

Juho Pirinen

T490SN

VAIHTOEHTOISEN
SÄHKÖVOIMANKÄYTÖN
SUUNNITTELU SISÄVESILAIVAAN

Opinnäytetyö
Auto- ja Kuljetustekniikka


Tammikuu2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <b style="font-size: 2em;">MAMK University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 21.1.2014				
Tekijä(t) Juho Pirinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikan ko.				
Nimeke Vaihtoehtoisen sähkövoimankäytön suunnittelu sisävesilaivaan					
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella vaihtoehtoinen sähkövoimankäyttö/propulsiojärjestelmä nykyisen diesel-propulsiojärjestelmän rinnalle sisävesilaivaan. Kohdelaivana oli vuonna 2010 upoksista nostettu 19,5m pitkä ja 7,8m leveä Justiina-laiva. Päätaavoitteena oli parantaa käsiteltävyyttä. Sekundaarisena tavoitteena oli tutkia käyttökustannuksien pienentämisen mahdollisuutta.</p> <p>Työssä hyödynnettiin aiempia kokemuksia/tietoja erilaisista laivojen propulsiojärjestelmistä, joiden perusteella on päädytty keskittymään ruoripotkurivetolaitteeseen ja tasavirtasähkömoottoreihin ja niiden soveltamiseen tässä kohteessa. Suunnittelu toteutettiin laskennallisesti Microsoft Office 2010 Excel ohjelman pohjalle luodulla laskentaohjelmalla, joka on luotu tätä työtä varten. Suunnitelma on teoreettinen.</p> <p>Opinnäytetyön suunnitelmallinen tavoite saavutettiin hyvin tuloksin. Hintaa laitteistolle kertyy kuitenkin sen verran, että sitä ei vielä päästä rakentamaan. Laskelmat kuitenkin näyttävät niin positiivisilta, että laivaan tullaan tällainen sähkövoimankäyttö rakentamaan. Laskelmat osoittavat, että tällainen muutos pienentää käyttökustannuksia huomasti.</p>					
Asiasanat (avainsanat) Sähkö, tasasähkö, vesiliikenne					
Sivumäärä 16	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Kari Ehnrooth	Opinnäytetyön toimeksiantaja				

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 21.1.2014
Author(s) Juho Pirinen	Degree programme and option Automotive- and transport engineering	
Name of the bachelor's thesis Designing of an alternative electric power output to inland ship.		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis is to design an alternative electric power output/propulsion-system to inland ship. This ship has been sunken until it was raised up in autumn 2010. The ship is named Justina and it is 19,5m long 7,8m wide and weights about 60-tons. Main goal of this thesis is to improve handling of the ship. secondary goal is to lower the operating costs.</p> <p>The work draws on past experience / information on a variety of marine propulsionsystems on the basis of which have led to focus on the POD-drive and DC electric motors and their application in this location. Designing was implemented computationally with Microsoft Office 2010 Excel program. The design is theoretical.</p> <p>The target of this thesis was achieved with good results. However the price of such equipment is so high it has not yet been possible to construct. The calculations however, seem so positive that this kind of equipment will be build on this ship someday.</p>		
Subject headings, (keywords) Electricity, direct current, water transportation.		
Pages 16	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Kari Ehnrooth	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SÄHKÖ VOIMANLÄHTEENÄ	1
3	PROPULSIOJÄRJESTELMÄT	2
3.1	Ruoripotkurit ja keulapotkuri	3
3.2	Ajoakusto ja lataus.....	6
3.3	DC-moottorit eli tasavirtamoottorit	6
4	TYÖN TOTEUTUS	6
4.1	Vastuksien ja tehon määrittäminen	8
4.2	Akusto ja lataus.....	9
4.3	Ohjaus	10
5	TULOKSET	11
6	TULOSTEN TULKINTA.....	15
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	16
	LÄHTEET.....	1

Lyhenteet

Lifepo4=LithiumRautaPolymeeri

V = Voltti

Kwh = Kilowattitunti

Ah = Amppeeritunti

Rpm= Kierrosta minuutissa

Nm= newtonmetri

kgf= kilogramforce=9,81 N

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan sähkövoimankäyttö olemassa olevan dieselpropulsiojärjestelmän rinnalle sisävesilaivaan. Suunnittelu tehdään pääsääntöisesti las-kennallisesta näkökulmasta. Työn päätavoitteena on parantaa laivan käsiteltävyyttä ahtaissa paikoissa ja satamassa. Sekundaarisena tavoitteena on lisätä huippunopeutta ja vähentämään käyttökustannuksia.

Työssä hyödynnetään aiempia kokemuksia/tietoja erilaisista laivojen propulsiojärjes-telmistä, joiden perusteella on päädytty keskittymään ruoripotkurivetolaitteeseen ja tasavirtasähkömoottoreihin ja niiden soveltamiseen tässä kohteessa.

Työssä täytyy määrittää laivan rungon aiheuttama ajovastus, potkurin halkaisi-ja/nousu, potkurin vaatima akseliteho, tuulen aiheuttama sivuttainen työntövoima ja keulapotkurin työntövoima.. Näiden pohjalta voidaan määrittää tarvittava moottoriteho sekä akkukapasiteetti.

