

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Veneteknologian koulutusohjelma

Tommi Tirkkonen

SÄHKÖVENEILYN MAHDOLLISUUDET JA TULEVAISUUS

Opinnäytetyö 2015

# Tiivistelmä

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Veneteknologia

TOMMI TIRKKONEN

Sähköveneilyn mahdollisuudet ja tulevaisuus

Opinnäytetyö

51 sivua + 4 liitesivua

Opinnäytetyön ohjaaja

Tapio Pilhjerta

Toimeksiantaja

Kymi Technology

Toukokuu 2015

Avainsanat

Sähköveneily, historia, komponentit, mahdollisuudet, tulevaisuus

Opinnäytetyö käsittelee sähkömoottoreiden ja muiden uusiutuvien energialähteiden käyttöä veneen moottorina. Työssä tällaista venettä nimitetään sähköveneeksi. Sähköveneily ei ole aivan uusi keksintö, mutta kirjallisuutta ja tutkimuksia sähköveneistä ei juurikaan ole. Siksi tämä työ on tarpeellinen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on ollut selvittää sähköveneilyn historiaa ja sähköveneiden esiintyneisyyttä yleisesti, sekä sähköveneiden erilaisia kehittymismahdollisuuksia ja tulevaisuuden näkymiä.

Opinnäytetyössä on perehdytty sähköveneeseen tärkeimpiin pääkomponentteihin ja näiden teknisiin vaikutuksiin ja kehitykseen. Lisäksi on perehdytty sähkömoottoreiden ja polttomoottoreiden eroihin, sähkömoottorin toimintaperiaatteeseen ja selvitetty, minkälaisia sähkövenetapahtumia maailmalla on. Työssä on vertailtu akkujen ominaisuuksia, erilaisia sähköperämoottoreita ja tehty vertailu polttomoottorista ja sähkömoottorista maailman nopeimmassa sähköveneessä.

Työn tuloksena saatiin selville, että sähköveneellä on pitkä ja värikäs historia ja sähkövenetyyppejä on kehitelty monenlaisia. Sähköveneeseen akkuja on monenlaisia ja niillä jokaisella on hyvät ja huonot ominaisuudet. Sähköperämoottorit ovat hiljaisia ja niillä on vähäiset saastepäästöt, mutta niiden nopeus ei yllä polttokäyttöisten perämoottoreiden tasolle. Sähköveneilyssä käytetään jo aika paljon uusiutuvia energialähteitä, mutta myös maasähköä ja aggregaattejakin vielä käytetään akkujen lataukseen. Yleisimmät uusiutuvat energialähdemuodot ovat aurinkovoima, tuulivoima ja aaltoenergia. Myös erilaisia hybridijärjestelmiä käytetään.

Sähköveneiden moottorit pystyvät tuottamaan suurtakin tehoa ja niillä päästään suuriin nopeuksiin, mutta sähkömoottoreiden suuren tehonkulutuksen ja akkujen huonon sähkövarastointikyvyn takia, ei näillä veneillä päästä kovin pitkiä matkoja. Akkuteknologia kuitenkin kehittyy koko ajan ja pian matkatkin pidentyvät.

Sähköveneilyn nousu veneilyn uudeksi suunnannäyttäjäksi on hyvinkin mahdollista tulevaisuudessa, mutta ei vielä ihan lähiaikoina.

# Abstract

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Boat Technology

TOMMI TIRKKONEN

Electric Boating Opportunities and in the Future

Bachelor's Thesis

51 pages+ 4 pages of appendices

Supervisor

Tapio Pilhjerta

Commissioned by

Kymi Technology

May 2015

Keywords:

electric boating, history, components, potentials, future

In this thesis, the usage of electric motors and renewable sources of energy in boat motors are examined. In the thesis, this kind of boat is called an electric boat. Electric boats have existed for quite a long time, so electric boating is not a new invention. The purpose of this thesis is to study the history of electric boating, the usage of electric boats at the moment and their potentials and future. There are not many books or other extensive sources on electric boats, therefore there was a need for this thesis.

In the thesis, the most important components of electric boats and their technical effects and development are defined. In addition, the differences between electric motors and combustion engines, the working principles of electric motors and the competitions for electric boats in the world are explained. The properties of batteries and different electric outboard motors are compared. A comparison of a combustion engine and an electric motor in the fastest electric boat in the world is presented.

The result of the study was that the electric boat has a long and colourful history and several kinds of electric boat types have been developed. There are different kinds of batteries in electric boats and all the batteries have good and bad properties. Electric outboard motors are silent and they have low pollution emissions but they are not as fast as the combustion outboard motors. Quite many renewable sources of energy are used in electric boating, but also shore power and aggregates are still used for charging the batteries. The most common renewable sources of energy are solar power, wind energy and wave energy. Different kinds of hybrid systems are also used.

The motors of electric boats can have great capacities and produce high speeds, but since the electric motors consume much power and the batteries have low storage capacity, the boats do not travel very far. However, the battery technology is developing all the time and soon this difficulty will be overcome.

The rise of electric boating to become the leader in boating is possible in the future, but not in the very near future.

# Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 Johdanto .....	6
2 Sähköveneilyn historia.....	7
2.1 Sähköveneilyn alku .....	7
2.2 Kultainen aika .....	7
2.3 Nykyhetki .....	8
3. Sähkövenetyypit .....	8
3.1 Historialliset ja restauroidut .....	8
3.2 Kanaali-, joki- ja järviveneet .....	9
3.3 Sähköperämoottoriset.....	9
3.4 Risteilyjahdit .....	9
3.5 Dieselsähköinen hybridivene.....	10
3.6 Aurinkoenergiaa käyttävät veneet .....	10
3.7 Langalliset sähköveneet .....	12
4. Sähköveeneen pääkomponentit.....	13
4.1 Akusto.....	13
4.1.1 Lyijyakut.....	13
4.1.2 Lyijy-hiiliakut.....	14
4.1.3 Litium-ioniakut.....	14
4.1.4 Nikkeli-kadmium akut ja nikkeli-metallihydridi akut.....	15
4.1.5 Natrium-akut .....	16
4.1.6 Polttokennot.....	16
4.1.7 Akkujen vertailu.....	17
4.2 Laturit .....	19
4.2.1 Maasähkö .....	19
4.2.2 Aggregaatti .....	20
4.2.3 Aurinkokennot .....	20
4.2.4 Tuuliturbiinit .....	21
4.3 Lataussäädin.....	21
4.4 Nopeussäädin .....	22
4.5 Vaihteisto.....	23
4.6 Sähkömoottori.....	23

5 Sähköperämootorit .....	24
5.1 Yleistä .....	24
5.2 Esimerkki perämoottori .....	24
5.2.1 Ominaisuudet .....	24
5.2.2 Tekniset tiedot .....	25
5.3 Sähköperämoottoreiden vertailu .....	25
6 Sähkömoottorin toimintaperiaate .....	27
7 Sähköveneiden uusiutuvat energialähteet .....	27
7.1 Aurinkoenergia .....	28
7.2 Tuulienergia .....	29
7.3 Aaltoenergia .....	29
8 Sähköveneiden sähkömoottorijärjestelmät .....	30
8.1 Hybridimoottorijärjestelmät .....	30
8.1.1 Sarjahybridit .....	30
8.1.2 Rinnakkaishybridit .....	31
8.2 Uusiutuvat ja monihybridijärjestelmät .....	32
8.3 Sähköpropulsiomootorit .....	33
8.4 Kestomagneettimoottorit .....	34
9 Äärimmäiset sähköveneet .....	35
9.1 Maailman suurin aurinkovene .....	35
9.2 Maailman nopein sähkövene .....	35
9.2.1 Yleistä .....	35
9.2.2 Maailman nopeimman sähköveneen moottoreiden vertailu .....	37
10. Sähkövene tapahtumat maailmalla .....	39
11 Sähköveneilyn taloudellisuus .....	41
11.1 Ympäristöystävällisyys .....	41
11.2 Saasteet .....	41
11.3 Kustannukset .....	42
12 Sähköveneilyn mahdollisuudet .....	42
13 Sähköveneilyn tulevaisuus .....	45
14 Johtopäätökset .....	46
Lähdeluettelo .....	48
Liitteet .....	52

## 1 Johdanto

Veneily on mukava harrastus, mutta maailman öljyvarantojen hupenemisella on sille tulevaisuudessa radikaali merkitys. Fossiilisten polttoaineiden tilalle on keksittävä uusia polttoaineratkaisuja. Tämän takia sähköveneily tulee yleistymään huomattavasti.

Sähkövene ei ole aivan uusi keksintö. Sähköveneilyä on jo harrastettu 1800-luvulla. Sähköveneilyn historiassa on myös tapahtunut kaikenlaista. On väitetty, että sähkömoottori olisi kehitetty jo ennen polttomoottoria. Sähköveneily on tänä päivänä vielä harvinaista, mutta se yleistyy ja kehittyy koko ajan. Sähkövene itsessään on hiljainen ja ympäristöystävällinen. Sähköveneiden akkujen latauksessa on käytetty paljon erilaisia menetelmiä.

Tässä opinnäytetyössä perehdyn sähköveneilyn historiaan ja esiintyneisyyteen yleisesti. Samalla työssä perehdytään sähköveneiden merkittävimpiin komponentteihin ja niiden teknisiin valmiuksiin ja kehitykseen. Työssä tutkitaan eri akkutyypin ominaisuuksia, sähköperämoottoreiden eroja, sähköperämoottorin ja polttoperämoottorin eroja sekä polttomoottorin ja sähkömoottorin eroja maailman nopeimmassa sähköveneessä. Työssä esitellään sähköveneiden uusiutuvat energialähteet ja erilaiset sähkömoottorijärjestelmät sekä maailmalla järjestettävät sähkövenetapahtumat.

