

Julius Hagelberg

AURINKOSÄHKÖ- JA AKKUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU
VENEeseen

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2017

AURINKOSÄHKÖ- JA AKKUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU VENEeseen

Hagelberg, Julius
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2017
Ohjaaja: Ylinen, Marko
Sivumäärä: 27
Liitteitä: 8

Asiasanat: akku, aurinkopaneeli, vene, sähkösuunnittelu

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä aurinkosähkö- ja akkujärjestelmän sähkösuunnitelma Satakunnan ammattikorkeakoulun omistamaan pienoismallialukseen. Hanke toteutettiin yhteistyöprojektina Rolls Royce Oy:n ja Winnova Oy:n kanssa. Työn tilaajana toimi Rolls Royce Oy. Alusta on tarkoitus tulla käyttämään koulutukseen sekä tutkimukseen ja siitä tehdään täysin autonominen eli itsenäiseen operointiin kykenevä ja täysin sähköllä toimiva.

Työssä on perehdytty erityisesti aurinkosähkö- ja akkujärjestelmään sekä sen mitoittamiseen ja järjestelmän keskeisiin komponentteihin. Työ oli pitkälti projekti luonteinen ja pohjatiedot halutusta järjestelmästä olivat suhteellisen selkeät, vaikka matkalla tulikin jonkin verran muutoksia.

Tavoitteena oli saada aikaan sähkösuunnitelma sisältäen sähkökuvat, laitevalinnat sekä järjestelmän mitoituksen. Järjestelmän asennuksen hoitaa Winnova Oy:n opiskelijat.

PHOTOVOLTAIC AND BATTERY SYSTEM PLANNING TO THE VESSEL

Hagelberg, Julius
Satakunta University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering
March 2017
Supervisor: Ylinen, Marko
Number of pages: 27
Appendices: 8

Keywords: battery, solar panel, vessel, electrical design

The subject of this thesis was to design the photovoltaic and battery system to scale model vessel owned by Satakunta university of applied sciences. The project was carried out as cooperation with Rolls Royce Oy and Winnova Oy. The orderer of the task was Rolls Royce Oy. It is intended to use the boat for education and research and it is made in totally autonomous, in other words being able to do an independent operation and totally operating with the electricity.

In the work, it has been especially get acquainted as the photovoltaic and battery system both it dimensioning and essential components. The work was largely a project type and the bottom information's was relatively clear about the desired system even though on the way some changes came.

The objective was to achieve electricity plan containing electric drawings, component choices and the dimensioning of the system. The system installation is carried out by students of Winnova Oy.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PROJEKTI	7
2.1	Yleistä	7
2.2	Aikataulu	7
2.3	Budjetti	7
2.4	Sähkösuunnittelu	8
	Järjestelmän mitoitus	8
	Komponenttivalinnat	8
	Kuvien piirtäminen sekä kaapeleiden mitoitus ja valinta	8
3	PIENOISMALLIALUS	9
3.1	Historia	9
3.2	Tekniset tiedot	9
4	VANHA SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	10
4.1	Rakenne	10
5	UUSI SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	11
5.1	Rakenne	11
5.2	24 VDC Pääjakelujärjestelmä	12
5.3	12 VDC Apusähköjärjestelmä	12
5.4	230 VAC Järjestelmä	12
	5.4.1 Invertterit	13
6	AKUSTO	14
6.1	Yleistä	14
6.2	Mitoitus	14
	6.2.1 Laskelmat	14
6.3	Akkujen valinta	15
	6.3.1 Akun purkausajan vaikutus kapasiteettiin	16
6.4	Akustojen eristäminen FET-diodeilla	16
6.5	Akkujen lataus	17
6.6	Yhteenveto	17
7	AURINKOSÄHJÖJÄRJESTELMÄ	18
7.1	Yleistä	18
7.2	Järjestelmän rakenne	18
7.3	Aurinkopaneelit	19

7.3.1	Aurinkopaneelien toimintaperiaate	19
7.4	Lataussäätimet	20
7.4.1	MPPT-Säätimen toimintaperiaate	21
8	MOOTTORIT JA TAAJUUSMUTTAJAT	22
8.1	Potkurimoottorit.....	22
8.2	Ohjauslaitteiden moottorit	23
8.3	Taajuusmuuttajat.....	23
9	KAAPELIT	24
9.1	Tasavirtajärjestelmän kaapelit	24
9.1.1	Mitoitus	24
9.1.2	Aurinkopaneelien kaapelit.....	25
9.2	Vaihtosähköjärjestelmän kaapelit.....	25
9.2.1	EMC-suojaus	26
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	
1.	Aluksen pääjakelukaavio	
2.	24 VDC keskuskaavio	
3.	230 VAC keskuskaavio	
4.	12 VDC keskuskaavio	
5.	Maasähkölataus keskuskaavio	
6.	Rolls akun datalehti	
7.	Akun kapasiteetti purkausajan funktiona	
8.	Komponenttilista	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on aurinkosähkö- ja akkujärjestelmän sähkösuunnittelu autonomiseen pienoismallialukseen. Työn tilaajana toimii Rolls Royce Oy, mutta alus on Satakunnan ammattikorkeakoulun omistama. Rolls Royce Oy vastaa mm. projektin rahoituksesta sekä esittää toivomuksia ja näkökulmia projektin toteutukseen.

Alus on 1:14,72 mittakaavalla valmistettu pienoismalli M/S Society Adventure risteilyaluksesta. Pienoismalli on valmistunut vuonna 1993 Rauman Merenkulkuoppilaitoksen opiskelijoiden toimesta. Alus on ollut ennen kahden ihmisen ajettava ja sähköenergia on tuotettu bensiinikäyttöisellä generaattorilla. Satakunnan ammattikorkeakoulun, Winnova Oy:n ja Rolls Royce Oy:n aloittaman yhteistyöprojektin tavoitteena on muuttaa aluksesta autonominen eli täysin itsenäiseen operointiin kykenevä sekä täysin sähköllä liikkuva ja toimiva. Alusta on tarkoitus hyödyntää opetus sekä tutkimuskäytössä. Päämääränä on tehdä aluksesta Rolls Roycen autonomisen konseptilaivan näköinen ja kaikkien viranomaismääräysten mukainen.

Tämä opinnäytetyö on rajattu sisältämään aluksen sähkösuunnittelu, sisältäen järjestelmän mitoituksen, sähkökuvien piirtämisen sekä komponentti ja laitevalinnat. Työssä käydään läpi myös projektin perustiedot ja kulku lyhyesti, sekä perehdytään lyhyesti yleisellä tasolla aurinkosähköön ja sen komponentteihin.

2 PROJEKTI

2.1 Yleistä

Projekti on Satakunnan ammattikorkeakoulun, Winnova Oy:n sekä Rolls Royce Oy:n kanssa toteutettava yhteistyöprojekti. SAMK:in tehtävänä on käytännössä johtaa projektia, pitää huoli budjetista sekä vastata suunnittelusta. Winnovan osuus sisältää rakentamisen sekä asennustyöt. Rolls Royce toimii työn tilaajana sekä projektin rahoittajana.

Projektin tarkoituksena on tehdä pienoismallialuksesta etähallittava autonomiseen operointiin kykenevä sekä rakentaa etäohjauskeskus SAMK:in ja Winnovan tiloihin Rauman kampukselle. Tällä uudistetulla aluksella on tarkoitus tutkia etähallittavan ja autonomisen aluksen mahdollisuuksia, kehittää siihen liittyvää tekniikkaa sekä käyttää alusta koulutus-, tutkimus- ja innovaatioympäristönä.

2.2 Aikataulu

Projekti aloitettiin syksyllä 2016 tuomalla alus Winnovan tiloihin valmisteltavaksi. Aluksen ja sen sähköjärjestelmän suunnittelu sekä laitteistojen kartoitus aloitettiin käytännössä samaan aikaan. Suunnitelman mukaan alus on tarkoitus rakentaa kesään 2017 mennessä sellaiseen kuntoon, että sitä pystyttäisiin etäkäyttämään ohjaushuoneesta. Syksyn 2017 ja talven 2018 aikana alukseen on suunnitelman mukaan tarkoitus kehittää, asentaa ja testata itsenäiseen operointiin ja autonomisen matkan tekemiseen tarvittava automatiikka.

2.3 Budjetti

Sähköjärjestelmän ja automaation osalta annettu budjetti on 15 000 € sisältäen kaikki sähköjärjestelmän komponentit ja laitteet. Sähköjärjestelmä on yksi aluksen kalleimmista ja fyysisesti eniten tilaa vievistä kokonaisuuksista. Kauko-ohjauksen komponentteja, tutkaa, ohjauskeskuksen laitteistoja sekä kansirakenteiden suunnittelua varten on varattu noin 50 000 euroa.