2 SÄHKÖ VOIMANLÄHTEENÄ

Sähköä on nykyisen tiedon mukaan kahdentyyppistä, vaihtosähköä (AC) ja tasasähköä (DC). Kotitalouksien pistorasiasta saatava sähkö on vaihtosähköä. Tämä tarkoittaa sitä,että sähkön polarisuus eli napaisuus vaihtuu tietyllä nopeudella jota kutsutaan taajuudeksi $1/s$ eli Hz. Napaisuuden muuttuminen aiheuttaa jonkin verran tehohäviöitä, mikä tekee vaihtosähköstä hieman huonomman vaihtoehdon kuin tasasähkö. Vaihtosähköä ei myöskään voi varastoida. Tasajännitteinen sähkö on parempi vaihtoehto ajoneuvokäytössä juurikin paremman hyötysuhteen ja varastoitavuuden vuoksi. Ta-sasähköä voidaan varastoida akkuihin.

Sähkövoimankäyttöjärjestelmiä on käytetty ajoneuvoissa jo 1900-luvun alusta lähtien kun ensimmäiset kaupalliset autot ilmestyivät. Sähköautot olivat viime vuosisadan alussa suosituimpia kuin polttomoottoriautot, kunnes polttomoottoriautot syrjäyttivät sähköauton. Tähän oli syynä lähinnä sähkön varastointitekniiikan kehittymättömyys. Nykyaikana sähkön varastointi ei enää ole niin suuri ongelma, ja tämän myötä sähköä käytetäänkin lähestulkoon kaikkialla. Sähköautokin on uudelleen valtaamassa alaa

automarkkinoilta. Jatkuvan päästöjenvähennyspainostuksen takia sähkömoottorit tulevat luultavasti syrjäyttämään polttomoottorit kokonaan, jos fossiilisille polttoaineille ei löydy sopivaa korvaajaa polttomoottorin polttoaineena.

Laivatekniikassa hybriditekniikka on ollut yleistä jo jonkin aikaa. Suuret valtamerialukset eivät liiku suoraan polttomoottorin voimalla, vaan polttomoottori pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä kaikkiin laivan kohteisiin, myös propulsiojärjestelmälle. Tämä vain siksi, että polttomoottori on epätaloudellinen suurimmalla osalla sen kierrosskaalasta. Kun polttomoottoria käytetään generaattorin pyörittämiseen, voidaan sitä käyttää optimaalisella kierrosalueella, tällöin polttomoottorista saadaan irti paras mahdollinen hyötysuhde.

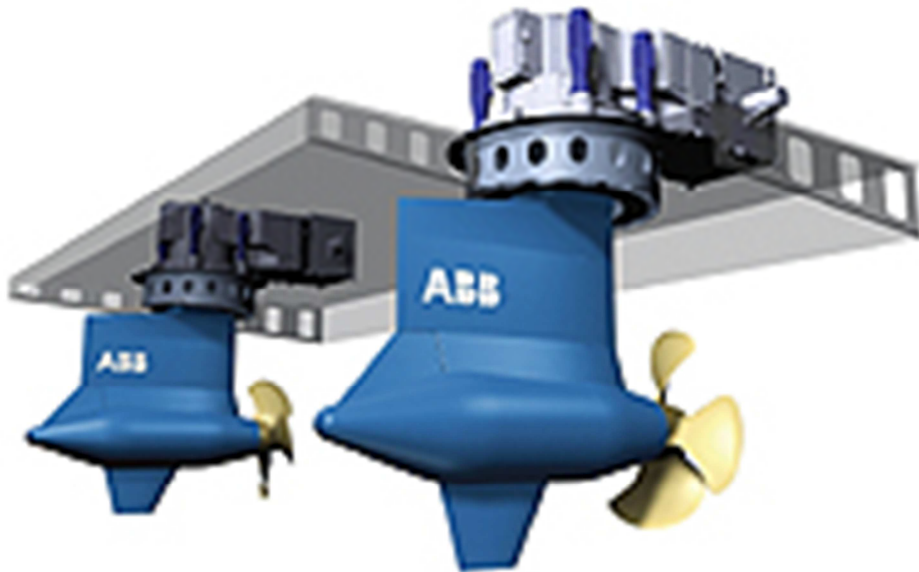
3 PROPULSIOJÄRJESTELMÄT

Propulsiojärjestelmä on sarja laitteita, joista alus saa liike-energiansa. Kaikkein yleisin laivojen ja veneiden propulsiojärjestelmä on diesel-propulsiojärjestelmä, jossa liikeenergia tuotetaan dieselmoottorilla ja johdetaan merivaihteen kautta suoraan akselia pitkin potkurille. Yleisesti suurien laivojen sähköinen propulsiojärjestelmä on dieselsähköinen propulsiojärjestelmä, jossa sähköä tuottaa dieselgeneraattori ja se johdetaan suoraan sähkömoottorien ohjaimille ilman, että sitä varastoidaan välissä akkuihin. (Sam Electronics, 4.)

Tässä työssä on rinnakkain kaksi propulsiojärjestelmää. Toinen on dieselsähköinen propulsiojärjestelmä, joka poikkeaa tavanomaisesta, koska pääsääntöisesti laivaa liikutetaan akkuihin varastoidun sähköenergian voimalla. Dieselgeneraattori on vain hätätilanteiden ja yllättävän lisävoiman tarpeen varalle. Toinen järjestelmä on puhtaasti dieselpropulsiojärjestelmä. Järjestelmä koostuu yhdestä dieselmoottorista laivan perässä, jolla voidaan tarvittaessa käyttää suoraan yhtä potkuria. Koska pohjarakenteessa ei ole peräsintä, toimii keskimäinen ruoripotkuri dieseljärjestelmän peräsimenä.