Polttomoottoriveneilyn etuna on polttoainesäiliö, jonka energiasisältö on todella merkittävä verrattuna sähkövarastointiin sähköveneissä. Tässä työssä perehdyn myös akun ja polttoainesäiliön tuottaman energian vertailuun ja siihen, miten se vaikuttaa moottoreiden tehoon ja veneen nopeuteen. Selvitän, miksi sähköveneily ei päihitä polttomoottoriveneilyä tällä hetkellä.

Opinnäytetyössä pohdin sähköveneilyn kehittymismahdollisuuksia ja mitä tulevaisuudessa pitää tehdä, jotta sähköveneilystä tulisi polttomoottoriveneilyn tasoista tai jopa parempaa.

Opinnäytetyön aihe valikoitui oman kiinnostukseni pohjalta. Opinnäytetyön aihe valikoitui myös sen takia, että sähköveneilystä kertovia kirjoja tai muunlaisia sähköveneilyn kartoituksia ei hirveästi ole, minkä vuoksi tämä työ on nähty tarpeelliseksi. Myös osallistuminen Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Midnight Sun Finland -aurinkosähkökilpaveneiden valmistusprojekteihin ja veneiden menestyminen kilpailuissa on lisännyt omalta osaltaan kiinnostustani sähköveneilyyn.

## 2 Sähköveneilyn historia

### 2.1 Sähköveneilyn alku

Varhaisen sähköveeneen kehitti saksalainen keksijä Moritz Von Jacobi vuonna 1839 Pietarissa, Venäjällä. Se oli 24-jalkainen eli noin 7,3 metrinen vene, joka pystyi kuljettamaan 14 matkustajaa 3 mph eli noin 1,3 m/s:n matkavauhtia. Se esiteltiin Venäjän keisarille Nikolai I:lle Neva-joella. (1.) Maailman ensimmäinen polttomoottori asennettiin veneeseen ensimmäisen kerran vuonna 1888. Sen kehitti Saksalainen Gottlieb Daimler yhdessä Wilhelm Maybachin kanssa. (2.)

### 2.2 Kultainen aika

Akkujen ja moottorien kehittäminen jatkui yli 30 vuotta ennen kuin sähköveeneestä tuli varteenotettava vaihtoehto. Sähkökäyttöiset veneet nauttivat eräänlaista kultakauttaan vuodesta 1880 vuoteen 1920 asti, kunnes bensiinikäyttöisistä perämoottoreista tuli vallitseva menetelmä. (1.)

Ranskalainen sähköinsinööri Gustave Trouve patentoi pienen sähkömoottorin vuonna 1880. Hänen ensimmäisessä mallissaan vene kulki vedessä moottorin pyörittämien siipirattaiden avulla. Myöhemmin hän kehitti mallin, jossa potkurit toimivat ensisijaisina kuljettimina. (1.)

Ensimmäisiä käytännöllisiä sähköveeneitä kehitti Britanniassa asunut itävaltalainen Anthony Reckenzaum. Hän suunnitteli vuonna 1882 ensimmäisen akuilla käyvän sähköveeneen. (1.) Vene oli teräsrunkoinen 7 metriä pitkä alus. Akut ja sähkölaitteet oli sijoitettu oleskelutilojen alle, joten matkustajille saatiin enemmän tilaa. Veneitä käytettiin huvirekillä Thames-joella. Niillä pystyttiin tekemään kuuden tunnin matkoja ja ne kulkivat 8km/h:n keskinopeutta. (3.)

Moritz Immisch ja William Keppel perustivat vuonna 1882 yrityksen, joka erikoistui sähkökäyttöisten veneiden rakentamiseen. Yrityksen veneitä käytettiin 1880 – 1890-luvuilla Thames-joella. (4.) Suuret alukset rakennettiin teakista tai mahongista ja ne kalustettiin ylellisesti lasimaalauksin, silkkiverhoin ja samettitynyin. Jotkut tämän ajan veneistä ovat säilyneet näihin päiviin asti ja niitä on kunnostettu. (5.)

Useimmat tämän aikakauden sähköveeneistä olivat pieniä matkustajaveneitä, joita käytettiin sellaisilla vesillä, joissa vuorovesi-ilmiötä ei esiinny (6).

## 2.3 Nykyhetki

Bensiinikäyttöisten perämoottoreiden myötä sähköveneiden käyttäminen väheni 1920-luvulla. Kuitenkin muutamissa tapauksissa sähköveneiden käyttö on jatkunut 20-luvun alusta nykypäivään. Yksi näistä on Königssen järvi lähellä Berschtesgadenia Kaakkois-Saksassa. Täällä järveä pidetään ekologisesti niin herkkänä, että höyry- ja moottoriveneet ovat olleet kiellettyjä vuodesta 1909 alkaen. Bayerische Seenschiffahrt -yhtiö ja sen edeltäjät ovat käyttäneet sähköveneitä järven liikennöinnissä. (7.) (8.)

Ensimmäiset sähköä käyttävät sukellusveneet rakennettiin 1890-luvulla. Sittenkin sähkövoimaa on käytetty lähes yksinomaan virransyöttönä vedenalaisille sukellusveneille, vaikka dieseliä käytettiin pinta-ajossa, kunnes Yhdysvaltain laivasto kehitti dieselsähkövoimansiirron vuonna 1928. (9.)

Yhdistettyjen polttoaineen ja sähköisen käyttövoiman käyttö on vähitellen laajentunut vuosien varrella siinä määrin, että jotkut nykyajan alukset kuten Queen Mary 2 käyttää vain sähkömoottoreita, jotka toimivat diesel- ja kaasuturbiinimoottoreilla. (9.)

Sähkön käyttö yksin moottoriveneissä pysähtyi lukuun ottamatta niitä perämoottoreita, joita käytettiin uistelumoottoreina kunnes kalifornialainen Duffy Electric Boats Company alkoi massatuottamaan pieniä sähköveneitä vuonna 1968. Duffy Veneet on tuottanut yli 10000 sähkökäyttöistä venettä tähän päivään mennessä ja tuottaa yli 300 vuodessa tällä hetkellä. 1980-luvulla perustettiin Electric Boat Association ja aurinkoenergialla toimivia veneitä alkoi ilmaantua. (9.)

## 3. Sähkövenetyypit

### 3.1 Historialliset ja restauroidut

Historialliset ja restauroidut sähköveneet ovat suosittuja veneharrastajien piireissä. Tästä hyvänä esimerkkinä on Mary Gordon sähkövene. (9.)



Kuva 1. Mary Gordon - sähkövene. (10.)

### 3.2 Kanaali-, joki- ja järviveneet

Sähköveneitä käytetään usein sisävesillä, joissa niiden saasteettomuus on merkittävä etu. Sähkömoottoreita käytetään myös purjeveneiden apumoottoreina sisävesillä. (11.)

### 3.3 Sähköperämoottoriset

Sähköperämoottoreita ja uistelumoottoreita on ollut saatavilla useiden vuosien ajan. Useimmat käytettävissä olevat sähköiset perämoottorit eivät ole kovin tehokkaita, mutta soveltuvat hyvin käyttötarkoituksiinsa, esimerkiksi sisävesien kalastajille. Ne ovat hiljaisia ja ne eivät saastuta vettä tai ilmaa, joten ne eivät karkota tai vahingoita kaloja, lintuja tai muita eläimiä. Yhdistettynä moderneihin vedenpitäviin akkupaketteihin, sähköperämoottorit ovat myös ihanteellisia huvijahteihin ja muihin rannikkohuviveneisiin. (11.)

### 3.4 Risteilyjahdit

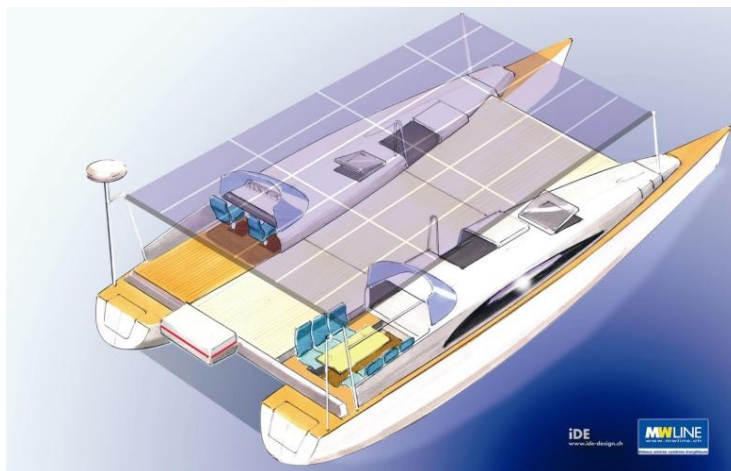
Risteilyjahdit käyttävät yleensä apumoottoreita ja niillä on kaksi pääasiallista käyttöä: ensinnäkin niitä käytetään kun ajetaan eteenpäin tai moottoripurjehditaan merellä kun tuuli on kevyt tai tuulee väärästä suunnasta. Toiseksi sähkömoottoria käytetään kun vene on tulossa satamaan ja se pitää ohjata täynnä olevaan satamalaituriin. Sähköinen käyttövoima ei sovi pitkäaikaisiin risteilyihin täydellä teholla vaikka hitaasti ajettaessa tehontarve on pieni. Jälkimmäiseen tapaukseen sähkömoottori sopii erinomaisesti, koska sitä voidaan ohjata tarkasti ja se voi tarjota merkittävää tehoa lyhyinä ajanjaksoina. (11.)

### 3.5 Dieselsähköinen hybridivene

Dieselapumoottoria voidaan käyttää akkujen lataamiseen merellä tai jos sähkölaitteita käytetään pidempään laiturissa. Suuriin huvijahteihin tämä ratkaisu voidaan suunnitella alusta lähtien. Dieselmoottori asennetaan ensisijaisena akkupankkien lataamiselle ja sähkömoottoriveneen käyttövoimaksi. Teho voi alentua, jos moottoroidaan pitkiä matkoja, kun dieselin teho muunnetaan ensiksi sähköksi ja siten liikkeeksi, mutta säästöä syntyy joka kerta kun tuuli-, purjehdus- ja aurinkoladattuja akkuja käytetään ohjaamiseen ja kun lyhyillä matkoilla ei käynnistetä dieselkonetta lainkaan. Pääasiallisimmat tappiot tulevat painossa ja asennuskustannuksissa, mutta isommat risteilyveneet voivat olla ankkurissa ja antaa isojen dieselkoneiden olla käynnissä tuntikausia joka päivä, ne eivät ole iso asia, verrattuna säästöihin joita voidaan tehdä muutoinkin. (11.)

