 | VPI A/AI windings | 277 | 1120 | 1300 | 1520 | 940 | Water-cooled |
| 301UCA1 | 1 | I/O Junction box for single shore connection inverter | | | 2 | 300 | 300 | 210 | |
| 601TBB1...602TBB1 | 2 | Inverter for hotel transformer feed, liquid cooled, IP67 | EC-C1200-450-L+UG350 | 25 KVA | 15 | 244 | 482 | 109 | |
| 601TAA1...602TAA1 | 2 | Hotel transformer with integrated LC-filter, AN, IP23 | VPI A/AI windings | 25 KVA | -200 | 755 | 790 | 500 | Preliminary size and weight |
| 601UCA1...602UCA1 | 2 | I/O Junction box for one/two hotel inverter(s) with local control panel for hotel inverter(s) | | | 10 | 380 | 300 | 210 | |
| 201TAB1...202TAB1 | 2 | DC/DC converter for energy storage, liquid cooled, IP67 | EC-C1200-450-L+DC400 | 400 Adc.LV | 15 | 244 | 482 | 109 | |
| 201CBA1...202CBA1 | 2 | Inductor for DC/DC converter, liquid cooled, IP65 | EC-LTS1200-410 | 400 Adc | 23 | 403 | 147 | 287 | |
| 201UCA2...202UCA2 | 2 | Battery connection box | | | 60 | 600 | 800 | 251 | Suitable for max 5 parallel strings |
| 201UCA3...202UCA3 | 2 | I/O Junction box for single DC/DC inverter | | | 2 | 300 | 300 | 210 | |
| 001XZA1...XZA10 | 10 | X1 connection cable for inverter/converter/coil(hummel cable) | | | | | | | 10m Cable between inverter/converter/coil and its junction box |