2.4 Sähkösuunnittelu

Seuraavassa on kuvattu aluksen sähkösuunnittelun eteneminen ja sen kannalta keskeisimmät vaiheet lyhyesti järjestyksessä. Käytännössä sähkösuunnittelun voi jakaa alla esiteltyihin kolmeen vaiheeseen.

Järjestelmän mitoitus

Sähkösuunnitelman ensimmäinen vaihe oli järjestelmän sekä akuston mitoitus. Mitoitus tehtiin Winnovalta saatujen kuormatietojen perusteella ja se on tehty yksinkertaisilla perus laskelmilla. Mitoitus vaiheen voi jakaa käytännössä kahteen osaan, joista ensimmäinen oli akuston mitoitus ja toinen järjestelmän komponenttien mitoitus.

Komponenttivalinnat

Mitoituksen jälkeen saatujen tuloksien perusteella tehtiin komponenttivalinnat. Tässä työssä tehdyt komponenttivalinnat koskevat sähköjärjestelmän suurimpia ja merkittävimpiä komponentteja, kuten akustoa, aurinkopaneeleita ja tehoelektroniikan laitteita. Tämä työ vaihe ei pidä sisällään pientarvikkeita kuten riviliittäimiä. Komponenttivalintoja tehdessä on otettu huomioon hinnat, saatavuus, soveltuvuus asennusympäristöön sekä Rolls Roycen toiveet.

Kuvien piirtäminen sekä kaapeleiden mitoitus ja valinta

Sähkökuvien piirtäminen sekä kaapeleiden mitoitus ja valinta tehtiin yhdessä, viimeisenä työvaiheena. Kuvien piirtäminen käsittää aluksen pääkaavion ja keskuskaavioiden piirtämisen. Kuvat piirrettiin CADS Electric 17 ohjelmalla. Kaapeleiden mitoituksessa on käytetty apuna laskuria ja kaapelivalmistajan tietoja, jotka on kuvattu työssä tarkemmin. Työssä on esitelty myös kaapeli valinnat ja muut kaapelointiin liittyvät asiat. Kaapeli tyyppien valitsemisessa ja soveltuvuuden arvioinnissa on haastateltu SAMK:in ja Winnovan asiantuntijoita. (Ylinen, Laine henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017)

3 PIENOISMALLIALUS

3.1 Historia

Alus on pienoismalli M/S SOCIETY ADVENTURE risteilyaluksesta, joka on valmistettu Raumalla Oy Finnyards Ltd:n telakalla. Itse pienoismalli on saapunut Raumalle syksyllä 1992. Se on saanut alkunsa Hollannissa Maritime Research Institute Netherlandsin (MARIN) toimesta. Alus on ollut tuolloin pelkkä vedenalaisen osan käsittävä malli ja tehty alun perin uittokokeita varten. Rauman merikoululle se päätyi lopulta Oy Finnyards Ltd:n telakan kautta. Merikoululla se päätettiin rakentaa loppuun vastaamaan alkuperäistä alusta muodoiltaan ja ominaisuuksiltaan. Alus valmistui 1993. (Markkanen 1993, 2.)

3.2 Tekniset tiedot

Pienoismallin mittakaava on 1:14,72. Rungon materiaali on kuidutettua puuta. Veneen kokonaispituus on noin 8,44 m, leveys 1,22 m, korkeus 0,6 m ja syväys 0,32 m, uudistetussa mallissa syväys tulee kuitenkin hieman kasvamaan.

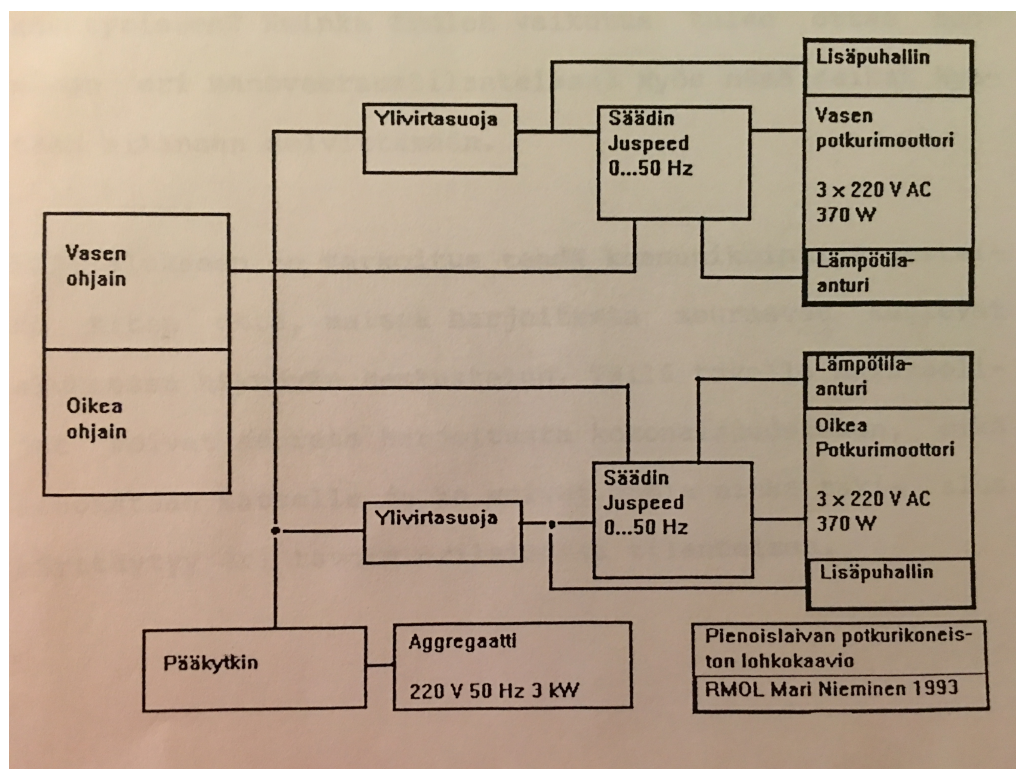
Veneessä on kaksi pääpotkuria, joiden yhteenlaskettu teho on 0,750 kW. Potkuri tehottullaan pitämään samana myös uudistetussa mallissa. Potkureita on pyörittänyt normaalit kolmivaihe oikosulkumoottorit, jotka ovat olleet taajuusmuuttaja ohjattuja, samaa periaatetta sovelletaan myös uudessa mallissa. Moottoreiden ja aluksen muu sähköenergia on tuotettu 3 kW tehoisella yksivaiheisella vaihtovirtageneraattorilla. Generaattoria on pyörittänyt 4-tahtinen yksisylinterinen 4,3 kW tehoinen bensiinimoottori. Aluksen nopeus on noin 6 kn. (Markkanen 1993, 2, 4, 10, 13, 15, 16.) Uudistetussa mallissa bensiinimoottori tullaan poistamaan ja sähköenergia saadaan siis täysin aurinkosähkö- ja akkujärjestelmästä.

4 VANHA SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Seuraavassa luvussa käydään läpi aluksen vanhan sähköjärjestelmän rakenne kaaviokuvineen. Vanha järjestelmä tullaan uusimaan käytännössä kaikilta osin, siinä on silti joitakin yhtäläisyyksiä uuden järjestelmän kanssa. Vanha järjestelmä on myös varsin yksinkertainen, sillä aluksessa ei ole ollut käytännössä mitään automatiikkaa.

4.1 Rakenne

Vanha sähköjärjestelmä koostui 220 V vaihtosähköjärjestelmästä sekä 12 V tasasähköjärjestelmästä. Vanha järjestelmä oli hyvin yksinkertainen uuteen verrattuna. Vaihtosähköjärjestelmä on tehty potkureita sekä keulaohjauslaitteen vesipumppua pyörittäviä oikosulkumoottoreita, potkurimoottoreita syöttäviä taajuusmuuttajia, konekäskynvälittimiä sekä tarvittavia jäähdytysilmapuhaltimia varten. Tasasähköjärjestelmä on tehty valaistusta, navigointilaitteita sekä kaikuluotainta varten. Järjestelmää syöttää akusto jota ladataan moottorigeneraattoriin liitetyllä akkulaturilla. (Markkanen 1993, 18.)