### 3.6 Aurinkoenergiaa käyttävät veneet

Venettä, joka kulkee pelkästään aurinkoenergialla, on kutsutaan meriliikenteessä aurinkoveneeksi. Käytettävissä oleva auringonvalo muunnetaan lähes aina sähköksi aurinkokennojen avulla, varastoidaan väliaikaisesti akkuihin ja käytetään ajamaan venettä sähkömoottorin ja potkurin avulla. Voimatasot ovat yleensä suuruusluokassa muutamasta sadasta watista muutamiin kilowatteihin. Sähkövoimalla toimivat veneet alkoivat tulla tunnetuiksi vuoden 1985 aikoihin ja vuonna 1995 ensimmäiset kaupalliset aurinkoenergialla toimivat matkustajaveneet ilmestyivät. Sähkökäyttöisiä veneitä on käytetty menestyksekkäästi merellä. Ensimmäinen Atlantin valtameren ylitys saavutettiin talvella 2006/2007 aurinkokäyttöisellä katamaraanilla, jonka nimi oli Sun21. (12.)



Kuva 2. Sun 21 aurinkokatamaraani. (13.)

Toinen hyvä esimerkki aurinkosähkökäyttöisestä veneestä on vuonna 1998 valmistunut Aton-niminen aurinkovene. Aton on ajateltu kahden hengen tilavaksi matkaveneeksi. Atonin on suunnitellut ja rakentanut perniöläinen Jorma Ponkala. Aton-aurinkovene painaa suunnilleen 1000 kg, mikä on 8 m pitkälle, melkein jopa luksusvarusteiselle matkailuveneelle todella vähän. Etenkin kun ottaa huomioon, että veneen salongin puulattian alla sijaitsevan akuston yhteispaino on suunnilleen 250 kg. Atonissa on kaksi romuista rakennettua tasavirtakestomagneettimoottoria. Veneen päämoottorina on Azipod-tyyppinen moottori, eli veneen ohjailu tapahtuu moottoria kääntämällä. Päämoottori kääntyy jopa niin paljon, että vene pystyy pyörähtämään paikallaan. Päämoottorin suurin teho on noin 1 kW, ja täydellä teholla huippunopeus on suunnilleen jopa 10 km/h. Täyttä vauhtia harvoin kuitenkaan ajetaan, sillä noin puolella teholla vene kulkee vielä vähän yli 8 km/h. Tämän lisäksi keulakajuutan lattian alla on pieni alas laskettava ohjailupotkuri, mikä samalla toimii erittäin oivallisena varamoottorina. (14.)

Veneelle tasasähköä kehittää yhteensä 18 kpl aurinkopaneelia, joiden yhteenlaskettu teho on noin 1200 W. Akkuihin mahtuu yhteensä 8,6 kWh, joten hyvinä päivinä ne ehtivät latautua tyhjästä täyteen. Auringosta tuleva energia riittää sekä veneen liikuttamiseen että myös sähköhellan, sähköuunin, jääkaapin sekä pakastimen käyttöön, ja jopa parin henkilön tilavan sähkösaunan lämmittämiseen, joka kuluttaa tehoa noin 1200 W. Veneen ohjailu on toteutettu servo-ohjausperiaatteella. Kaikki Aton-veneeseen ohjailuun ja muuhun hallintoihin liittyvät ohjaimet sekä miniatyyri ruoripyörä on yhdistetty käteen mahtuvaan laatikkoon, josta lähtee liittimellinen kaapeli. Veneen keulassa ja peräpäässä on liittimeen sopiva vastakappale, joten venettä pystyy ohjaamaan mistä kohtaa venettä tahansa, esimerkiksi katolta. Matkaa pystyy tekemään jopa yli 100 kilometrin päivävauhtia täydellisyyttä hivelevässä mukavuudessa, menettämättä kuitenkaan hetkeksikään näköyhteyttä ympäröivään luonnonkauniiseen luontoon. (14.)

Aton aurinkosähkövene on ilmeisesti tällä hetkellä ainutlaatuinen maailmassa. Toista yhtä nerokkaasti tehtyä ja kokonaisvaltaisesti toimivaa aurinkovenettä ei tällä hetkellä ole tiedossa. (14.)



Kuva 3. Aton aurinkovene. (15.)

### 3.7 Langalliset sähköveneet

Erityisluokan sähköveneet ovat veneitä, jotka saavat tarvitsemansa sähkövirran johtimen avulla. Yksi tai kaksi johtoa on kiinteästi veden yläpuolella ja vene on niiden kanssa kosketuksissa saadakseen sähkövirtansa. Yhden johdon tapauksessa virtapiiriin tulee olla suljettu vedeltä itseltään, aiheuttaen muuten suuren resistanssin nousun ja elektrolyyttisen korroosion. Kaksijohdintapauksessa sähkövirtaa ei tule lähettää veden läpi, mutta tuplajohdoissa, jotka voivat aiheuttavat oikosulun, kun ne joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa, vaikeuttavat rakentamista. (16.)

Luonnollisesti tällaisen veneen tulee olla lähellä sähköjohtimia, joten veneen ohjailtavuus on rajoitettu. Lautoille ja kapeissa kanavissa tämä ei ole ongelma. Saksan Strausbergissa kulkeva Straussee ferry on hyvä esimerkki. Se ylittää järven 370 m liikerataa pitkin. Sen voimanlähteenä on 170 voltin yksittäinen yläpuolinen johdin. Mauvages tunnelissa (FR) Marne-Rhine kanaalissa kaksisuuntainen ilmajohto tarjoaa 600 voltin tasasähkön sähköhinaajalle, joka vetää itsensä ja useita muita aluksia 4877 metrisen tunnelin läpi vedenalaista ketjua pitkin. Tämä estää dieselpakokaasujen kertymisen tunneliin. Toisena esimerkkinä on kokeellinen sähköhinaaja Teltow (DE) Kleinmachnower Seellä 17 kilometriä lounaaseen Berliinistä. Sitä käytettiin vuodesta 1903 vuoteen 1910 asti ja se oli nykyisen kokoelman pylväät, jotka perustuvat kyseisiin johdinnauhoihin. (16.)



Kuva 4. Straussee ferryn Steffi ylittämässä Straussee järveä Saksassa. (17.)

## 4. Sähköveneiden pääkomponentit

### 4.1 Akusto

Sähköveneissä sekä muissa veneissä on käytetty yleisesti ns. Marine-akkuja. Marine-akut eivät ole luokiteltu mitenkään, eikä niitä ole standardoitu, joten nämä saattavat tarkoittaa erityyppisiä ja tasoiltaan aivan erilaisia veneakkuja. Akkujen valmistajat tavoittelevat yleensä Marine-akuillaan suojatumpia ja veneilykäyttöön yhä paremmin soveltuvimpia veneakkuja. Maailmalla käytetyin veneakkutyyppi on yhä perinteinen lyijyaku. Etenkin nikkeli-metallihydridiakut ovat myös saaneet paljon lisää käyttäjiä veneilijöiden keskuudessa. (18.)

#### 4.1.1 Lyijyakut

Lyijyakut muodostuvat keskenään nestekosketuksessa olevista lyijyelektrodeista, joissa kemiallisten muutosten avulla vapautuu tai sitoutuu elektrodeja. Suomeksi kerrottuna tämän tyyppisten akkujen pääideana on muuntaa kemiallista energiaa sähköenergiaksi. Tällainen prosessi on myös molempiin suuntiin tapahtuva, joten näitä elementtejä pystytään sekä lataamaan että purkamaan. (19.)

Lyijyakuissa on negatiivisena elektrodina melkein aina lyijylevy (Pb), positiivisena elektrodina on yleensä lyijydioksidilevy ( $\text{PbO}_2$ ) ja yleensä noin 37 %:n vahvuinen rikkihappoliuos toimii elektrolyytinä. Elektrodeja pystytään myös saostamaan erilaisista metalleista, jotta näille saataisiin entistä parempi johtavuus. Näin on myös erityisesti tehty ns. tehostarttiakuissa, joissa on käytetty yleensä hopeaa elektrodeissa. Suljetuissa akuissa elektrodien välissä on yleensä myös ohut erotinmatto, jonka päätarkoituksena on eristää elektrodit toisistaan, mutta samalla se päästää reaktioissa syntyneet ionit erotinmaton läpi. (19.)

Purkausreaktiossa oleva lyijyatomi hapettuu yleensä 2-arvoiseksi positiiviseksi ioneiksi ( $\text{Pb}^{++}$ ) ja nämä taas luovuttavat pois kaksi elektronihiukkasta, jotka kulkeutuvat ulkoisen virtapiirin avulla akun positiiviselle elektrodilevylle. Siellä syntyneet 4-arvoiset lyijyionit taas sitovat nämä elektronit ja ne myös yleensä pelkistyvät 2-arvoiseksi ioneiksi. (19.)

Kun tavallista lyijyakkua ladataan, siitä muodostuu kaasua. Tämä tapahtuu kun akussa oleva vesi prosessoit elektrolyytin kanssa. Jotta tämä kemiallinen tasapaino voitaisiin ylläpitää, vettä tulisi lisätä säännöllisin väliajoin. (19.)

Akun käyttöikä alkaa yleensä olla loppuillaan, kun akun kapasiteetti on laskenut noin 60–80% alkuperäisestä kapasiteetista. Lyijyakun käyttöikään vaikuttaa paljon myös lämpötila: esimerkiksi korkeassa lämpötilassa akku hapettuu paljon nopeammin kuin kylmässä lämpötilassa. (19.)