3.1 Ruoripotkurit ja keulapotkuri

Ruoripotkuri tai kääntöpotkuri on vetolaite, jossa potkuria voidaan kääntää pystyakselin ympäri 360°, jolloin laivan pohjarakenteesta voidaan jättää pois peräsin. Ruoripotkuri on yleensä toteutettu asentamalla sähkömoottori suoraan potkurin perään veden alle. Tällöin rakenteessa on mahdollisimman vähän kuluvia osia ja sähkömoottorin jäähdytys on helppoa. Tehohäviötä aiheuttava voimansiirto voidaan myös jättää kokonaan pois. Voimansiirrolla tarkoitetaan vaihteistoa tai alennusvaihdetta. Tehohäviön voimansiirrossa aiheuttaa ylimääräiset pyöritettävät massat ja öljy joka lämpiää osien pyöriessä. Näin ollen osa käytössä olevasta energiasta kuluu osien massojen pyörittämiseen ja öljyn lämmitykseen. Ruoripotkuri yhdessä keulapotkurin kanssa käytettynä mahdollistaa laivan ajamisen vaikka kylki edellä ja laivan kääntämisen itsensä ympäri paikallaan. Yksi esimerkki ruoripotkurivetolaitteesta on suomalaisen ABB:n vuonna -87 patentoima AZIPOD. ABB tuottaa AZIPOD-voimansiirtojärjestelmiä valtameriläivöihin ympäri maailmaa. Kuvassa 1 on esitetty eräs ruoripotkurimalli. (ABB.)



KUVA 1. Esimerkki ruoripotkurista (ABB, 2014)

Toinen esimerkki ruoripotkurista on AZIMUT-kääntöpotkuri (kuva 2).



KUVA 2. AZIMUT-Kääntöpotkuri (The motorship, 2010)

Jotta tarvittava moottoriteho ja potkurin mitat saadaan laskettua, täytyy ensin tietää laivan rungon aiheuttama ajovastus vedessä.

Veden ja rungon aiheuttama ajovastus saadaan laskettua kaavalla.

$$F = 0,5\mu\varphi Av^2 \quad (1)$$

F= Vastus (N)

μ = Vastuskerroin

φ = Veden tiheys(kg/m³)

A= Laivan veden alle jäävän osan otsapinta-ala

v= nopeus

Kun ajovastus on saatu määritettyä, voidaan sen perusteella laskea potkureiden vaatima akseliteho seuraavan kaavan mukaan.

$$P_e = \frac{K_\epsilon \left(\frac{Rch}{1000}\right)^{\frac{2}{3}}}{D_p} \quad (2)$$

P_e= Akseliteho (kW)

K_ε= Potkurikerroin (kolmella potkurilla 1,31)

R_{ch} = Rungon aiheuttama vastus (N)

D_p = Potkurin halkaisija

(Toni Arosuvi 2007, 37.)

Potkuritehon määrittämisen jälkeen potkurin nousun perusteella voidaan vaadittava pyörintänopeus.

$$rpm = \left(\frac{v_2}{\mu * h} \right) * 60s \quad (3)$$

V_2 = Virtausnopeus potkuritunnelissa potkurin jälkeen (m/s^2)

μ = Potkurin pitokerroin

h = Potkurin nousu (m)

Edellä olevan kaavan ratkaisemiseksi tarvitaan virtausnopeus v_2 joka saadaan kaavasta.

$$v_2 = \frac{Mf_{1r}}{F_p * \lambda} * T_{1r} + v_1 \quad (4)$$

Mf_{1r} = Potkurin yhden kierroksen massavirta ($m^3/1r$)

F_p = Yhden potkurin työntövoima (N)

λ = Veden ominaispaino Kg/m^3

T_{1r} = Yhteen potkurin kierrokseen kulunut aika (s)

v_1 = Haluttu laivan ajonopeus (m/s)

Potkuriakselin kierrosnopeudesta ja vaaditusta akselitehosta voidaan laskea potkuriakselin vääntömomentti.

$$M = P / (2\pi * 1/s) \quad (5)$$

M = Vääntömomentti (Nm)

P = Potkuriakseliteho(W)

$1/s$ = Potkuriakselin kierrosluku (1/s)

3.2 Ajoakusto ja lataus

Lyijy-happoakku on tällä hetkellä yleisin kulkuneuvojen sähkönvarastointi muoto, koska ne ovat halpoja ja niiden lataus on helppoa. Lyijy-happoakku on kuitenkin erittäin painava suhteessa siihen varastoituun energiaan. Hapokkujen käyttöikäkään ei ole hirveän pitkä. LiFePo₄-akut painavat noin yhden kolmasosan lyijyakkujen painosta, kun vertailuarvona on energian varastointikapasteetti.. Lifepo₄-akkujen vaihtovälikin on huomattavasti lyijyakkua suurempi, lyijyakun vaihtoikä on alle 200-sykliä (täysin tyhjäksi ja taas täyteen), kun taas LiFePo₄-akut kestävät yli 1000-sykliä. (Mikko Esala) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lyijyakku täytyy vaihtaa noin kerran kolmessa vuodessa, kun taas LiFePo₄ akut täytyy vaihtaa vain 10-vuoden välein. Vaihtoikä tulee täyteen, kun akun varauskapasiteetista on jäljellä enää 80 %.(Global World Logistic Ltd.) Litium-akku on myös täysin huoltovapaa, toisinkuin lyijy-happoakku johon täytyy aika-ajoin lisätä akkunestettä (tislattua vettä).