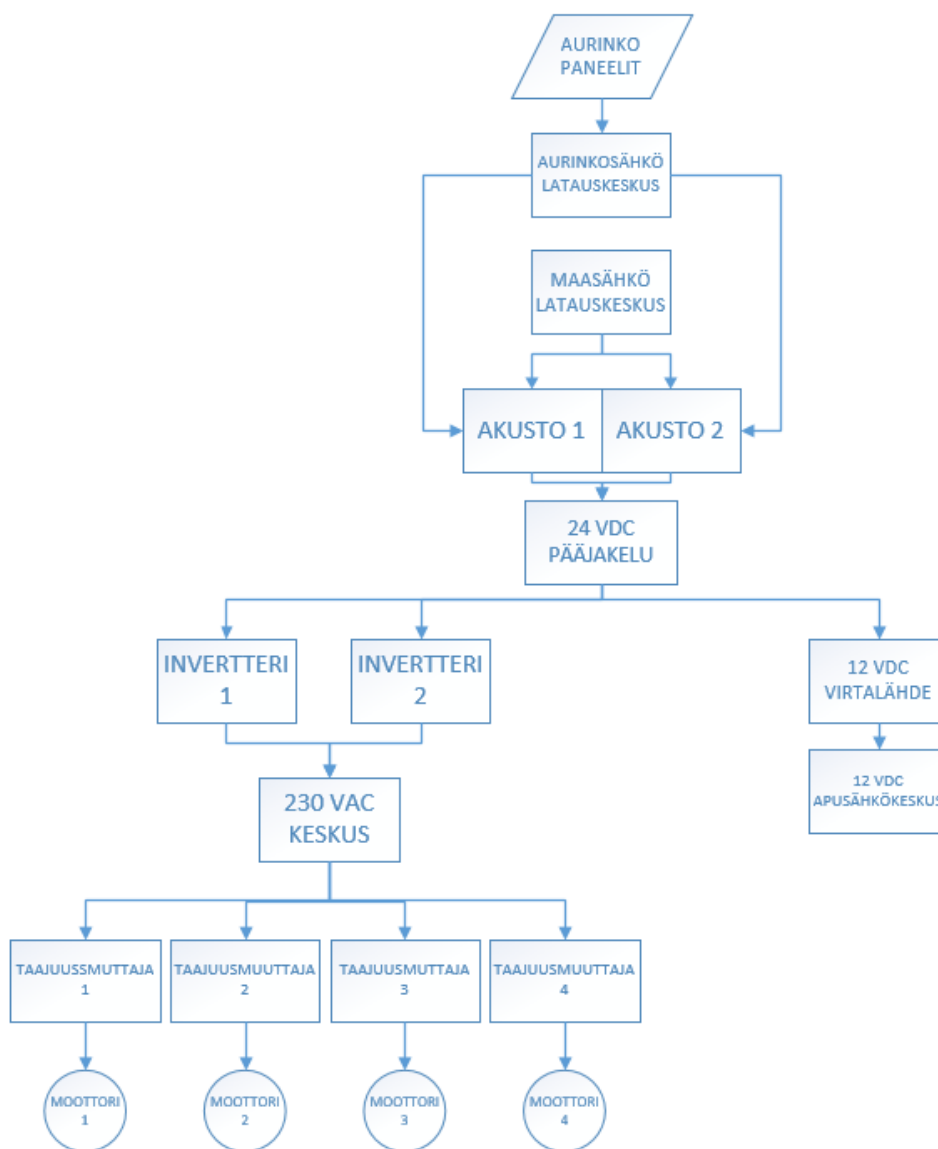


Kuva 1. Vanhan 220V-sähköjärjestelmän kaaviokuva. (Markkanen 1993, 18)

5 UUSI SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

5.1 Rakenne

Uusi sähköjärjestelmä on huomattavasti laajempi vanhaan verrattuna ja se myös suunnitellaan sekä rakennetaan lähes täysin puhtaalta pöydältä. Järjestelmä koostuu käytännössä kolmesta osasta, jotka ovat 24 VDC pääjakelujärjestelmä, 12 VDC apusähköjärjestelmä sekä 230 VAC järjestelmä. Muita järjestelmän pääkomponentteja ovat akusto ja aurinkopaneelit, jotka käsitellään omissa luvuissaan. Uuden järjestelmän rakenne on esitetty alla kuvassa 2.



Kuva 2. Uuden sähköjärjestelmän kaaviokuva.

5.2 24 VDC Pääjakelujärjestelmä

Aluksen 24 voltin tasasähköjärjestelmä on aluksen sähkönjakelun perusta ja kaikki toiminnot ovat käytännössä sen varassa. Järjestelmää syöttää aluksen akusto, jonka voidaan laskea olevan osa pääjakelujärjestelmää. Järjestelmä vuorostaan syöttää 12 VDC apusähköjärjestelmää sekä inverttereitä, joiden avulla saadaan 230 VAC järjestelmä. Pääjakelujärjestelmä syöttää myös kaikkia 24 voltin sähkölaitteita kuten valaistusta sekä etäohjauksen ja navigoinnin tarvitsemia laitteistoja.

5.3 12 VDC Apusähköjärjestelmä

Apusähköjärjestelmä on tehty 12 voltin tasasähköä käyttäviä sähkölaitteita varten. Näitä ovat mm. etäisyydenmittaus järjestelmä LIDAR. Aluksen suunnitteluvaiheessa ei ollut vielä tarkkaa tietoa, mitä kaikkia laitteita järjestelmä tulisi sisältämään.

Järjestelmän virtalähteenä toimii normaali 24/12 VDC hakkurivirtalähde. Virtalähteen tulojännite voi olla 18 - 35 voltin väliltä ja lähtöjännite on säädettävissä 10 - 15 voltin väliltä. Sen maksimi syöttövirta jatkuvassa käytössä on 25 A ja hetkellisessä käytössä 35 A. Ulostulojännitteen ollessa 12 voltia, se pystyy antamaan tehoa noin 300 W jatkuvassa käytössä. Virtalähteeksi valittiin Victronin Orion 24/12-25.

5.4 230 VAC Järjestelmä

Kuten vanhassa sähköjärjestelmässä, myös uudessa tarvitaan vaihtosähköä. Vaihtosähköjärjestelmän tehtävä on pitkälti sama kuin vanhassa sähköjärjestelmässä. Se on tehty potkurimoottoreiden, keulaohjauslaitteen vesipumpun moottorin, sekä ruorin ohjausmoottorin taajuusmuuttajia, sekä etäohjaukseen tarvittavaa teollisuus PC:tä ja WLAN-modeemia varten. Moottorit ja taajuusmuuttajat käsitellään omassa luvussaan.

Käytännössä järjestelmä on jaettu kahteen toisistaan erillään olevaan osaan, jotta mahdollisen vian sattuessa koko vaihtosähköjärjestelmä ei olisi poissa käytöstä. Nämä osiot ovat kytkettävissä varasyöttöyhteydellä toisiinsa, jolloin toisen vikaantuessa toinen pystyy syöttämään toista.

Uudessa sähköjärjestelmässä vaihtosähkö saadaan kahdesta invertteristä, joita syöttää 24 VDC pääjakelujärjestelmä. Järjestelmä suunniteltiin ensin kahteen eri alakeskukseen, mutta lopulta päädyttiin tilansäästöllisistä syistä rakentamaan se yhteen keskuskaappiin. Yhteisestä keskuskaapista huolimatta järjestelmä koostuu kuitenkin kahdesta erillään olevasta osasta, joilla kummallakin on oma invertterinsä.

Keskuskaappien/koteloiden osalta suunniteltiin ensin normaaleita muovisia keskuskaappeja. Tätä suunnitelmaa jouduttiin kuitenkin muuttamaan siten, että keskuskaapeiksi valittiin metallista valmistetut mallit EMC-suojauksen takia. Invertterit ja taajuusmuuttajat tuottavat aina jonkin verran häiriöitä ja yliaaltoja verkkoon. Tämän aluksen tapauksessa häiriöt voisivat olla kohtalokkaita mm. aluksen herkkien navigointi ja etäohjausjärjestelmien kannalta.

5.4.1 Invertterit

Vanhassa sähköjärjestelmässä vaihtosähkö saatiin bensiini käyttöisestä generaattorista. Uudistettu alus tulee toimimaan kuitenkin täysin sähköön voimalla, joka saadaan akustosta. Generaattori olisi paljon tilaa vievä ratkaisu, eikä sellaisen käyttö olisi järkevää. Niinpä vaihtosähkö tuotetaan kahdella yksivaiheisella invertterillä.

Invertteri eli vaihtosuuntaaja on laite, joka muuntaa tasasähköä vaihtosähköksi. Nykyaikaisten inverttereiden toiminta perustuu tehopuolijohdekytkimiin, pääasiassa IGBT-transistoreihin.