#### 4.1.2 Lyijy-hiiliakut

Uusin lyijyakuihin suuntautuva tuotekehitys on tuottanut markkinoille lyijy-hiiliakun, jossa joko negatiivisessa elektrodissa tai sekä molemmissa elektrodeissa käytetään yleensä lyijyn sijasta aktiivihiiiltä superkondensaattorien tapaan. Elektrodi on valmistettu hiiligrafiittivaahdosta, joka valmistusprosessissa peitetään yleensä lyijykerroksella. (18.)

Suurentuneen pinta-alan takia akun reaktionopeus lisääntyy, purkausnopeus kasvaa sekä akun painot ja koot pienenevät noin puoleen. Akun kapasiteetti kasvaa etenkin kylmissä olosuhteissa, mutta korroosiot ja sulfanoitumiset kuitenkin vähenevät. Kun noin yli 40 % lyijystä (tavalliseen lyijyakkuun verrattuna) on korvattu aktiivihiihellä, ollaan savutettu jopa neljä kertaa pitempi elinikä ja todella paljon pienemmät ympäristövaikutukset. (18.)

PbC-akkuja eli lyijy-hiiliakkuja voidaan valvoa myös etäohjauksella ja vikaantuneet akut pystytään ohittamaan, jolloin pystytään välttämään lyijyakuille tyypillinen tilanne, jossa yksi voittunut akku voi tarkoittaa koko järjestelmän alasajoa ja vaihtoa. (18.)

#### 4.1.3 Litium-ioniakut

Litium-ioniakusta on tulossa tulevaisuudessa merkittävin uusi akkutyyppeihin niin autoissa kuin veneissäkin, sen energiatehokkuuden, keveyden ja yllättävän pitkän eliniän takia. Litium-akuissa on yleensä käytetty litiumia tai litium-yhdistelmiä elektrodeina. Näistä materiaaleista johtuen litium-ioni akun jännite voi olla 1,5–3,7 voltia. Uudelleen ladattavissa litium-ioni akuissa anodeina käytetään yleensä grafiittia, ja katodi taas voi olla esimerkiksi litium-kobolttioksidia (Li-CoO<sub>2</sub>), litium-rautafosfaattia (Li-FePO<sub>4</sub>, LFP) tai vaikka litium-mangaanioksidia (LiMnO<sub>2</sub>). Kobolttioksidi oli ensimmäinen katodimateriaali litium-ioniakuissa. Viimeisimpiä ja kehittyneimpiä vaihtoehtoja on litium-rautafosfaatti, mikä on myös materiaaleiltaan paljon halvempi kuin litium-koboltti. Litium-rauta akku ei kylläkään pysty varastoimaan yhtä paljon sähköenergiaa kuin muut litium-ionimateriaalit, mutta ne ovat rakenteiltaan paljon turvallisempi kuin muut litium-ionimateriaalit. (18.)

Litium-ioniakkujen huonona puolena on yleensä akun vanheneminen, mikä alkaa jo yleensä kaupan hyllyssä. Täyteen ladatut akut menettävät pysyvästi suunnilleen 20 % kapasiteetistaan jo jopa 1 vuodessa ja 40 %:n latausasteessa jopa 4 % 1 vuodessa, kun huoneen lämpötila on suunnilleen 25 °C. Myös akun sisäinen vastus kasvaa sekä käyttämättömänä että myös lataus–purkaus-syklien vaikutuksesta. Akun sisäisen resistanssin kasvaminen aiheuttaa litium-ioniakussa yleensä sen, että akun jännite

pienenee kuormitettuna ja samalla se pienentää myös akussa käytettävissä olevaa purkausmaksimivirtaa. (18.)

Litium-ioniakkujen lataamista ja näiden akkujenkohtaista virtaa, jännitettä ja etenkin lämpötilaa on syytä valvoa tarkkaan, sillä esim. sallitun jännitealueen ylittäminen tai alittaminen saattaa jopa vanhentaa akkua hyvinkin nopeasti ja tämä saattaa hyvinkin myös aiheuttaa räjähdysvaaran. Akkujen hallinnassa pitää myös huomioida se, että jotkut litium-akkutyypit, kuten esim. litiumkobolttiakut, saattavat hyvinkin räjähtää oikosulussa tai ylikuumetessa. (18.)

Akkujen balansointipiirillä hoidetaan heikkojen akkujen ns. ”ohittaminen”, jotta jokaisessa sarjaan kytketyissä akkukennoissa pystytään aina saavuttamaan kennon maksimilatausjännite. Akkuja ladataan aina vakiovirralla, kunnes akkukennojen maksimilatausjännite saavutetaan. Tämän latauksen jälkeen lataamista jatketaan vakiojännitteellä, kunnes latausvirta putoaa noltaan tai suunnilleen noin 7 %:iin täydestä latauksesta. Nykyiset kennot voidaan ladata täyteen jopa vähän alle tunnissa ja jotkin akkukennotyypit pystytään lataamaan täyteen jopa 10 minuutissa. (18.)

Uusin tutkimusvaiheessa oleva kehitysinnovaatio on litium-rikkiakut, joiden kehityksessä on harpattu askel eteenpäin käyttäen nanotekniikkaa. Tämän kaltaisten akkujen energian varastointikyky on jopa 2–3 kertaa suurempi ja parempi kuin muiden litium-akkujen, mutta nämä akut vaativat yhä edelleen lisää kehitystyötä niiden turvallisuuden ja etenkin stabiilisuuden varmistamiseksi. Nanomateriaalilla päällystämällä on myös kehitteillä hyvin paljon erilaisia elektrodeja, jotka pystyvät mahdollistamaan tulevaisuuden litium-akkujen lataamisen ja purkamisen jopa vain 10–20 sekunnissa. Myös akkujen muut ominaisuudet, kuten paino, itsestään purkautuvuus sekä lämpeneminen, ovat myös paremmin hallittuja. (18.)

Litium-akkujen käyttö esim. veneissä ja sähköveneissä on tällaisten litium-akkujen energiatehokkuuden ja keveyden takia erittäin kiinnostavaa. Litium-akut vaativat kuitenkin tällaisen akkuteknologian käytön erityisosaamista ja yleensä myös erityisoheis-/latauslaitteita, jotka huolehtivat mm. virran, jännitteen sekä lämpötilan kontrolloinnista. Valmiissa akkupaketeissa tällaiset asiat on jo otettu hyvin huomioon. Tällaisia akkupaketteja valmistavat esim. MasterVolt ja European Batteries. (18.)

#### 4.1.4 Nikkeli-kadmium akut ja nikkeli-metallihydridi akut

Nikkeli-kadmium akkujen (Ni-Cd) positiivinen elektrodi on yleensä valmistettu nikkelihydroksidista ja negatiivinen on taas valmistettu kadmiumista. Elektrolyytinä on yleensä kaliumhydroksidiliuos. Koska kadmium on ympäristölle ja ihmisille erittäin vaarallinen myrkky, niitä pystytään käyttämään enää vain erilaisissa isoissa teollisuuslaitoksissa ja tehtaissa. (18.)

Ni-MH-akulla eli nikkeli-metallihydridiakuilla on yleensä hyvin paljon suurempi kapasiteetti, mutta paljon lyhyempi kestoikä kuin nikkeli-kadmiumakuilla. Ni-MH-akun muisti-ilmiot eivät ole lähes yhtä voimakkaita kuin Ni-Cd-akuilla. Ni-MH-akun heikkouksina ovat esim. alhaisempi virranantokyky kuin Ni-Cd-akuilla sekä paljon suurempi itsepurkautuvuus. Ni-MH-akkujen varauksesta purkautuu itsestään jo noin 20 % kuukaudessa. (18.)