3.3 DC-moottorit eli tasavirtamoottorit

DC eli tasavirta moottorit toimivat jännitteellä jonka polarisuus/napaisuus ei muuttu vaan pysyy tasasuuntaisena. Aiemmin DC-moottorit ovat olleet suuria, painavia ja huonoja hyötysuhteeltaan, mutta moottorien ohjaustekniikan myötä ne ovat pienentyneet ja niiden hyötysuhteet ovat parantuneet (nykyään luokkaa 80-99%). DC-moottorien hyvänä puolena on nykyään myös tasainen vääntökäyttäytyminen. Ohjaislaitteella dc-moottorien vääntömomentti saadaan pysymään samana kaikilla kierrosnopeuksilla. Koska vääntö on kaikilla kierroksilla sama, on voimansiirron suunnittelu sähkömoottorien pohjalta helpompaa kuin polttomoottorien, joiden vääntömomentti muuttuu eri kierrosalueilla.

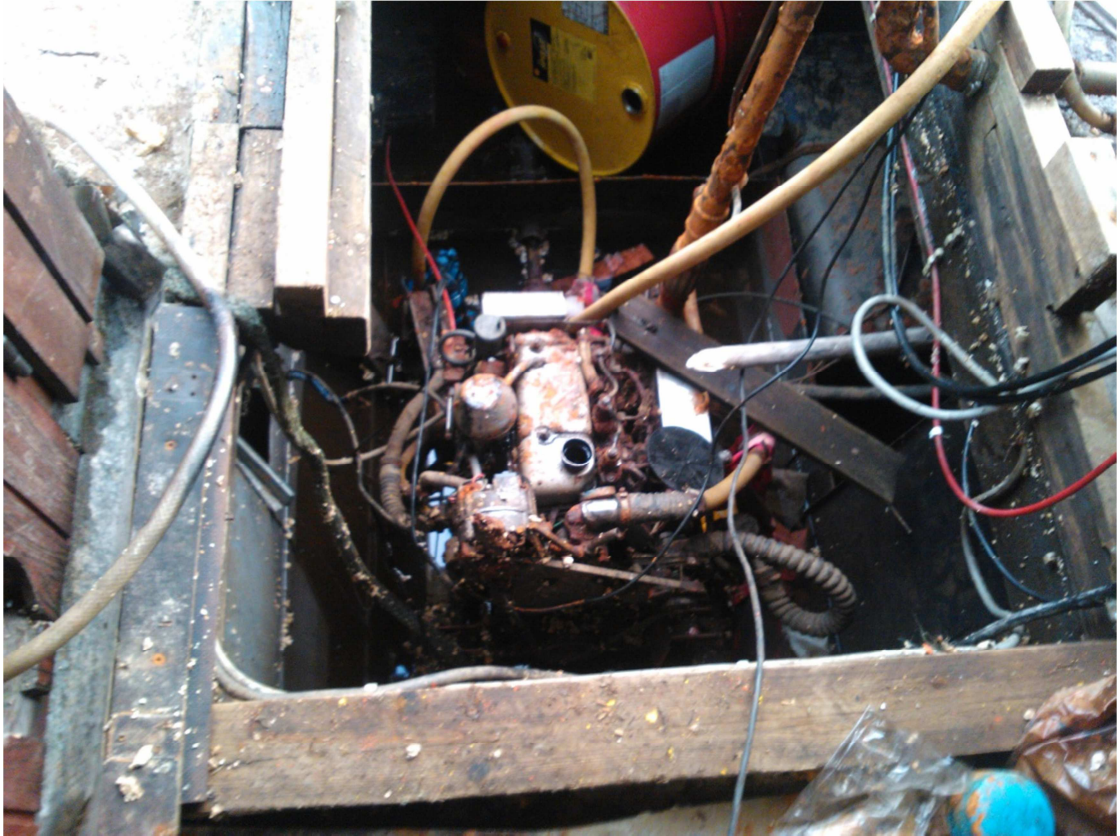
4 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön kohde-laivana on 19,5 m pitkä ja 7,8m leveä 60 tonnin painoinen Justiina-laiva, joka on alunperin rakennettu vuonna 1962. Laiva oli alun perin täysin puurunkoinen, mutta 80-luvulla se uudelleen rakennettiin teräs/betoni-runkoiseksi. Laiva

on tasapohjainen ja loivakeulainen, joten sillä on pieni kulkuvastus. Alkuperäisen omistajan kuoltua laiva jäi heitteille ja upposi. Syksyllä 2010 se vaihtoi omistajaa ja nostettiin takaisin pinnalle. Tämän jälkeen sitä on kunnostettu taas ajokuntoiseksi. Alkuperäinen moottori täytyi poistaa koska se oli upotessaan saanut vettä sisäänsä ja ruostunut. Moottori on nyt korvattu nykyaikaisemmalla Volkswagen LT:n 2,8 l dieselmoottorilla. Tämä moottori tuottaa 95hv/3500rpm ja 150nm/2200rpm.



KUVA 3. Kohdelaiva ennen pintaan nostoa.