Invertteriksi valittiin Victronin Phoenix Inverter Compact C24/2000 mallit. Ne ovat tehoiltaan 2000 VA ja tekevät 24 voltin tasasähköstä yksivaiheista 230 voltin vaihtosähköä. Invertterit on mitoitettu siten, että toisen vikaantuessa toinen pystyy syöttämään myös toisen kuormaa. Invertterit ovat niin sanottuja siniaaltoinverttereitä, eli ne antavat lähes puhdasta siniaaltoa. Halvempien inverttereiden syöttämä jännite on usein kanttiaaltoa, josta voi seurata useita ongelmia.

6 AKUSTO

6.1 Yleistä

Akustolla on aluksen toiminnan kannalta hyvin merkittävä rooli. Se on käytännössä koko sähköjärjestelmän sydän ja aluksen voiman lähde. Se on myös yksi kalleimmista aluksen yksittäisistä osista ja vie merkittävän määrän tilaa sekä on painoltaan kohtalaisen suuri aluksen omaan painoon nähden. Akuston mitoituksessa ja valinnassa pohdittiin monia asioita eri näkökulmista ja vertailtiin eri vaihtoehtoja. Suunnitelmaa jouduttiin myös muuttamaan projektin lopussa. Akuston mitoituksessa, valinnassa sekä suunnittelussa on käytetty apuna yksinkertaisia laskentamalleja ja valmistajan dokumentteja sekä haastattelua. Lehtori M.Ylisen mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017)

6.2 Mitoitus

Akuston mitoitus oli tämän työn yksi keskeisimmistä vaiheista. Akuston mitoitus on tehty seuraavin periaattein: alus pystyisi operoimaan kaksi tuntia ilman ulkoista virtaa, aluksen maksimi tehon kulutus olisi 4 kW ja akustojen suurin mahdollinen purkausvirta tällöin noin 167 A, kahden tunnin ajon jälkeen akuston kapasiteetista olisi purettu maksimissaan 50 %. Käytännössä kyseisten ehtojen täytyminen todettiin kuitenkin mahdottomaksi, sillä akuston fyysinen koko ja paino olisi tällöin ollut liian iso aluksen kantokykyyn nähden. Aluksen kantokyky siis muodostui pullonkaulaksi akuston mitoituksessa. Lehtori M. Ylisen mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017)

6.2.1 Laskelmat

Aluksen maksimi tehonkulutukseksi määriteltiin 4 kW. Tämä arvo saatiin yksinkertaisesti laskemalla alukseen tulevien sähkölaitteiden ja kojeiden tehot yhteen. Riittävän reservin varmistamiseksi arvo on kerrottu kokemukseräisesti 1,5:llä. 4 kW tehoon on siis laskettu reilusti reserviä tulevaisuutta varten ja suunnitteluvaiheen kuormatietojen perusteella aluksen käytännön tehon kulutus tulisi olemaan suurin piirtein 2,5 - 3 kW.

Määritetyn tehon avulla voitiin laskea akuston purkausvirrat. Akuston jännite on 24 voltia.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{4000W}{24V} = 166,7A$$

Kaava 1.

Akuston kapasiteetti laskettiin edellä lasketun purkausvirran sekä suunnitellun kahden tunnin operointiajan perusteella.

$$I * t = 166,7A * 2h = 333,3Ah$$

Kaava 2.

Mikäli akustoa halutaan purkaa maksimissaan 50 % nimelliskapasiteetista on saatu arvo kerrottava kahdella, jolloin tulokseksi saadaan 666,6 Ah. Kuten edellä mainittiin aluksen kantokyvyn muodostavan rajoitteen takia olisi kyseisen kokoinen akusto ollut käytännössä mahdoton toteuttaa ja näin ollen akuston koon kanssa jouduttiin tinkimään.

6.3 Akkujen valinta

Laskelmien jälkeen alettiin selvittämään minkä tyyppiset akut olisivat paras valinta. Litiumioni akkujen hintojen ollessa suhteellisen korkeat todettiin niiden olevan pois suljettu vaihtoehto. Akuiksi päätettiin valita suljetut AGM lyijyakut. Suljetut akut valittiin niiden huoltovapauden takia. Varsinainen malli valinta tehtiin pyytämällä suositus ja tarjous eri akkuvaihtoehdosta Porin Akkupojilta.

Akuiksi valittiin Rolls S12-290 AGM akut. Akkujen jännite on 12 V ja valmistajan ilmoittama kapasiteetti 290 Ah. Toimintavarmuuden lisäämiseksi järjestelmä on suunniteltu siten, että alukseen tulee kaksi toisistaan erillään olevaa akustoa, joissa kummassakin on kaksi 12 V akkua sarjaan kytkettynä, näin saadaan kaksi 24 V akustoa. Näin toisen akuston vikaantuessa ei koko järjestelmä ole toimintakyvytön.

6.3.1 Akun purkausajan vaikutus kapasiteettiin

Tärkeä huomioitava asia akuston mitoituksessa ja valinnassa on sen purkausajan vaikutus todelliseen kapasiteettiin. Akkuvalmistajat ilmoittavat akun kapasiteetin yleensä esimerkiksi 20 tunnin purkausajan mukaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jos akkua puretaan sellaisella purkausvirralla, että se on tyhjä 20 tunnin jälkeen, on akuston kapasiteetti esimerkiksi akun kyljessä ilmoitettu arvo. Mitä suurempi akun purkausvirta on, sitä enemmän akussa syntyy lämpöhäviöitä ja sitä pienempi sen todellinen kapasiteetti on.

Alukseen valittujen akkujen 290 Ah:n kapasiteetti vastaa valmistajan mukaan 100 tunnin kuormitusaikaa. Aluksen suunniteltua 2 tunnin operointiaikaa käytettiin myös akuston purkausajana mitoituksessa. Tällöin on huomioitava, että akusta saatavan energian määrä on huomattavasti pienempi kuin valmistajan ilmoittama arvo. Akuston datalehdessä olevasta taulukosta liite 6, nähdään, että pienin ilmoitettu purkaus aika on viisi tuntia ja kapasiteetti tällöin enää 214 Ah. Kahden tunnin purkausajaa vastaavaa kapasiteettia ei siis voida varmaksi sanoa, mutta sen arvoksi akustoa valittaessa on otettu 190 Ah. Tämä arvo on saatu kokemuspäisesti arvioimalla ja käyttämällä apuna Rolssin datalehden liite 6 pohjalta tehtyä Excel kuvaajaa liite 7. Näin ollen alukseen tulevan akuston kapasiteetti on käytännössä $2 \times 190\text{Ah} = 380 \text{ Ah}$.

6.4 Akustojen eristäminen FET-diodeilla

Kahdesta erillisestä akustosta huolimatta niitä halutaan kuitenkin purkaa symmetrisesti, sekä käyttää käytännössä yhtenä kokonaisuutena. Akustot syöttävät samaa 24 VDC pääjakelujärjestelmää. Ongelmaksi tässä muodostuu toisen akuston mahdollinen vikaantuminen, jonka johdosta se voi alkaa purkaan ja häiritsemään toisen akuston toimintaa.

Yleensä tällainen tilanne hoidetaan asentamalla akkujen purkauspuolelle diodit, jotka sallivat akuston purkauspuolella virran kulun vain purkaussuuntaan. Diodien huonona puolena on kuitenkin niiden aiheuttama noin 0,6 voltin jännitehäviö. Niinpä diodin sijasta päädyttiin käyttämään FET-diodeita.

FET eli Field Effect Transistor, suomeksi kanavavaikutustransistori, on transistorityyppi, jossa varauksenkuljettajien liikettä ohjataan puolijohdekanavassa vaikuttavan sähkökentän avulla. (Wikipedia WWW-sivut 2016). FET-diodin etu normaaliin diodiin verrattuna on se, että se ei aiheuta käytännössä ollenkaan jännitehäviötä. FET:it valittiin Victronilta, jolla on valikoimassa akkujen erottamiseen tehtyjä FET-komponentteja. Näin akustot saadaan purkautumaan symmetrisesti sekä toimimaan yhtenä kokonaisuutena, saavuttaen samalla kuitenkin kahden toisistaan erotetun akuston hyödyt, mm. vikatilanteen sattuessa.