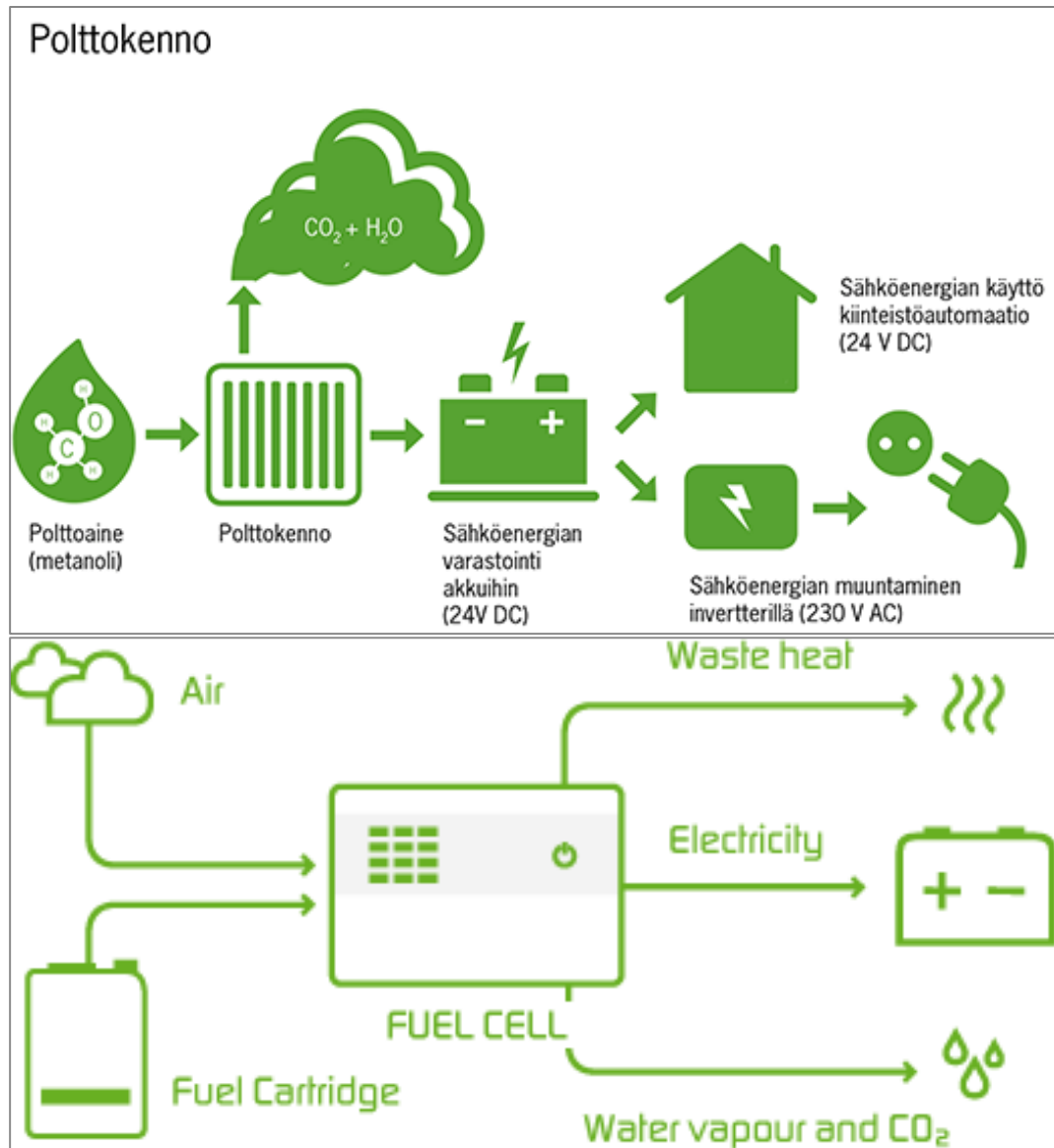
#### 4.1.5 Natrium-akut

Natrium-rikkiakku (NaS) muodostuu melkein aina positiivisesta elektrodista, joka on yleensä sulaa rikkiä (S), ja negatiivisesta elektrodista, joka on yleensä nestemäistä natriumia (Na), sekä näitä erottavasta keraamisesta elektrolyytinesteestä. (18.)

Akun toimintalämpötila on suunnilleen noin 300 °C ja hyötysuhde on noin 89 %. Natrium-rikkiakut eli NaS-akut soveltuvat lähinnä suuritehoisiin kiinteisiin sovelluskohteisiin kuten tehtaisiin ja varastohalleihin teollisuuslaitoksiin. Venesiin nämä akut eivät sovellu toimintalämpötilansa takia. (18.)

#### 4.1.6 Polttokennot

Polttokennot ovat yleisesti ottaen sähkökemiallisia laitteita, joihin syötetään palavia aineita laitteen ulkopuolelta ja tällä tavoin saadaan tuotettua sähköä pitkäaikaisesti. Polttokennot korvaavat yleensä niitä akkuja, joilla kaikki palamisaineet ovat kotelon sisällä. Polttokennoja saatetaan pitää myös sähkögeneraattoreiden korvaajina, mikäli sen polttoaineina käytetään primäärejä tai vastaavanlaisia polttoaineita. Lämpövoimakoneiden ja laitteiden suurinta hyötysuhdetta määrittelevä Carnot'n prosessi ei yleensä koske mitenkään polttokennoja, joten polttokennojen sähköinen hyötysuhde on huomattavasti paljon korkeampi kuin esim. dieselgeneraattoreilla. Matalalämpöisten polttokennojen yleisenä pääongelmana on erityisesti hapetusreaktioiden hitaus, jota voidaan yrittää nopeuttaa erilaisilla katalyyteillä, kuten vaikka esimerkiksi platinalla. Kallis platina halutaan kuitenkin vaihtaa halvemmiksi nanomittakaavaisiksi katalyyteiksi. Korkealämpöiset polttokennot eivät ehkä tarvitse minkäänlaista katalyyttia tai niissä saatetaan käyttää erilaisia edullisia katalyyttejä, mutta niiden termodynaaminen tehokkuus laskee kun lämpötila nousee korkeammalle. (20.)



Kuvat 5 & 6. Polttokennon toimintaperiaate. (21.) (22.)

#### 4.1.7 Akkujen vertailu

Eri akkutyypin ominaisuuksien vertailu ei ole yksinkertaista. Eri akkutyypeillä on erikokoisia akkuja ja niiden tiedot vaihtelevat hyvinkin paljon. Akuista on välillä vaikea löytää kunnollisia tietoja internetistä. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on esitetty eri akkutyypin teknisiä tietoja.

TAULUKKO 1. Eri akkutyypin vertailu

Akkutyypin	Lyijy akku	Lyijy-hiili akku	AGM-akku	Lithium-ioni akku	Nikkeli-kadmium akku	Nikkeli-metallihydridi akku	Natrium akku
<b>Lyhenne</b>	Pb	PbC	AGM	Li-ion	Ni-Cd	Ni-MH	NaS
<b>Nimi</b>	Optima RT S 4.2	Exide Sonnenschein 12 V 60 Ah	BOSCH AKKU S5 AGM	European Batteries HE power cell EB40P LFP	Shenzhen Newhop NHCD-30	Ovonic Series 9500 - 12 volt 85 AH	Zebra batteries
<b>Rakennetyypin</b>	Yksittäinen	Yksittäinen	Yksittäinen	4 kennoa sarjassa	10 kennoa sarjassa	Yksittäinen	5 kennoa sarjassa
<b>Paino (kg)</b>	17,2	21,8	17,7	3,92	25	17,4	9
<b>jännite (V)</b>	12	12	12	12,8	12	12	13
<b>Kapasiteetti (Ah)</b>	50	60	60	45	30	85	38
<b>Energiatiheys (Wh/kg)</b>	50	33	40	130	80	67	120
<b>Käynnistysvirta (A)</b>	1000	400	680	240	340	362	400
<b>Teho (Wh)</b>	600	720	720	130	360	250	400
<b>Lataus/purku (sykliä)</b>	300	600	400	3000	1000	1200	1000
<b>Ikä (vuosia)</b>	5	7	2 - 3	5	20	10	5
<b>Itsepurkaus (%)</b>	15	15	5	< 10	20	30	15
<b>Lataus aika (h)</b>	8 - 16	8 - 16	3	1,5 - 3	1 - 2	1-4	10
<b>Hinta (€)</b>	236,54	240	154,44	240	446,3	224	176

Kun tarkastelee taulukkoa (Taulukko 1), huomaa heti, että kaikki akut eivät ole isoja 12 voltin akkuja, vaan osa on akkukennoja. Tämä johtuu siitä, että osasta akkutyypeistä ei löytynyt 12 voltin akkuja, joten taulukkoon 1 jouduttiin ottamaan mukaan akkukennoja. Kennoja on liitetty sarjaan siten, että saadaan tehtyä 12 voltin akku, jotta näin olisi helpompi vertailla akkutyyppejä keskenään.

Kun tarkastellaan taulukossa 1 olevien eri akkutyypin painoja, huomataan, että painavin akku on Shenzhen Newhop NHCD-30 Nikkeli-Kadmium akku, jonka paino on 25 kg. Täytyy ottaa huomioon, että akku koostuu 10 kennosta, joiden yksittäinen paino on 2,5 kg ja jännite 1,2 V. Kevyin akku on European Batteries HE power cell EB40P LFP:n lithium-ioni akku, jonka paino on 3,92 kg ja jännite 12,8 V. Tästäkin pitää ottaa huomioon se, että akku koostuu 4 kappaleesta kennoja, joiden yksittäinen paino on 0,98 kg ja jännite 3,2 V.

Kapasiteettia tarkasteltaessa huomataan, että suurin kapasiteetti on Ovonic Series 9500 - 12 volt 85 AH Nikkeli-Metallihydridi akulla, jonka kapasiteetti on 85 Ah. Pienin kapasiteetti on Shenzhen Newhop NHCD-30 Nikkeli-Kadmium akulla (10 kpl kennoja sarjassa), jonka kapasiteetti on 30 Ah. Pitää ottaa huomioon, että kun akut kytketään sarjaan, niin jännite lisääntyy, mutta kapasiteetti pysyy samana. Rinnankytkennässä jännite pysyy samana, mutta kapasiteetti kasvaa.

Taulukossa 1 suurin energiatiheys on lithium-ioniakuilla (130 Wh/kg) ja pienin lyijy-hiili akuilla (33 Wh/kg). Suurin käynnistysvirta on Optima RT S 4.2 lyijy akulla, jonka käynnistysvirta on 1000 ampeeria ja pienin käynnistysvirta on European Batteries HE power cell EB40P LFP lithium-ioniakulla, jonka käynnistysvirta on noin 240 ampeeria. Suurin teho on lyijy-hiili akulla ja AGM-akulla (720 Wh) ja pienin lithium-ioni akulla (130 Wh). Suurin lataus/purku kertoja eli syklejä on lithium-ioniakuilla (1200 sykliä) ja pienin lyijyakuilla (300 sykliä).

Taulukon 1 akkujen itsepurkausalue on 5 - 30 %, joista suurin on nikkeli-metallihydridi akuilla ja pienin AGM-akuilla. Akkujen ikähaitari on 2 - 20 vuotta. Suurin latausaika on lyijyakuilla ja lyijy-hiiliakuilla, joiden latausaika on noin 8–16 tuntia ja pienin latausaika on nikkeli-kadmiumakuilla, joiden latausaika on noin 1–2 tuntia.

Taulukosta 1 huomataan, että eri akkutyypin hinnat vaihtelevat aika paljon. Kallein akku on lithium-ioniakkujen Shenzhen Newhop NHCD-30, joka maksaa noin 446,3 euroa. Halvin akku taas on natrium-akkujen Zebra batteries, joka maksaa noin 176 euroa.

Kun tarkastelee akkujen vertailutaulukkoa huomaa, että eri akkutyypin arvot vaihtelevat paljonkin ja kaikilla akkutyypeillä on hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että tässä taulukossa (Taulukko 1) on vain yksi akku jokaisesta akkutyypistä. Jokaisella akkutyypillä on paljon akkuja ja niiden tekniset tiedot voivat vaihdella hyvinkin paljon, joten tämä vertailu ei ole tarkka eri akkutyypin eroista, mutta se antaa kuitenkin jonkinlaista tietoa eri akkutyypin ominaisuuksista.