KUVA 4. Alkuperäinen Perkins-meridiesel moottori

Tässä työssä käytetään kolmea ruoripotkuriyksikköä ja yhtä keulapotkuria. Ruoripotkuriston voimanlähteenä käytetään tasavirta-akusulkumoottoreita, jotka saavat käyttöjännitteensä akustosta erillisen ohjainlaitteen kautta. Moottoreiden tarvittavan tehon määrittäminen suoritettiin laskennallisesti Microsoft Office 2010 Excel-ohjelman avulla. Potkurin halkaisijalla ei ole rakenteellisen suunnittelun kannalta merkitystä, koska vetolaite voidaan rakentaa potkurin halkaisijan mukaan. Potkurin halkaisija kuitenkin pidetään suht. pienenä jotta laivan syväyksestä ei tule liian suuri. Potkuri asennetaan tunneliin, jotta veden virtaus potkurille olisi mahdollisimman tasainen ja potkurista saadaan paras mahdollinen työntövoima. Vapaassa vedessä pyörivä potkuri työntää vettä myös sivuille joka aiheuttaa häviön työntövoimassa. Tunneli suuntaa tämän sivuvoiman kohdistumaan taaksepäin parantaen työntöä.

4.1 Vastuksien ja tehon määrittäminen

Laivaan kohdistuvat ajovastukset ja tarvittava moottoriteho määriteltiin laskennallisesti. Laskenta suoritettiin Excel-pohjaisella laskentaohjelmalla, joka on luotu tätä opinnäytetyötä varten.

Kaikki laskenta täytyi aloittaa määrittelemällä ajovastus tietyllä ajonopeudella. Tämän laskemiseen hyödynnettiin auton ajovastuksien määrittelyssä käytettäviä kaavoja joita sovellettiin veneen rungon laskemiseen. Vastukset laskettiin tarkoituksella yläkanttiin jotta, tuulen aiheuttama lisävastus kompensoituu ja moottoreiden voima riittää varmasti. Laskennassa käytetty vastuskerroin on arvio. Koska laivan pohjan muoto ei rajoita potkurin halkaisijaa, voidaan potkuri mitoittaa siis halutun kierrosnopeuden mukaan.

4.2 Akusto ja lataus

Ajoakuston mitoitusperiaatteeksi on otettu vaatimus, että pelkkien akkujen varastomallalla energialla olisi mahdollisuus 13 km/h nopeudella noin viisi tuntia. Koska alus on niin suuri, ei suunnittelussa akuston painolla ole merkitystä muuten kuin sijoittelulisesta näkökulmasta. Akkuina kuitenkin käytetään nykyaikaisia LiFePo4 eli litiumrauta-polymeeri-akkuja, jotka ovat painoltaan vain noin 1/3 perinteisten lyijy-akkujen painosta. LiFePo4 akun energiatiheys on 145wh/kg. (Jani Rissanen, 2013). Ajoakuston painoksi siis tulee $136\text{kwh}/145\text{wh/kg}=938\text{kg}$ + kotelointitarvikkeet.



KUVA 5. 228v/100Ah LiFePo4-akku.(Shenzhen OPTIMUMNANO Energy Co.,Ltd. 2014)

Akut ladataan kahdella tapaa. Pääasiallisesti lataus suoritetaan satamassa maasähköön kytkettävällä laturilla. Jos energiaa tarvitaan enemmän, esimerkiksi myrskysäällä ajassa, jolloin täytyy käyttää kaikki tehoreservit, voidaan moottoreille tuottaa virtaa myös keulaan asennettavalla generaattorilla. Myöhemmin laivaan tullaan myös suunnittelemaan aurinkokennosto, josta saadaan tarvittava energia valaistukselle ja muille sähkölaitteille asuintiloissa.

4.3 Ohjaus

Koska laivan pohjarakenteesta jätetään ruoripotkurivetolaitteen vuoksi pois peräsin, täytyy ohjaus toteuttaa muilla keinoin. Tässä työssä ohjaus toteutetaan kaiken kaikkiaan kolmella eri tapaa. Satamassa ja ahtaissa paikoissa ohjaus hoidetaan potkureita kääntämällä ja keulapotkuria käyttämällä, jotta laiva kääntyisi mahdollisimman pienessä tilassa. Ruoripotkuriyksiköiden kääntö tapahtuu erillisten kääntömoottorien voimalla. Nämä moottorit voidaan mitoittaa vasta sitten kun tiedetään ruoripotkurin lopullinen muoto.



KUVA 6. Ruoripotkurin hallintalaite (ABB, 2014)

Pitkää matka-ajoa ajaessa kun ohjausliikkeet ovat pieniä ja/tai verrattain hitaita, hoidetaan ohjaus laitimmaisten potkureiden tehoa muuttamalla. Eli käytännössä niin että vähennetään sen puolen potkurin työntövoimaa jolle halutaan kääntyä ja lisätään vastakkaisen puolen potkurin työntövoimaa.