6.5 Akkujen lataus

Akkujen lataus hoidetaan alukseen asennettavalla laturilla, jota syötetään maasta verkkosähköllä laiturissa ollessa. Lisäksi alukseen tehdään aurinkosähköjärjestelmä, joka voi ladata akkuja laiturilla ollessa yhdessä maasähkölaturin kanssa sekä ajon aikana. Aurinkosähköjärjestelmä käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

Akkulaturiksi valittiin Victron Skylla i 24/80 (3). Sitä syötetään maasta saatavalla normaalilla yksivaiheisella verkkosähköllä. Laturi on varustettu kolmella erillisellä latauslähdöllä, jolloin se voi ladata samanaikaisesti kolmea toisistaan erotettua akustoa. Maksimi latausvirta on yhteensä 80 A, joka jakautuu eri latauslähdöille. Tässä tapauksessa aluksen kahta akustoa voidaan ladata samanaikaisesti 40 A virralla per akusto. Kyseinen laturi malli sisältää myös lukuisia lisäominaisuuksia ja automatiikkaa, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi akustojen tilojen ja lataustasojen tarkkailuun. Laturin hinta on 1400 € alv. 0 %.

6.6 Yhteenveto

Alukseen tulee siis kaksi toisistaan erillään olevaa 24 voltin akustoa, jotka koostuvat kahdesta 12 voltin sarjaan kytketystä akusta. Akustot liittyvät samaan 24 VDC pääjakaajajärjestelmään, mutta ne ovat erotettu toisistaan purkauspuolelle asennetuilla FET-diodeilla. Näin akustot purkautuvat symmetrisesti ja toimivat kuitenkin yhtenä kokonaisuutena.

Yhden akuston arvioitu kapasiteetti kahden tunnin purkausajalla on noin 190 Ah, jolloin aluksen akuston kokonaiskapasiteetti on 380 Ah. Kuten nähdään, mitoitus laskelmissa saadusta 633,3 Ah kapasiteetista jäätii hyvin selkeästi. Akuston pitäisi kuitenkin laskelmien mukaan riittää kahden tunnin ajoon, aluksen käyttämän tehon ollessa 4 kW, mutta sen purkaussyvyys on tällöin kohtalaisen iso. Tämä vaikuttaa negatiivisesti akuston käyttöikään. Toki alukseen asennettava aurinkosähköjärjestelmä lataa akustoja ajon aikana jonkin verran säästä riippuen. Akkujen kappalehinta on 781 € alv. 24 %, näin akuston kokonaishinnaksi muodostuu 3125 € alv 24 %.

7 AURINKOSÄHJÖJÄRJESTELMÄ

7.1 Yleistä

Aluksen sähköjärjestelmän yhden merkittävän osan muodostaa sen aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä oli hankkeen yksi pääkohdista ja se mahdollistaa akkujen latauksen mm. ajon aikana. Järjestelmä on kooltaan kuitenkin kohtalaisen pieni, eikä se pysty yksin vastaamaan aluksen energian tarpeista. Järjestelmän kokoa rajoittaa pitkälti aluksen pieni koko, jolloin aurinkopaneeleita ei voida asentaa kovin montaa.

7.2 Järjestelmän rakenne

Järjestelmä rakentuu aurinkopaneeleista, paneelien lataussäätimistä sekä niitä varten tehdystä pienestä latauskeskuksesta. Kuten akusto, on myös aurinkosähköjärjestelmä jaettu käytännössä kahteen osaan. Paneelit jaetaan kahteen ryhmään, jolloin esimerkiksi auringon paistaessa vain osaan paneeleista ei järjestelmän tuotto kärsi, myös vika sietoisuus kasvaa. Kummallekin paneeliryhmälle tulee omat lataussäätimensä, jotka syöttävät samaa latauskeskusta.

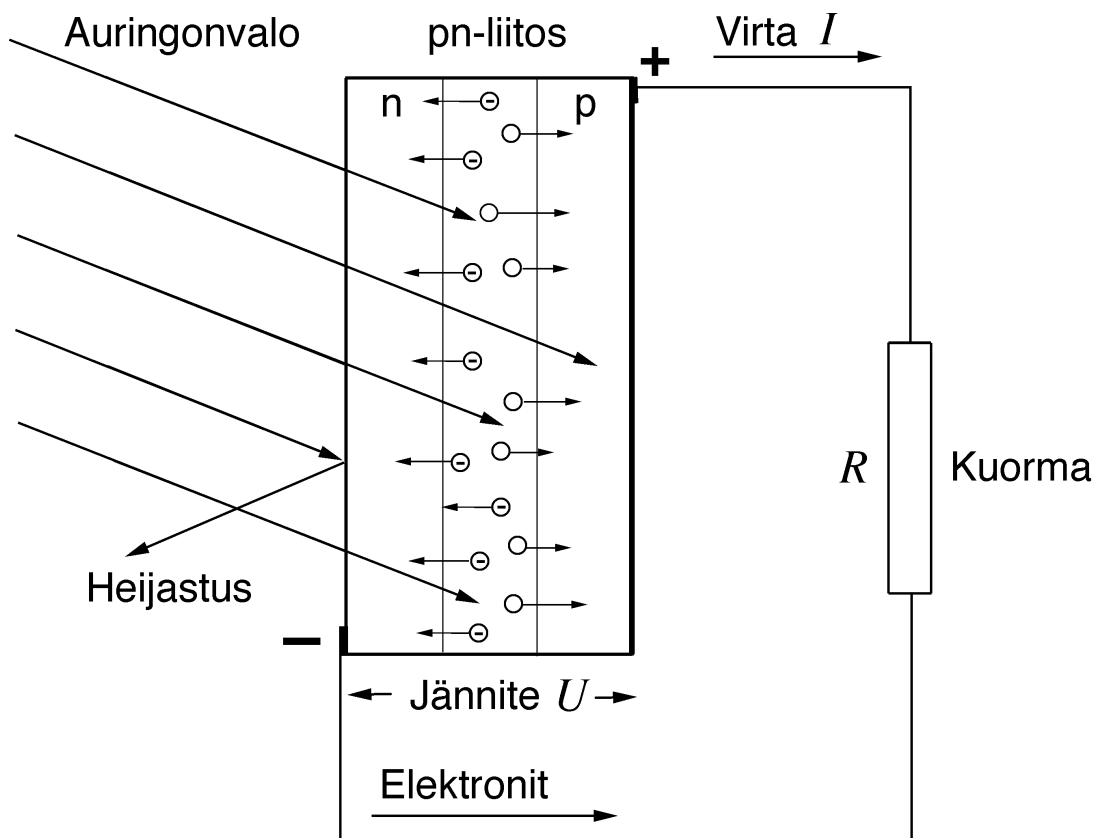
7.3 Aurinkopaneelit

Alukseen asennettavien aurinkopaneelien tarkkaa määrää ja mallia ei vielä tiedetty tässä vaiheessa hanketta. Aluksi oli tarkoitus asentaa taipuisat paneelit, mutta lopulta kallistuttiin suunnitelmaan asentaa kuitenkin normaalit paneelit. Paneeli valintojen venyminen johtui aluksen kansirakenteesta, josta ei ollut vielä täyttä varmuutta.

Alustavasti paneeleiksi on valittu kaksi kappaletta Victronin Blue Solar Polycrystalline monikidepaneelia, jotka ovat tehoiltaan 250 W. Paneelien mitat ovat 1640 x 992 x 40 mm.

7.3.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate

Seuraavassa on esitelty lyhyesti aurinkopaneelin toimintaperiaate.



Kuva 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno WWW-sivut 2010)

”Kennossa auringon valo muuttuu suoraan sähkövirraksi. Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi, jossa on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Kun auringon valo kohdistuu kennoon, niin ainakin osalla valohiukkasista (fotoneista) on niin suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen ja voivat muodostaa elektroni-aukkopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Niiden on kuljettava ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen, jossa ne vasta voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä.

Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Kiteiset piikennot ovat yleensä noin 0,2 - 0,3 mm paksuja ja pinta-alaltaan (90 - 160) mm x (120 - 160) mm. Yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisestä piihiosta, jonka halkaisija on 10 – 16 cm. Koska raaka-aine on hyvin kallista, pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia. Tämän vuoksi yksikidepaneelissa on aukot kennojen kulmissa. Monikiteisiä piikennoja voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat taipuisia ja valmistuskustannuksiltaan halvempia, mutta niiden hyötysuhde jää pienemmäksi.” (Suntekno WWW-sivut Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010).