## 4.2 Laturit

### 4.2.1 Maasähkö

Maasähköllä tarkoitetaan yleisesti venelaiturilta tai maista saatavan 230-volttisen verkkovirran käyttöä veneessä, oli kyse sitten vaikka veneakkujen lataamista tai muiden verkkovirralla toimivien laitteiden, kuten esim. kylmälaukun käyttämistä veneessä. Veneen tasasähköjärjestelmä on pelkkä ns. "taskulamppu" verkkovirrasta otettavaan jännitteeseen sekä mahdolliseen oikosulun vaaraan verrattuna, joten

laiturilta veneeseen tulevia johtoja tulee käyttää erittäin varoen sekä huolellisesti ja niiden kaikki liitännät tulee suojata erittäin tarkoin kosteudelta ja merivedeltä. Suojattukin maasähköjohto täytyy pitää poissa kosketuksista merivedestä ja johtoa ei missään nimessä saa litistää niin, että se saattaisi vaurioitua. Täytyy aina muistaa, että sähköasennuksia saa tehdä vain ja ainoastaan siihen valtuutettu sähköasentaja! (23.)

Varsinkin vieraiden vierasvenesatamien maasähköä käytettäessä tulisi hankkia niin kutsuttu Schuco-CEE-adapteri, joka toimii sovittimena vedettäessä maadoitettua tavallista sähköjohtoa laiturilta olevalta siniseltä sähköpisteeltä veneeseen. Satamissa CEE -pistokkeet saattavat olla ainoa vaihtoehto akkujen turvalliseen lataamiseen. (23.)

#### 4.2.2 Aggregaatti

Aggregaatti (joko polttomoottori-generaattori tai sähkövoimakone) on laite, joka tuottaa sähköä suoraan esimerkiksi bensiini- tai dieselmoottorin avulla. Aggregaatti on useimmiten siirrettävä ja sen tavanomaisia käyttökohteita ovat alueet, joihin sähköverkko ei ulotu tai sähkön jakeluhäiriön varalta tarvitaan nopeasti varavirtaa. Tämänkaltaisia paikkoja ovat esimerkiksi työmaa-alueet, kesämökit, maatilat, omakotitalot, sairaalat sekä sotilasjärjestelmät ja yleisötilaisuudet maasto-olosuhteissa. Aggregaatteja käytetään yleensä myös akkujen lataamiseen esimerkiksi kesämökeillä, veneissä tai asuntovaunuissa. (24.)

Aggregaatti voi toimia myös itsenäisenä varavirtayksikkönä, mikäli siinä on automaattinen jännitteensäätö ja herätystoiminto sähkökatkon ylläpitäessä. Aggregaatin tuottama virta voi olla standardin mukaista verkkosähköä vastaavaa yksi- tai kolmivaiheista virtaa, mutta sähkön laatu saattaa vaihdella jonkun verran aggregaatin laadusta sekä niiden teknisistä ratkaisuista riippuen. Erityisiin käyttötarkoituksiin on myös olemassa esimerkiksi 12 V, 24 V tai 48 V tasavirtaa tuottavia erityisaggregaatteja. (24.)

#### 4.2.3 Aurinkokennot

Aurinkokenno on laite, jolla auringosta tuleva säteily saadaan muutettua sähköenergiaksi valosähköisten ilmiöiden avulla. Aurinkokennon päätoiminta perustuu siihen, että auringosta saapuvat fotonit muodostavat absorboivaan puolijohteeseen varauksenkuljettajia, jotka kerätään kulutuslaitteisiin tai akkuihin. Aurinkosähköä saadaan tuotettua myös infrapunavalosta. Yleisimpiä aurinkokennoissa käytettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi yksikiteinen pii (Si), monikiteinen pii, galliumarsenidi sekä amorfinen pii. (25.)

Aurinkokennojen tehokkuus riippuu hyvin paljon auringon säteilyenergian määrästä, eli se riippuu yleisesti maasta, paikallisesta ilmastosta ja ilmansaasteiden määrästä. Parhaimmillaan aurinkoenergiajärjestelmät ovat yleensä aurinkoisissa maissa, jotka

sijaitsevat molemmin puolin päiväntasaajaa. Useimpien aurinkokennojen teho yleensä kuitenkin laskee lämpötilojen noustessa ja etenkin pohjoisessa päivänvaloa saadaan kesäaikana jopa ympäri koko vuorokauden, joten vuositasolla aurinkoenergiaa pystytään taloudellisesti hyödyntämään jopa pohjoisillakin leveysasteilla. Kennojen tyypilliset käyttöiät ovat yleensä noin 30 vuotta. (25.)

Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, jossa ei ole minkäänlaisia polttoainekustannuksia, ja josta ei myöskään synny minkäänlaisia hiilidioksidipäästöjä tai jätteitä. Aurinkokennojen käyttöä on kuitenkin hidastanut aurinkokennojen melko korkeahko hinta. Kehityssuuntana on aina ollut kustannuksien alentaminen, hyötysuhteen parantaminen sekä materiaalien tuotekehitys. Aurinkokennojen valmistuskustannukset alenevat jopa 2–4 prosenttia vuosittain teknisen kehitystyön ja suurtuotannon etujen vaikutuksista. Tärkein ja myös välttämättömin valosähköisten aurinkokennojen raaka-aine on pii, jota maapallolla esiintyy yltäkyläisesti yli teollisuuden tarpeiden. (25.)

Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä tuotekehityksen alkuvaiheessa, mutta näiden odotetaan laskevan tuotantokustannuksia huomattavasti. Uusia kennoja voidaan myös pinnoittaa esimerkiksi lasiin tai seinäpintaan ja kennoja voidaan myös tuottaa suurina sarjoina todella edullisesti. (25.)

#### 4.2.4 Tuuliturbiinit

Tuuliturbiini on kone, jolla tuulen eli virtaavan ilman liike-energiaa muutetaan turbiinin akselin pyörimisenergiaksi eli mekaaniseksi energiaksi. Akseli pyörittää edelleen sähköä tuottavaa generaattoria ja tuottaa tuulivoimaksi kutsuttavaa sähköä. (26.)

Yleisimmän tuuliturbiinimallin rakenne on aksiaalinen, eli siinä ilma virtaa akselin suuntaisesti. Myös radiaalisia tuuliturbiineja valmistetaan, mutta ne soveltuvat lähinnä pienille tehoille, korkeintaan noin 25 kW. (26.)

#### 4.3 Lataussäädin

Lataussäätimen päätehtävänä on ohjata akkujen latausta sekä valvoa akkujen tilaa. Säätimien tärkeimmät tehtävät ovat estää akkujen ylilatautuminen. Säädin voi sisältää myös näytön, mikä antaa hyvinkin paljon tietoja latauksesta ja varsinkin akkujen varauksesta. Sähköveneissä on käytössä pääosin vain kahdentyyppistä lataussäädintä, PWM ja MPPT-säätimiä. Asennuskohteista ja tapauksista riippuu mikä näistä säädinvaihtoehdoista on kyseisiin käyttökohteisiin parempi valinta. (27.)

PWM-säätimen eli Pulse width modulation -säätimen toiminta perustuu yleensä pulssinleveysmodulaation hyödyntämiseen lataamisessa. Akkujen lataus jakautuu

yleensä eri vaiheisiin, joissa akkujen latausjännitteen ja latausvirran arvot muuttuvat akkujen varaustilojen mukaan. PWM-säätimen valinta on yleensä sidottu paneelin jännite sekä virta-arvoihin. Paneelien tuottaman jännitteen tulisi aina olla mahdollisimman lähellä akkujen latausjännitettä, mutta kuitenkin aina korkeampi, sillä PWM-säätimet eivät kykene hyödyntämään ylimääräistä jännitettä. (27.)

MPPT-säätimet eli maximum powerpoint tracker -säätimet ovat yleensä PWM-säätimiä, joihin on lisätty MPPT-algoritmi. MPPT toiminnon ansiosta säädin pyrkii lähes aina ottamaan paneelistolta maksimitehon (mpp = maximum powerpoint). MPPT-säätimet kykenevät myös muuttamaan paneeleilta tulevan virran ja jännitteen suhdetta. Jos esimerkiksi paneelijännite on paljon akkujen jännitettä suurempi, säädin pudottaa jännitettä, mutta samalla nostaa akkujen latausvirtaa. Tällä tavoin saadaan paneelien tehosta mahdollisimman paljon tehoa käyttöön. (27.)

#### 4.4 Nopeussäädin

Nopeudensäädin on sähkömoottoreiden toimintoja ohjaava laite. Säädin yhdistetään ajoakun ja moottorin väliin säätämään moottorilta tulevaa tehoa. Lisäksi säätimen servojohto asennetaan vastaanottimen kaasukanavalle. On tärkeää huomioida, että servojohtossa mahdollisesti oleva virtakytkin katkaisee vain vastaanottimen ja servojen virransyötön. Eli virtakytkimestä huolimatta akku täytyy irrottaa aina säilytyksen ajaksi. Nopeudensäätimet kuluttavat jonkin verran virtaa ja ne saattavat tyhjentää akun jo muutamassa päivässä. Jos LiPo-akku pääsee liian tyhjäksi, menee se yleensä pilalle, ja Ni-MH akutkaan eivät täysin pidä tyhjäksi purkamisesta. (28.)

Nopeudensäätimissä on yleensä aina turvaominaisuus, mikä aiheuttaa sen, että moottori ei lähde käyntiin ennen kuin kaasuvipu on käynyt nollilla. Eli moottori ei voi lähteä pyörimään heti virtoja kytkettäessä. Jotkut nopeudensäätimet saattavat taas piipata aina parinkymmenen sekunnin väliajoin, kun kaasu on nollilla. (28.)