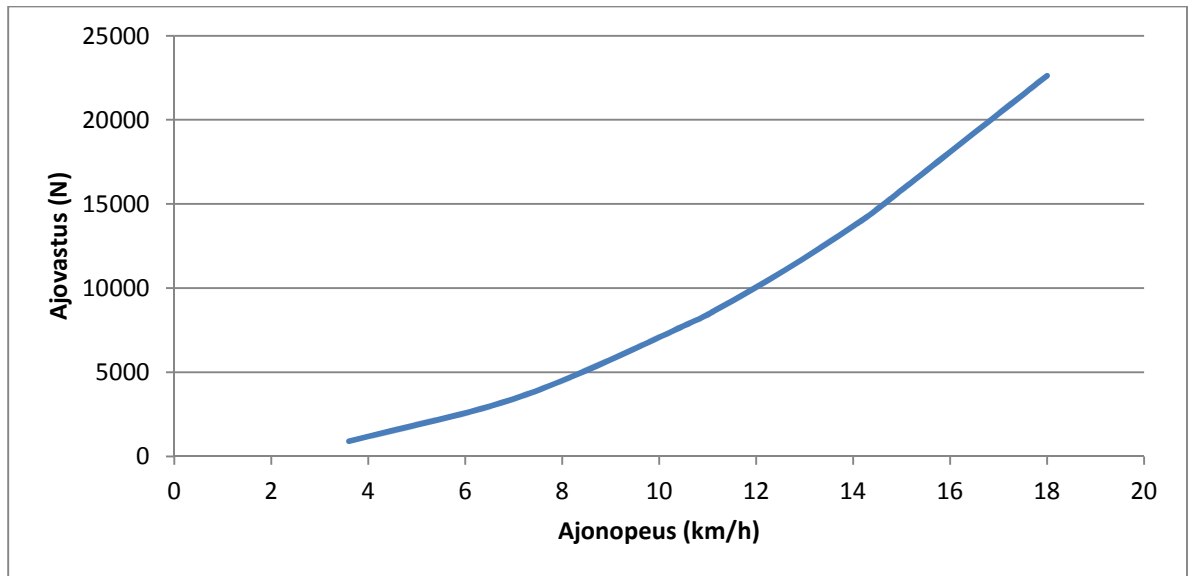
Pitkillä matka-ajoilla voidaan ohjata myös pelkästään keulapotkuria apuna käyttäen jolloin keulapotkurin sivuttaistyöntövoima muuttaa laivan kulkusuunnan. Tämä on kylläkin huonoin vaihtoehto ohjata matka-ajossa. Keulapotkurin hallintalaite on kuitenkin helppo asentaa minne vain, jos haluaa vaikka kansiohjauksen.



KUVA 7. Keulapotkurin hallintalaite (Nautic expo. 2014)

5 TULOKSET

Ajovastus saatiin määritettyä kaavan (1) mukaan. Ajovastuksen numeroarvoksi saatiin tällä kaavalla 12386,71 N ajonopeuden ollessa 13 km/h. Tässä laskussa ei ole kuitenkaan huomioitu tuulen aiheuttamaa lisävastusta, joten tulos kerrotaan kertoimelle 1,5, jotta moottoreiden teho riittää kaikissa olosuhteissa. Näin ollen ajovastuksen arvoksi saatiin 18580,07 N. Kaavalla saadut tulokset esitetty graafisesti kuvassa 5.



KUVA 8. Aiovastus ajonopeuden funktiona

Excel-laskentaohjelmaa apuna käyttäen voitiin määrittää potkurin mitat haluttujen arvojen perusteella. Tässä työssä käytettiin raja-arvoina potkuriakselin pyörintänopeutta max 1000 rpm ja potkurin kehänopeutta max 30 m/s. Näillä raja-arvoilla päädyttiin potkuriin, jonka halkaisija on 26” ja nousu 23”, jolloin kierrosluvuksi matkaajonopeudella 13 km/h jää 831 rpm ja potkurin kehänopeudeksi 28,7 m/s. Potkuriakselin vaatima teho on tällaisella potkurilla 6,9kW. Potkuriakselille tarvittava vääntömomentti saadaan nyt laskettua tehon ja kierrosluvun perusteella. Kaava (5)

$$\frac{6900w}{2 * \pi * 13.85 \text{ 1/s}} = 79,29Nm$$

Tässä tapauksessa potkuriakselin vääntömomentti on 79,3Nm. Näiden tulosten perusteella moottoriksi sopisi esimerkiksi Tai'an Sunshine Power Electric Machinery Co., Ltd. yrityksen valmistama harjaton 36kW tasavirtamoottori. kytkettynä suoraan potkuriakseliin. (Tai'an Sunshine Power Electric Machinery Co., Ltd.) Moottorin valmistaja lupaa moottorille 94,5 % hyötysuhteen. Taulukossa 1 on esitetty valmistajan ilmoittamat moottorin arvot.

TAULUKKO 1. Moottorien suorituskyky (Tai'an Sunshine Power Electric Machinery Co., Ltd.)

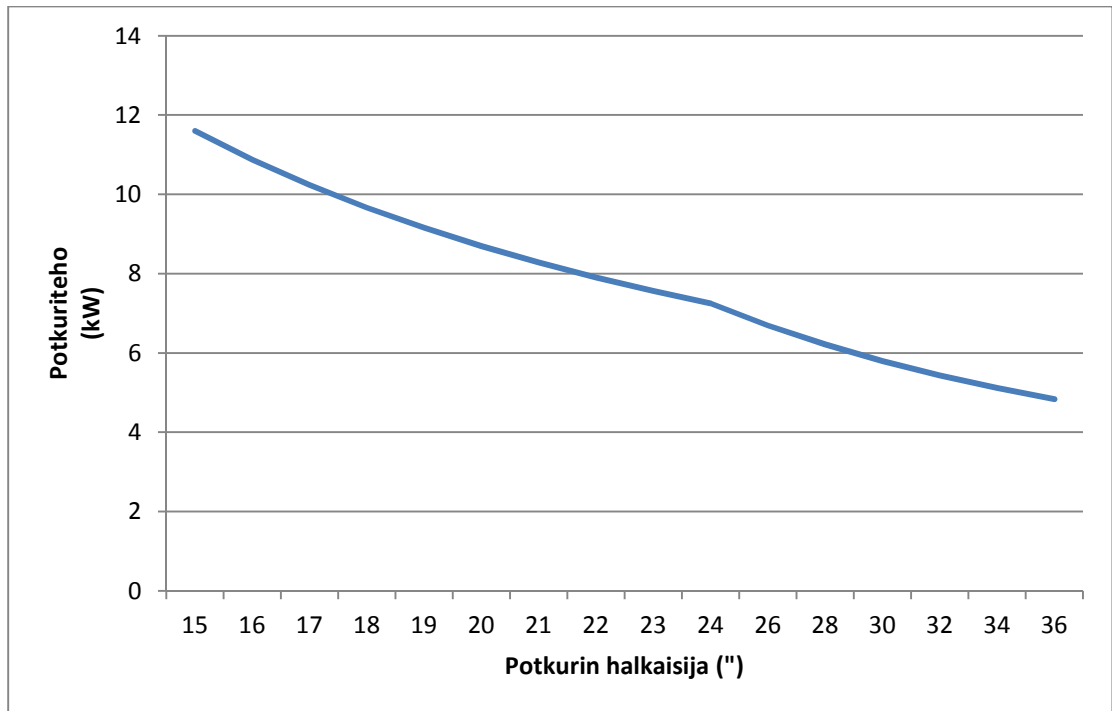
Power	Battery Voltage	Speed	Rated Torque	Peak Torque	Peak Power	Current	Peak Current	Efficiency	Weight
35 kw	228 V	3500 rpm	95,5 Nm	210 Nm	75 kW	181,5 A	350 A	94,5 %	162 kg