7.4 Lataussäätimet

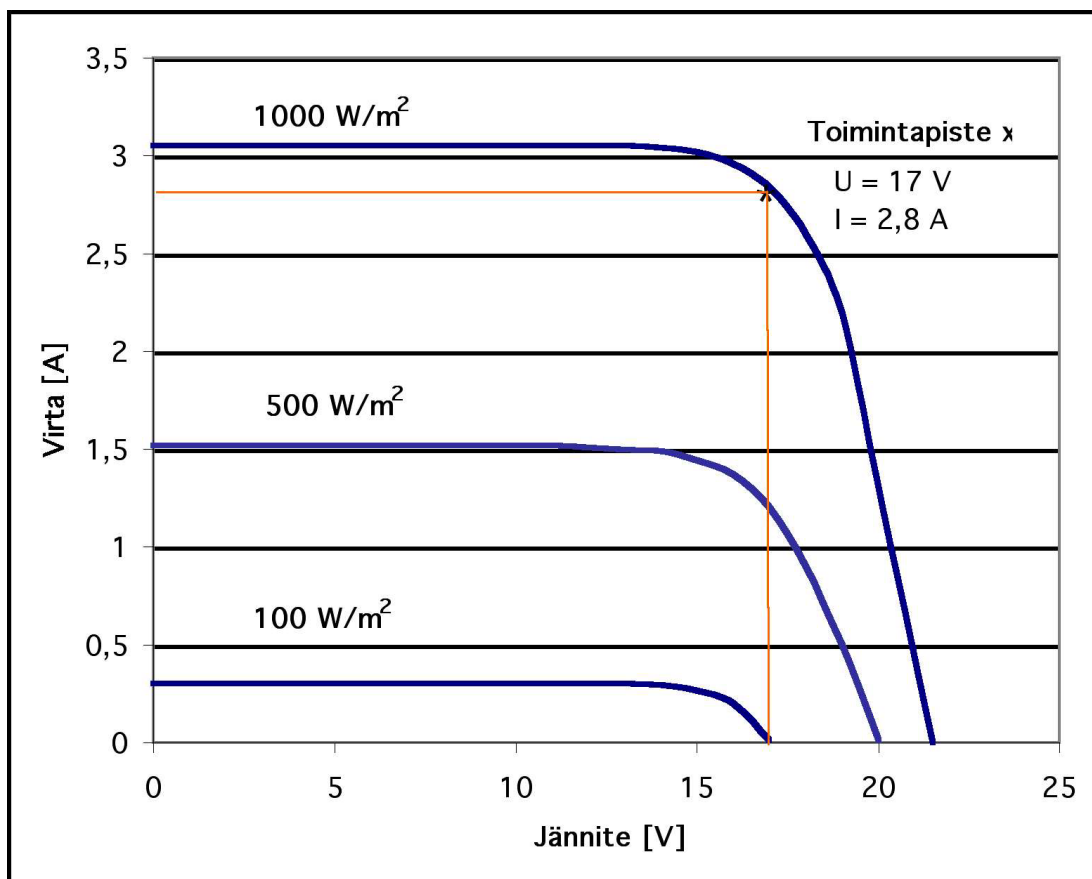
Aurinkopaneelien kanssa käytetään yleensä lataussäätimiä. Lataussäädin onkin yleensä aurinkosähköjärjestelmän yksi merkittävimpiä komponentteja. Niiden tehtävänä on muuntaa paneelilta tuleva jännite ja virta akustolle sopivaksi ja estää esimerkiksi akkujen yllilatautuminen. Lataussäätimiä on käytännössä kahta eri tyyppiä PWM ja MPPT säätimiä. Näistä kahdesta tekniikasta MPPT on uudempi ja parempi. Sillä päästään mm. parempiin hyötysuhdelukemiin kuin vanhalla PWM tekniikalla.

Alukseen valittiin kaksi kappaletta MPPT-tekniikalla toimivaa säädintä. Säätimet ovat Victronin Blue solar MPPT 75/10 malliset Niiden maksimi sisääntulojännite paneeleilta on 75 V ja maksimi latausvirta 10 A. Vaikka MPPT säätimet ovat jonkin verran kalliimpia PWM-säätimiin verrattuna, ovat ne tässä kokoluokassa vielä sen verran edullisia, että niiden valitseminen oli varsin selkeä päätös tiukasta budjetista huolimatta.

7.4.1 MPPT-Säätimen toimintaperiaate

MPPT eli suomeksi Maximum Power Point Tracking, on uusin käytössä oleva säädin tekniikka. Sillä päästään noin 93 - 97 % lataushyötysuhteeseen, kun PWM-säätimillä vastaava luku on noin 50 - 60 %. Hyötysuhde on siis merkittävästi parempi. (Aurinkosähkö WWW-sivut n.d; Northern Arizona Wind & Sun Inc. WWW-sivut n.d).

Aurinkopaneelilla on aina tietty ominaiskäyrä, josta selviää sen tehon tuotto eri virran ja jännitteen arvoilla. Paneeli tuottaa maksimi tehonsa vain tietyssä pisteessä, tietyllä jännitteen ja virran arvolla. MPPT-säädin tarkkailee paneelien antamaa jännitettä ja vertaa sitä akun jännitteeseen. Säädin etsii aina korkeimman jännitteen ja virran leikkauspisteen säädön katkokohdaksi, jos paneeleilta tuleva jännite on korkeampi kuin maksimi tehoon tarvittava jännite, muuntaa säädin hakkurilla ylimääräisen jännitteen latausvirraksi. (Aurinkosähkö WWW-sivut n.d).



Kuva 4. 50 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla lämpötilassa 25 °C. (Suntekno WWW-sivut Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010)

Kuvassa 4 on esitetty 50 W_p paneelin ominaiskäyrä kolmella eri auringonsäteilyn voimakkuudella. Paneelin antama virta pienenee lähes suorassa suhteessa säteilyn voimakkuuteen nähden. Myös paneelin antama jännite alenee säteilyn vähetessä. Korkein teho saadaan hieman sen jälkeen, kun virta on käyrällä alkanut laskea. (Suntekno WWW-sivut Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010)

8 MOOTTORIT JA TAAJUUSMUTTAJAT

8.1 Potkurimoottorit

Aluksen liikkumisesta vastaa kaksi pääpotkuria, joita pyörittää normaalit kolmivaihe oikosulkumoottorit, niiden teho on 0,370 kW ja nimellinen vääntömomentti 2,37

Nm. Moottorit ovat VEM:in neli-napaisia moottoreita joiden nimellinen pyörimisnopeus on 1370 RPM. Moottoreiden koteloituokka on IP55. Moottorit sijoitetaan aluksen takaosaan lattialle, kuten vanhat moottorit. Aluksen moottori tehot pidetään samana kuin vanhassa aluksessa, eikä niiden kohdalla tehty erillisiä mitoituslaskelmia.

8.2 Ohjauslaitteiden moottorit

Aluksen ohjauksesta huolehtii keulaohjauslaite sekä peräsin. Keulaohjauslaite on vedenpaineen avulla toimiva ja siinä on vesipumppu, jonka voimanlähteenä on samanlainen oikosulkumoottori kuin pääpotkureilla. Moottorin asennusasento on kuitenkin B5 kun pääpotkurien moottorit ovat B3-asennusasennolla olevia. Aluksen ohjaus keulaohjauslaitteen lisäksi tapahtuu peräsimen avulla, jota ohjataan ruorilla. Ruoria pyörittää myös kolmivaiheinen oikosulkumoottori, joka on teholtaan 0.18 kW ja nimellinen pyörimisnopeus 1360 RPM.

8.3 Taajuusmuuttajat

Aluksen kaikki moottorit ovat taajuusmuuttaja ohjattuja. Taajuusmuuttajien toimittajaksi valittiin Vacon, sillä RollsRoyce on käyttänyt Vaconia toimittajana myös muissa projekteissaan. Taajuusmuuttajat saatiinkin lahjoituksena Vaconilta, jolloin niistä ei aiheutunut kustannuksia projektille. Ne ovat yksivaiheisella syötöllä varustetut, sillä vaihtosähköjärjestelmän invertterit tuottavat yksivaiheista vaihtosähköä, eikä kolmivaihe sähköä näin ollen ole saatavilla.

Taajuusmuuttajien tekniset tiedot

Teho: 0,55 kW

Syöttöjännite: 208 – 230V 50/60 Hz

Nimellinen verkkovirta: 6,6 A

Nimellinen antovirta: 2,8 A

Lähtötaajuus: 0 – 320 Hz

Koteloituokka: IP20

9 KAAPELIT

Aluksen kaapeloinnin suunnittelussa tuli huomioida useita tekijöitä, eikä se ollut työn helpoimpia vaiheita. Laiva asennusympäristönä asettaa mm. useita vaatimuksia, joita maalla ollessa ei tarvitse huomioida. Tässä luvussa on käyty läpi aluksen kaapeleiden valinnat ja mitoitus perusteluineen.