Harjallisen moottorin nopeussäätimen tunnistaa yleensä siitä, että moottorin ja säätimen välissä on kaksi johtoa. Nopeussäädin säätää moottorin näkemää jännitettä PWM-säädöllä (Pulse Width Modulation). Tässä on periaatteessa kyseessä aivan yksinkertaisesta akun jännitteensäädöstä sähkömoottorille. (28.)

Harjattoman moottorin nopeudensäätimen tunnistaa taas siitä, että nopeussäätimen ja sähkömoottorin välissä on kolme johtoa. Koska harjattomassa moottorissa ei ole harjoja, nopeussäätimen täytyy huolehtia jännitteensäädön lisäksi myös harjattoman moottorin kommutoinnista. Eli säätimen täytyy sekä tunnistaa moottorin asento että antaa kullekin käämille virtaa oikeaan aikaan, jotta sähkömoottori voisi pyöriä. (28.)

## 4.5 Vaihteisto

Vaihteisto on laite, jolla siirretään tehoa, mutta myös muunnetaan momentin ja pyörimisnopeuden suhdetta. Vaihteiston avulla pystytään valita sisääntuloakselin ja ulostuloakselin välinen välityssuhde. (29.)

Vaihteiston pienet vaihteet tarjoavat suuren momentin ja alhaisen pyörimisnopeuden. Vaihteiston suuremmat vaihteet taas tarjoavat alhaisempaa momenttia ja suurta pyörimisnopeutta. Vaihteistolta saatavan momentin suuruuteen vaikuttaa paljon tehonlähteeltä, eli moottorilta tuleva teho kyseisellä kierrosnopeudella. (29.)

Sähkömoottorit eivät välttämättä tarvitse vaihteistoa, koska sähkömoottorin tuottama teho voi olla riittävä jo alhaisillakin kierrosnopeuksilla, joten hyytymisongelmaa ei välttämättä ilmaannu milloinkaan. (29.)

## 4.6 Sähkömoottori

Sähkömoottorit ovat sähköllä toimivia moottoreita, joiden avulla sähköenergiaa pystytään muuttamaan mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorissa kelalle käärittyjen johtimien eli käämien välissä olevaan magnetoituvaan metalliin luodaan sähkönsäädin avulla voimakas magneettikenttä, jonka napaisuutta sopivalla taajuudella vaihtelemalla moottori saadaan pyörimään. (30.)

Sähkömoottorin päätoiminta perustuu yleensä siihen, että magneettisuus pystytään aina kytkemään päälle ja pois. Sähköinen magneetti saadaan aikaan sähköjohtimen avulla, joka magnetisoituu, kun johtimessa kulkee sähkövirta. Hyvin heikkoa magneettisuutta pystytään vahvistamaan kiertämällä johdinta useita kierroksia rullalle. Kun näin muodostuneen kelan sisällä on magnetisoituva sydän, joka on useimmiten rautaa, niin myös sydän magnetisoituu. (30.)

Piensähkömoottoreiksi kutsutaan yleensä sellaisia koneita, joiden teho on alle 500 W. Tällaisille koneille on hyvin tyypillistä rakenteiden suuri vaihtelu käyttökohteiden mukaan. Piensähkömoottorit ovat useimmiten yksivaiheisia vaihtosähkökoneita, joita rakennetaan myös epätahti-, tahtikoneina ja kommutaattorisarjamoottoreina sekä tasasähkömoottoreina. (31.)

## 5 Sähköperämoottorit

### 5.1 Yleistä

Sähköperämoottorit soveltuvat aivan erinomaisesti Suomalaiseen mökkiveneilyyn sekä järviolueilla että myös suojaisilla merialueilla. Se tarjoaa myös varsin ekologisen ja todella hiljaisen tavan nauttia kotimaisesta luonnosta. Sähköperämoottoreiden suuria etuja ovat niiden hyvin alhaiset huoltokustannukset, hyvin pitkät käyttöiät, korkea luotettavuus sekä polttomoottoreita hyvin paljon helpompi käytettävyys. Koska sähköperämoottorit kestävät paljon enemmän kolhuja kuin polttomoottorit, joten tämän takia sähköperämoottorit soveltuvat erittäin hyvin myös satunnaiskäyttöihin polttomoottoreita paremmin. (32.)

Sähköperämoottorin valintaan vaikuttaa hyvin paljon käytössä oleva vene, veneen sekä myös kyydissä olevien henkilöiden painot, käyttöolosuhteet sekä ajateltu käyttöaika. On viisainta valita seuraavaksi suurempi moottori, joka täyttää käyttäjän kaikki tarpeet. Tämä taas mahdollistaa moottorin käytön myös hieman kovemmissa tuuliolosuhteissa ja se tuo paljon lisämukavuutta ja turvallisuutta veneilyyn. (32.)

Sähköperämoottori on aivan ihanteellinen esimerkiksi vaikka uistelukäyttöön, retkikanootin hyväksi apumoottoriksi tai vaikka mökkirannan pikkusuotuveneeseen perään lyhyille verkko- ja katiskan tarkistus matkoille. (32.)

### 5.2 Esimerkki perämoottori

Esimerkki sähköperämoottorina on Minn kota Endura C2 30 Sähköperämoottori, joka on yksi yleisimmistä sähköperämoottoreista sähköisessä veneilyssä. Minn kota Endura C2 30 sähköperämoottorin saa esimerkiksi Navimare.fi verkkokaupasta, jossa se maksaa vain noin 169 €.

#### 5.2.1 Ominaisuudet

- Säädetty teleskooppinen ohjauskahva, joka pitenee n.15 cm
- Noin 180° kääntyvä ohjauspää
- Quick Release kallistusvipu
- Säädetty syvyyskaulus
- Moniasentoinen kiinnitysjalusta
- Särkymätön komposiittivarsi
- Cool Power sähkömoottori

### 5.2.2 Tekniset tiedot

- Vaihteet: 5 vaihdetta eteenpäin ja 3 vaihdetta taaksepäin
- Suurin työntövoimaa on noin 13,6 kg
- Rikin pituus on noin 76 cm
- Kahva: helposti säädettävä teleskooppivarsi
- Potkuri: Power Prop
- Käyttöjännite: 12V tasasähkö
- Max. ampeerit: noin 30 A
- Hinta: noin 169 €

Minn kota endura C2 30 soveltuu erittäin hyvin niin soutuvene kuin myös kumivenekäyttöön. (32.)



Kuva 7. Minn kota Endura C2 30. (33.)

### 5.3 Sähköperämoottoreiden vertailu

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2) on erilaisten sähköperämoottoreiden vertailu. Vertailussa on viisi erilaista sähköperämoottoreiden valmistajaa. Taulukon 2 sähköperämoottorit ovat: Torqeedo Travel 503S, Bilteman sähköperämoottori, Minn Kota Traxxix 45-36" SC, Motor Guide R3-45 HT sekä Yamahan oma Edrive M12 sähköperämoottori.

TAULUKKO 2. Sähköperämoottoreiden vertailu

Merkki	Torqeedo Travel 503S	Biltema	Minn Kota Traxxix 45-36" SC	Motor Guide R3-45 HT	Yamaha Edrive M12
Maahantuojaja	Brandt Oy	Biltema	Normark Suomi Ky	Brunswick Marine Finland	Konekesko Oy Marine
Hinta noin (€)	1550	169	349	340	199
Massa (kg)	13,3	6,5	8,3	9,1	5,8
Rikin pituus (cm)	61	68	75	76	64
KytKentäjohdon pituus (cm)	Akku mukana	130	165	170	153
Vaihteiden määrä eteen/taakse	Portaaton	5/2	5/3	5/2	5/3
Nimellinen työntövoima (kg)	18,1	15,4	20,4	20,4	13,6
Mitattu huippunopeus (km/h)	9,6	6,9	7,6	6,9	6,6
Mitattu melutaso (dB)	75	66	63	65	65
Mukana tulevat lisävarusteet	Varaustilan näyttö prosentteissa, älykäs jäljellä olevan ajomatkan näyttö, nopeusnäyttö	Akun varaustilan ilmainen	Akun varaustilan ilmainen		Akun varaustilan ilmainen

Oheisessa taulukossa on eri sähköperämoottoreiden teknisiä tietoja ja niistä on tehty vertailu.

Vihreällä pohjalla olevat arvot ovat ihanteellisia arvoja ja punaisella pohjalla olevat arvot ovat epäihanteellisia arvoja.

Kun taulukon arvoja tarkastelee, voi huomata selkeitä eroja eri sähköperämoottoreiden välillä.

Hinnoissa on todella suuria eroja. Taulukon kallein sähköperämoottori on Torqeedo Travel 503 S, joka maksaa 1550 € kun taas halvin on Bilteman sähköperämoottori, joka maksaa vain 169 €.

Kun tarkastelee sähköperämoottoreiden painoja huomaa, että painavin on Torqeedo Travel 503 S (13,3 kg) ja kevyin on Yamahan Edrive M12 (5,8 kg).

Nimellistä työntövoimaa tarkasteltaessa voimakkaimman työntövoiman antavat 20,4 kg:n voimalla Minn Kota Traxxix 45-36" SC ja Motor Guide R3-45 HT, kun taas alhaisimman työntövoiman antaa 13,6 kg:n voimalla Yamaha Edrive M12.

Suurinta huippunopeutta tarkasteltaessa suurimman nopeuden saavutti Torqeedo Travel 503 S, jonka nopeus oli 9,6 km/h eli noin 5,2 solmua ja hitaimman nopeuden

saavutti Yamaha Edrive M12, jonka nopeus oli vain 6,6 km/h eli noin 3,6 solmua. Suurin melutaso sähköperämootoreiden vertailussa 75 dB:n voimakkuudella oli Torqeedo Travel 503 S ja hiljaisin sähköperämoottori taulukon sähköperämootoreista oli Minn Kota Traxxix 45-36" SC, jonka melutaso oli 63 dB.