Tällä potkurin pyörintänopeudella moottori voi tuottaa jatkuvan 95,5Nm vääntömomentin ja tällä vääntömomentilla akseliteho on 8,2 kW. Tämä on hyvä, sillä moottoria ei tarvitse kuormittaa edes nimellisteholla jotta saadaan tuotettua riittävä työntövoima. Moottori toimii optimaalisesti ja sen käyttöikä kasvaa.

Tarvittava akkukapasiteetti saadaan laskettua tarvittavan potkuritehon perusteella. Potkuritehon suhde potkurin halkaisijaan on esitetty kuvassa 6. Tässäkin kohtaa lasketaan hieman. Valmistaja ilmoittaa että moottorin hyötysuhde on 94,5% mutta laskennassa käytetään 80%. Näin ollen akkukapasiteetiksi saadaan

$$(6,9 \text{ kW}/0,8) * 3 * 5\text{h} = 129 \text{ kWh} \rightarrow 129 \text{ kWh}/228 \text{ V} = 565,8 \text{ Ah}$$

Tällaisen akuston voi rakentaa esimerkiksi yhdistämällä 6 kpl 228v/100Ah LiFePo4-akkua, jolloin kokonaiskapasiteetiksi saadaan $600 \text{ Ah} * 228 \text{ V} = 136 \text{ kWh}$. (Shenzhen OPTIMUMNANO Energy Co.,Ltd.)



KUVA 9. Akseliteho potkurihalkaisijan funktiona

Akkujen latausajan ei tarvitse olla läheskään niin lyhyt kuin esimerkiksi sähköautolla, jolla ajetaan päivittäin. Riittävä latausaika on tässä tapauksessa 48h. Laturin tulisi siis olla $136 \text{ kWh}/48 \text{ h} = 2,8 \text{ kW}$. Keulaan asennettavan generaattorin tulisi kuitenkin olla tuotoltaan hieman suurempi kuin sähkömoottoreiden kulutus matkanopeudella, eli

$$\frac{6,9 \text{ kW}}{0,95} * 3 * 1,5 = 32,7 \text{ kW}$$

Keulapotkurin työntövoiman laskemiseksi täytyy tietää tuulen aiheuttama työntövoima ja keulapotkurin etäisyys laivan perästä. Tässä tilanteessa lasketaan huonoin tilanne mihin sisävesillä voi olettaa joutuvansa, eli myrskytuuli nopeudella 33m/s. Tuulen aiheuttama työntövoima on laivan kylkipinta-ala*tuulen nopeus*ilman ominaispaino*0,5. Potkurin työntövoima saadaan laskettua seuraavasti: tuulen työntövoima*tuulen työntöpisteen etäisyys perästä/potkurin etäisyys perästä. Näin ollen keulapotkurin työntövoimaksi saadaan

$$\frac{37 \text{ m}^2 * 32 \text{ m/s} * 1,29 \text{ kg/m}^3}{2} * 9,75/17 \text{ m} = 438 \text{ N}$$

Tämän mukaan keulapotkuriksi on valittu Thruster 170-24 keulapotkuriyksikkö jonka työntövoima on $170 \text{ kgf} = 1667,7 \text{ N}$. Näin suuri ylimitoitus vain siksi, että keula kääntysisinopeasti normaalioloissa ja työntövoima riittää myös myrskysäällä ajettaessa. Keulapotkuriksi valittiin sähkökäyttöinen yksikkö, jotta sille ei tarvitse rakentaa erillistä hydraulikkajärjestelmää.

TAULUKKO 2. Sähkökäyttöiset Thruster keulapotkuriyksiköt (Tapimer Oy.)