9.1 Tasavirtajärjestelmän kaapelit

Tasavirtajärjestelmän kaapeleilta, erityisesti akkukaapeleilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, näitä ovat esimerkiksi kaksoiseristys sekä vähintään paloa hidastava materiaali. Tasavirtapuolelle kaapelityypiksi valittiin hitsauskaapeli. Hitsauskaapeli on kaksoiseristetty, paloa hidastava ja sen saatavuus on varsin hyvä. Lehtori M.Ylisen mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017)

9.1.1 Mitoitus

Tasavirtajärjestelmän kaapeleiden mitoitus täytyi suorittaa huolella, sillä jännitteiden ollessa pienet (24 V) ja virtojen vastaavasti ollessa suuret (kymmeniä / satoja ampeereita) on kaapelin poikkipinnan koolla suuri merkitys jännite- ja lämpöhäviöihin. Mitoituksesta teki hankaa osiltaan myös se, että kaapeleiden pituuksista ei ollut tarkkaa tietoa. Tässä tapauksessa jo muutaman metrin muutoksella kaapelin pituudessa on merkittävä vaikutus sen häviöihin.

Kaapelien mitoituksessa on käytetty apuna internetistä löytyvää laskuria sekä kaapeli valmistajien taulukoita. Kaapelien pituuksiksi laskelmiin on otettu viisi metriä. Tämä on arvio, sillä tarkkaa mittaa ei ollut saatavilla.

Esimerkki akku-kaapelin mitoituksesta:

Akkujen etusulakkeet ovat kooltaan 250 A, näin ollen kaapelin on siis kestettävä vähintään 250 A virta. Laskuriin on syötetty kaapelin pituus = 5 m, virta = 250 A, jännite

= 24 V, sallittu jännitehäviö = 4 % sekä kuparin ominaisresistanssi = $17,68 \cdot 10^{-9} \Omega \text{m}$. Laskuri antaa tulokseksi kaapelin minimi poikkipinta-alan = 46 mm^2 . Seuraava suurempi koko hitsauskaapelista on 50 mm^2 . Drakan hitsauskaapelin tiedoista nähdään, että 50 mm^2 hitsauskaapelin jatkuva virta saa olla enintään 285 A, joka riittää tässä tapauksessa, näin kaapeli kooksi valitaan poikkipinnaltaan 50 mm^2 oleva kaapeli. (j.Kauppi WWW-sivut tasavirtapiiriin kuparikaapelin minimi poikkipinnan laskuri; Draka WWW-sivut 2017)

Muut tasavirtajärjestelmän kaapelit ovat mitoitettu samalla periaatteella lukuun ottamatta 24 V pääjakelujärjestelmän pienien kuormien kaapeleita kuten valaistuksia ynnä muita. Näissä kaapelityypiksi valittiin Helkama LKM-HFL $5 \cdot 1,5 \text{ mm}^2$, sillä kyseistä kaapelia oli valmiiksi varastossa iso kelallinen ja sen katsottiin soveltuvan hyvin tässä tapauksessa.

9.1.2 Aurinkopaneelien kaapelit

Aurinkopaneelien kaapelit ovat 4 mm^2 Öflex solar kaapelia. Kaapeli koko on siksi suhteellisen iso, koska aurinkopaneelien kaapeleita ei yleensä oikosulkusuojata esimerkiksi sulakkeilla. Kaapeleita ei tarvitse oikosulkusuojata, koska paneelien oikosulkuvirta on käytännössä sama kuin sen nimellisvirta, tässä tapauksessa 8,94 A. Jos kaapelin jatkuvan kuormituksen kesto on yli $1,25 \cdot I_n = \text{yli } 1,25 \cdot 8,94 \text{ A}$ ei kaapelia tarvitse oikosulkusuojata. Tämä on yleinen käytäntö aurinkopaneelien kaapeleiden kanssa. (SFS-6000 7-712, 6.)

9.2 Vaihtosähköjärjestelmän kaapelit

Vaihtosähköjärjestelmässä jännitteiden ollessa suuremmat (230 V) ja virtojen näin ollessa pienemmät (10 - 16 A suuruus luokkaa) ei kaapelien mitoituksessa tarvinnut tehdä varsinaisia laskelmia, vaan ne voitiin katsoa kokemukseräisesti. Kaikki kaapelit ovat käytännössä $1,5 - 2,5 \text{ mm}^2$ poikkipinta-alaltaan. Myös vaihtosähköjärjestelmän kaapeleilta vaaditaan pitkälti samoja ominaisuuksia kuin tasavirtajärjestelmän kaapeleilta, kuten paloa hidastava materiaali.

9.2.1 EMC-suojaus

Aluksen vaihtosähköjärjestelmä sisältää paljon tehoelektroniikkaa, kuten invertterit ja taajuusmuuttajat. Nämä laitteet aiheuttavat paljon häiriötä verkkoon, jolloin vaihtovirtapuolen kaapelit toimivat käytännössä korkeataajuisia häiriötä lähettävinä antenneineina. Nämä häiriöt ovat erittäin haitallisia esimerkiksi tietoliikenne ja navigointilaitteille, joita aluksessa on runsaasti. Tästä johtuen kaikki kaapelit ovat EMC-suojattuja ja vaihtovirtajärjestelmän keskuskaapit metallia, jolloin kaapeleiden häiriösuojavaipat voidaan maadoittaa koteloihin. Kaapelityyppinä käytetään Helkaman LKM-EMC kaapeleita. Ne ovat ominaisuuksiltaan mm. paloa hidastavia ja halogeeni vapaita.

LÄHTEET

Aurinkosähkö.net www-sivut. Viitattu 20.3.2017. www.aurinkosahko.net

Draka www-sivut. 2017. Viitattu 20.3.2017

jkauppi www-sivut. Viitattu 20.3.2017 www.jkauppi.fi

Laine, J. 2017. Lehtori, Winnova Oy. Rauma. Henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017.

Markkanen. A. 1993. Pienoismallialus AMK-opinnäytetyö

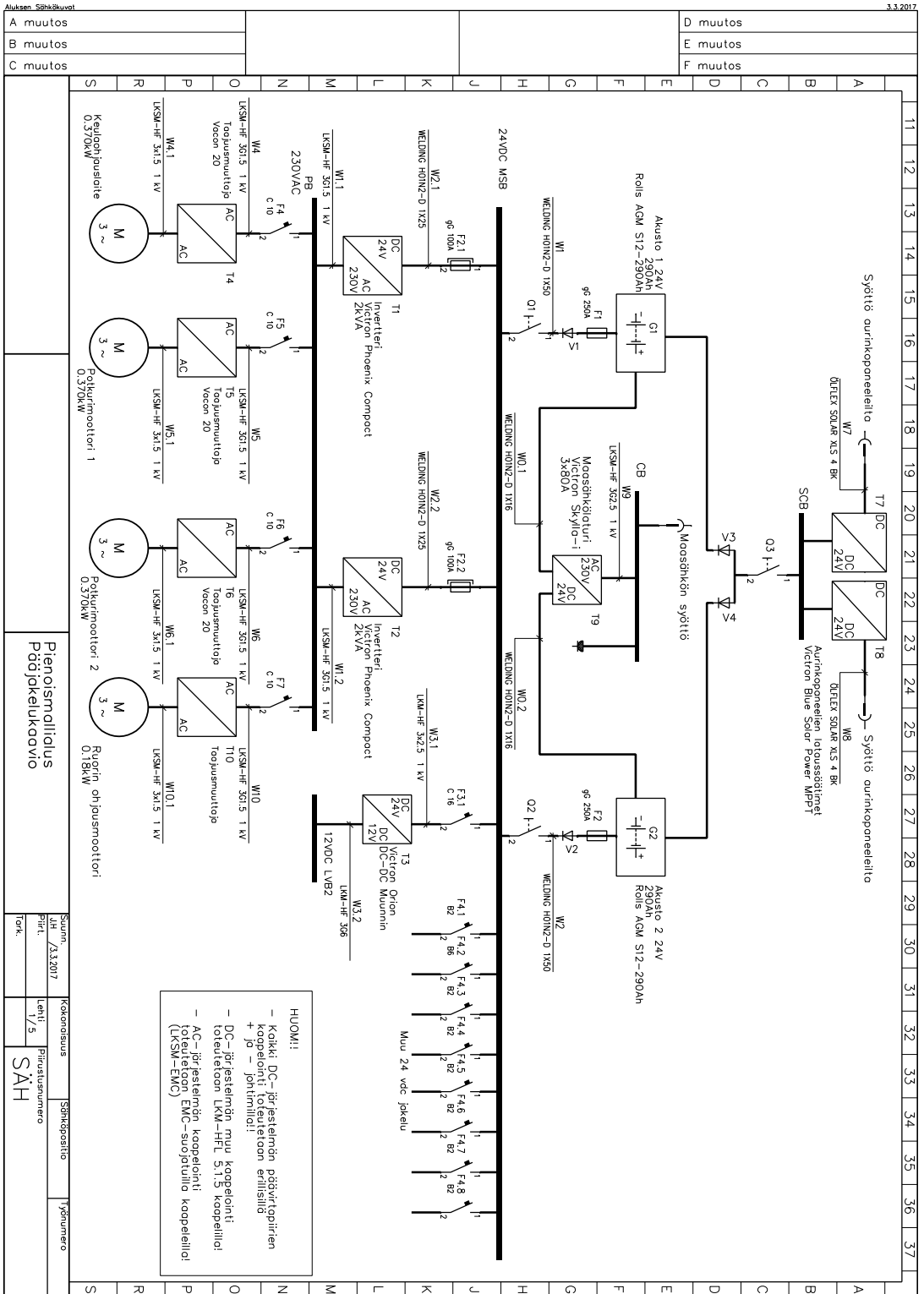
Northern Arizona Wind & Sun Inc. www-sivut. Viitattu 20.3.2017. <https://www.solar-electric.com>