Tyyppi Type	Jännite V	Teho kW	Työntö Kgf	Potkuri	Tunneli	Lämpösulake
THRUSTER 35-12	12	2,4	35	7-lapainen	110 mm	on
THRUSTER 55-12	12	3,5	60	7-lapainen	150 mm	on
THRUSTER 80-12	12	4	80	7-lapainen	185 mm	on
THRUSTER 80-24	24	4	80	7-lapainen	185 mm	on
THRUSTER 95-24	24	6,5	95	7-lapainen	185 mm	on
THRUSTER 115-24	24	6,5	115	7-lapainen	185 mm	on
THRUSTER 125-12	12	6,5	125	7-lapainen	250 mm	on
THRUSTER 150-24	24	6,5	150	7-lapainen	250 mm	on
THRUSTER 170-24	24	11,3	170	7-lapainen	250 mm	on

6 TULOSTEN TULKINTA

Tuloksista nähdään, että ajovastus on nopeuden suhteen eksponentiaalisesti kasvava suure. Kun nopeus kaksinkertaistuu, vastus nelinkertaistuu ja näin ollen myös tarvitta-

va moottorin vääntömomentti kasvaa. Moottorin vääntömomentti ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen ajovastukseen, vaan on riippuvainen potkurin halkaisijasta ja potkuriakselin pyörintänopeudesta. Keulapotkurin työntövoima on taas riippuvainen tuulen nopeudesta ja laivan kylkipinta-alasta. Akusto rakennetaan kuudesta 228v/100ah LiFePo4 akusta. Tällaisella akustolla ja näillä moottoreilla voidaan 13km/h matkanopeutta ajaa hieman yli viisi tuntia täydellä latauksella ilman että akut hupenevat täysin tyhjäksi. Litium akkuja ei saa tyhjentää kokonaan tai niiden kapasiteetti voi huonontua pysyvästi. Laivan keulaan asennettava 33kW generaattori riittää moottoreiden energian tuottajana niin että sitä ei tarvitse käyttää täydellä teholla. Tämän akuston latausajaksi riittää 48h koska laiva on hupikäytössä ja sillä ajetaan yleisesti viikonloppuisin eli neljän vuorokauden(96 h) seisonnan välein.

Eli laiva seisoo satamassa 96 h ajokertojen välissä. Jos laivalla ajetaan yllättäen enemmän, voidaan generaattorilla tuottaa tarvittava lisäenergia. Normaalisti lataukseen riittää 2.8 kw verkkovirtalaturi. Tämä on sopivan kokoinen laturi satamalataukseen koska satamassa on yleensä 16A sulakekoko jolloin suurin mahdollinen laturi joka ei polta sulaketta laiturista olisi $230v \cdot 16A = 3680w$ eli 3,68kw.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön suunnitelmallinen tavoite saavutettiin hyvin tuloksin. Hintaa laitteistolle kertyy kuitenkin sen, verran että sitä ei vielä päästä rakentamaan. Laskelmat kuitenkin näyttävät niin positiivisilta, että laivaan tullaan tällainen sähkövoimankäyttö rakentamaan. Laskennan perusteella ei pitkällä aikajänteellä ole mitään hyvää syytä pitää dieseliä ainoana voimanlähteenä. Etelä-Savon Energia oy:n tämän hetkisen sähkön hintatason mukaan ajokustannukseksi sähkön osalta jää $7,53 \text{ snt/kWh} \cdot 24 \text{ kW} = 1,8 \text{ €/h}$. Tämä on erittäin edullista verrattuna esimerkiksi tämän laivan alkuperäiseen moottoriin, jonka keskimääräinen litrahinta Mikkelissä tämän työn tekohetkellä 1,532 €/l. Tällä litrahinnalla ajokustannuksiksi kertyisi 9,65 €/h eli yli 5 kertaa enemmän.

LÄHTEET

ABB. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/b0d170e37c6f7ff7c125765e002ac263.aspx>.
WWW-dokumentti. päivitetty 22.1.2014.

Global World Logistic Ltd <http://www.ev-power.eu/LiFePO4-w-PCM-6V-12V/LiFePO4-Battery-Pack-12V-12Ah-PCM.html>. WWW-dokumentti. ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2014

Jani Rissanen, Nykyaikaisen akkujärjestelmän käyttö rautatieympäristössä.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61295/Rissanen_Jani.pdf?sequence=1.
PDF-dokumentti. 20.5.2013.

Sam electronics. Diesel-Electric Propulsion Systems. PDF-dokumentti.
<http://www.sam-electronics.de/dateien/pad/broschueren/1.002.pdf>. Ei päivitystietoja .
Luettu 19.1.2014.

Nautic expo. WWW.dokumentti. <http://www.nauticexpo.com/prod/craftsman-marine-db-innovation/control-joysticks-boat-bow-thrusters-32849-367588.html>. Ei päivitystietoja. luettu 23.1.2014.

Mikko Esala. Suljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. PDF-dokumentti.
<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf>. Ei päivitystietoja.
Luettu 20.1.2014

Shenzhen OPTIMUMNANO Energy Co.,Ltd . WWW-dokumentti.http://www.alibaba.com/product-gs/257847574/electric_bus_battery_228v_100AH_lifepo4.html. Ei päivitystietoja.
Luettu 20.1.2014.

Tai'an Sunshine Power Electric Machinery Co., Ltd. WWW-dokumentti..
http://taygdl.en.alibaba.com/product/427574492-212129666/35kW_Brushless_PM_Motor_for_Vehicle_With_Drive.html. Ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2014

The motorship. <http://www.motorship.com/news101/industry-news/berg-thrusters-upgrade-cable-layer>. WWW-dokumentti. 13.10.2014

Toni Arosuvi, Merivoimien apualuksen propulsiojärjestelmä ja sen kehitysmahdollisuudet. PDFokumentti
[.https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74277/SM277.pdf?sequence=1](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74277/SM277.pdf?sequence=1). Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2014.