Suntekno www-sivut. 2010. Viitattu 20.3.2017. <https://www.suntekno.fi>

Wikipedia www-sivut. 2016. Viitattu 20.3.2017 <https://fi.wikipedia.org>

Ylinen, M. 2017. Lehtori, Satakunnan ammattikorkeakoulu. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 20.3.2017.

Aluksen pääjaketelukaavio



Rolss akun datalehti



S12-290AGM

12 VOLTS



WEIGHT:	78.20 kg	172 Lbs.
LENGTH:	521 mm	20 1/2 Inches
WIDTH:	269 mm	10 3/5 Inches
HEIGHT*:	245 mm	9 2/3 Inches
* including terminal		
CONTAINER:	ABS	
COVER:	ABS	
TERMINALS:	LT	
HANDLES:	Rope	

CAPACITY 260 AH

HOURLY RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	290	2.90
@ 20 HOUR RATE	1.280	260	13.00
@ 10 HOUR RATE	1.280	234	23.40
@ 8 HOUR RATE	1.280	228	28.50
@ 5 HOUR RATE	1.280	214	42.80

AT 77°F / 25°C

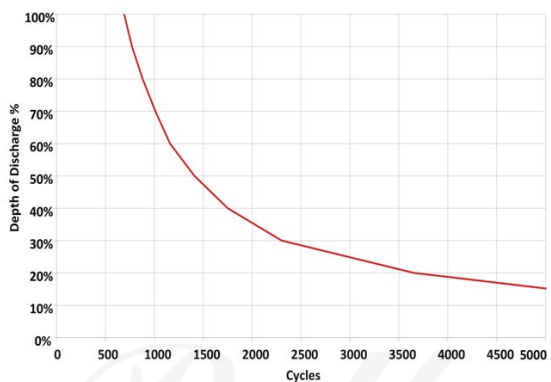
CAPACITY AFFECTED BY TEMPERATURE (20 HR RATE)	
104°F / 40°C	102%
77°F / 25°C	100%
32°F / 0°C	85%
5°F / -15°C	65%

SELF-DISCHARGE 77°F / 25°C	
CAPACITY AFTER 3 MONTHS	91%
CAPACITY AFTER 6 MONTHS	82%
CAPACITY AFTER 12 MONTHS	64%

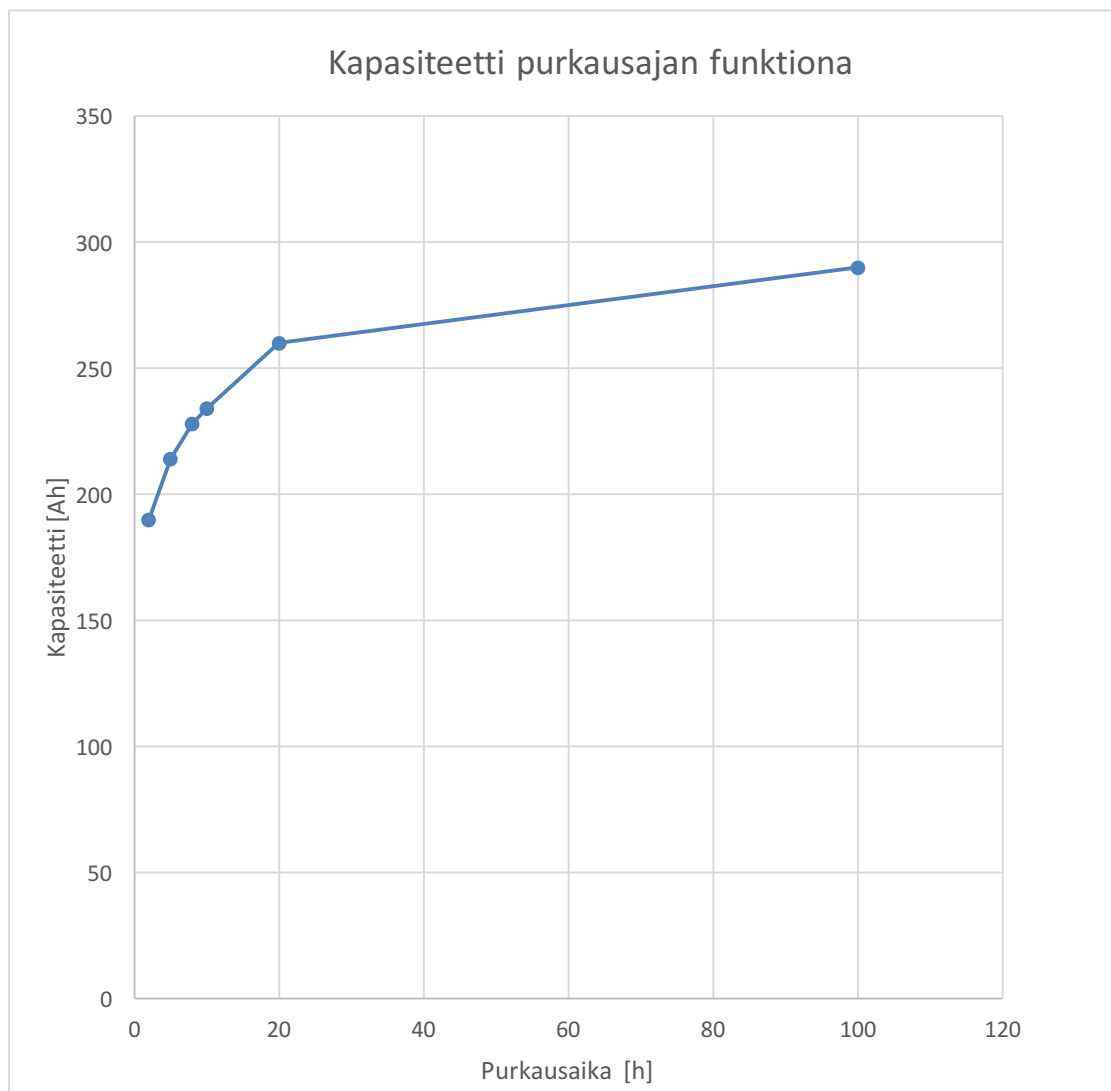


RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):	530
RECOMMENDED CHARGE CURRENT:	52 A
MAX CHARGE CURRENT:	91 A
MAXIMUM DISCHARGE CURRENT:	2600 A
CHARGING constant voltage	CYCLE: 14.5-14.9V/cell 77°F / 25°C
	FLOAT: 13.6-13.8V/cell 77°F / 25°C

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



Akun kapasiteetti purkausajan funktiona



Komponenttilista

KOMPONENTTI	VALMISTAJA	KPL	HINTA/KPL Alv. 0 %	HINTA YHT. Alv. 0 %
Akut	Rolss	4	630	2520
Invertterit	Victron	2	1080	2160
12 V virtalähde	Victron	1	80	80
Aurinkopaneelit	Victron	2	355	710
Lataussäätimet	Victron	2	81	162
FET-diodit	Victron	4	122	488
Maasähkölaturi	Victron	1	1400	1400
Potkurimoottorit	VEM	2	66,03	132,06
Keulaohjausmoottori	VEM	1	74,55	74,55
Ruorin ohjausmoottori	VEM	1	67,10	67,10
Taajuusmuuttajat	Vacon	2	0	0