## 6 Sähkömoottorin toimintaperiaate

Sähkömoottorin toimintaperiaate perustuu aina siihen, että magneettisuus pystytään kytkemään päälle ja pois. Sähköinen magneettisuus saadaan aikaan sähköjohtimen avulla, joka magnetisoituu, kun johtimessa kulkee sähkövirta. Hyvin heikkoa magneettisuutta saadaan myös vahvistettua esim. kiertämällä johdinta monta kierrosta rullalle. Kun näin muodostuneen kelan sisällä oleva magnetisoituva sydän, mikä on useimmiten rautaa, niin myös sydän magnetisoituu. (34.)

Magneettia tai magnetisoituvaa materiaalia tarvitaan moottorissa paikallaan pysyvään osaan eli staattoriin, mutta sitä tarvitaan myös moottorin pyörivään osaan eli roottoriin. Jommassakummassa eli joko staattorissa tai roottorissa sähköiset magneetit pystytään yleensä korvaamaan kestopagneeteilla. (34.)

Vaihtosähkömoottorin sähkökenttä saadaan pyörimään eli toisin sanoen se saadaan siirtymään staattorin toisesta navasta seuraavaan vaihtosähkön taajuuden avulla, jolloin roottorissa olevat magneetit rupeavat seuraamaan tätä pyörivää magneettikenttää, jolloin sähkömoottori alkaa pyörimään. (34.)

Tasavirtamoottoreissa roottorissa olevien magneettien napaisuutta pystytään vaihtelemaan niin sanotun kommutaattorin avulla. Kommutaattorissa roottoriakselin pyörimisliike saa aikaan napaisuuden vaihdon. (34.)

Piensähkömoottoreiksi kutsutaan yleensä sellaisia koneita, joiden tuottama teho jää alle 500 W. Tämän tyyppisille moottoreille on yleistä rakenteiden hyvin suuri vaihtelu erilaisten käyttökohteiden mukaan. Piensähkömoottorit ovat useimmiten yksivaiheisia vaihtosähkökoneita, joita yleensä rakennetaan myös epätahti-, tahtikoneina ja kommutaattorisarjamoottoreina sekä erilaisina tasasähkömoottoreina. (34.)

## 7 Sähköveneiden uusiutuvat energialähteet

Uusiutuvien energialähteiden monipuolinen ja tehokas hyödyntäminen on yksi tärkeimmistä ja suurimmista tulevaisuuden veneilyn ja merenkulun merkittävistä haasteista. Merellä uusiutuvia energialähteitä ovat lähinnä aurinkoenergia, tuulienergia, aaltoenergia sekä myös virtausenergia. Tuuli- ja aurinkosähköenergian

lisäksi veneilyssä on ruvettu myös hyödyntämään veden kineettistä virtausenergiaa. Myös aaltoenergian käytöstä on todella paljon erilaisia konsepteja ja myös toimivia järjestelmiä on jo olemassa. (18.)

## 7.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa on hyödynnetty jo todella paljon erilaisissa veneissä akkujen latauksessa, ja varsinkin isoissa purjevereissä on jo pitkään käytetty pienehköjä aurinkopaneeleja tuottamaan sähköä pienten kuluttajien kuten esimerkiksi valojen, jääkaappien ja mittaristojen tarpeisiin. Aurinkoenergiaa hyödynnetään paljon jo myös koko veneen käyttöjärjestelmässä, jolloin aurinkopaneelit asennetaan tyypillisesti veneen katto-osaan. Purjevereissä akkujen latauksen apujärjestelmän energialähteinä käytetään paljon mm. pieniä kiinteästi asennettuja sekä irrallisia, jäykkiä ja taipuisia aurinkopaneeleja. Aurinkokennoteknologian kehittämiseen ja suunnitteluun panostetaan nykyään todella paljon, ja etenkin uudet, joustavat aurinkopaneelit sekä PV-kankaat eli Photo Voltaic -kankaat luovat täysin uusia mahdollisuuksia aurinkoenergian keräämiseen akkuihin esimerkiksi veneiden katossa, kannella, purjeissa, kuomupeitteissä jne. (18.)

Aurinkokennotekniikan kehityksen merkittävin tavoite on aina ollut kasvattaa kennojen hyötysuhdetta, joka uusimmissa ohuissa ja joustavissa aurinkokennoissa kuten esimerkiksi NLV- ohufilmipyriittikomposiiteissa on jo luokkaa 38 % ja enimmillään jopa 50 %. Quant- konseptisähköauto on esimerkiksi pinnoitettu NLV-ohufilmipaneeleilla. Tämän kaltaisia ratkaisuja voidaan ajatella myös veneiden pinnoittamiseen. (18.)

Marine-käyttöön tarkoitettut aurinkopaneelit kestävät hyvin suolavesirasitusta ja useimmat kestävät hyvin myös kennon päällä kävelemisen. Myös kaikkien kennojen kiinnitysrakenteet ovat korroosiota kestäviä. Ne ovat yleensä valmistettu ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista. Aurinkopaneeleita on myös testattu erilaisten rahtilaivojen energian lähteinä. (18.)

Perinteiset veneisiin tarkoitettut aurinkokennot jakautuvat neljään tyypilliseen luokkaan: yksikidepaneeleihin, monikidepaneeleihin, puolijoustaviin paneeleihin ja joustaviin ohufilmipaneeleihin. (18.)

Monikiteiset aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan paljon energiaa usein myös osittain varjossa. Puolijoustavat paneelit taipuvat erittäin hyvin veneen rungon mukaisesti pienissä kulmissa. Täysin joustavat kennot pystytään jopa käärimään myös esim. rullalle, ja ne soveltuvat erittäin hyvin tilapaiseen käyttöön esimerkiksi satama-alueella. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi puomeissa purjepussien suojoina. (18.)

Aurinkokennot voidaan nykyään suunnata myös esimerkiksi GPS-järjestelmän avulla. Hyvä esimerkki tällaisesta aurinkokennosta on SunMoverin 75 W:n kokoon taittuva

aurinkokenno. Se painaa vain noin 24 kg, ja sen suurin korkeus kokoon taitettuna on vain noin 17 cm. (18.)

Veneissä pystytään hyödyntämään myös erillisiä aurinkoenergiakäyttöisiä laitteita, kuten vaikka esimerkiksi sähköisiä venttiileitä (18).

## 7.2 Tuulienergia

Tuulienergiaa on hyvinkin mahdollista hyödyntää veneissä esimerkiksi akkujen latauksessa käyttämällä vaikkapa esim. pientä, erillistä tuuliturbiinia. Kun yhdistää tuuli- ja aurinkoenergiajärjestelmiä, niin saadaan varsin tehokas, vain uusiutuvia energialähteitä hyödyntävä järjestelmä, joka pystyy tuottamaan tasajännitettä tai invertterin avulla vaihtojännitettä veneen kaikille sähkölaitteille. (18.)

Maaillalla pieniä ja käteviä veneisiin sopivia melko tehokkaita tuuligeneraattoreita valmistavat esimerkiksi Kiss Energy Systems ja Marlec (17).

Tuuligeneraattoreiden lisäksi myös erilaisia ja uudenlaisia leijapurjeita ollaan jo soveltamassa esim. rahtialuksiin ja kalastusaluksiin, mutta myös suuriin ja pienempiin huviveneisiin. Skysails niminen järjestelmä toimii kaikista parhaiten 3–8 boforin myötätuulella 90q–270q välillä. Leijapurjeen annetaan täyttyä teleskooppimaston päässä ja se ohjataan yleensä automaattisesti köyden kiristystä säätämällä suunnilleen 200–300 m:n korkeuteen. Leija voi hyvinkin saavuttaa jopa 100 km/h:n nopeuden. Täydessä vastatuulella Skysails -leijapurje ei kylläkään valitettavasti toimi. Tällä hetkellä käytössä olevien leijapurjeiden pinta-alat ovat noin 80–160 m<sup>2</sup>, mutta suunnitelmissa on kasvattaa leijapurjeiden pinta-alat jopa 320–640 m<sup>2</sup>:iin. On myös tehty laskelmia, että rahtialuksissa voitaisiin päästä jopa noin 10–35 %:n säästöön vuotuisista polttoainekustannuksista käyttämällä leijapurjeita. (18.)

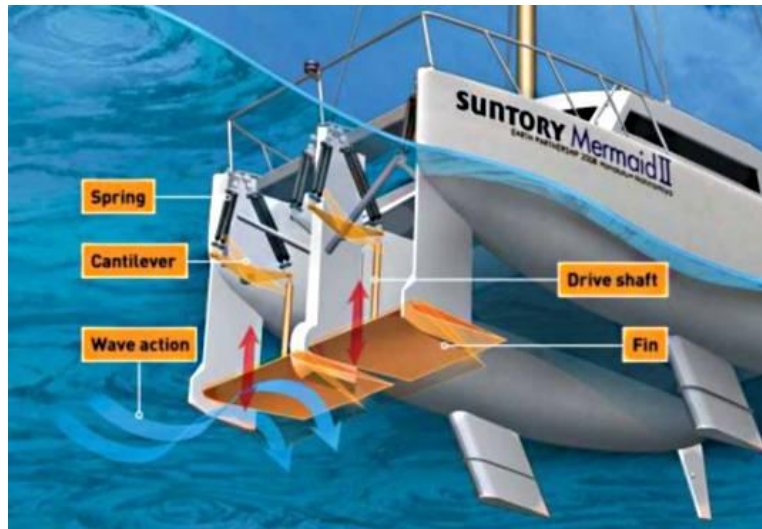
## 7.3 Aaltoenergia

Aallot voivat hidastaa yllättävänkin paljon veneen kulkunopeutta, mutta aaltoenergiaa hyödyntävillä järjestelmillä nämäkin hidasteet pystytään hyvin muuttamaan veneen hyötyenergiaksi. (18.)

Oheisessa kuvassa (ks. kuva 8) on erittäin hyvä esimerkiksi aaltoenergian avulla toimivasta noin 3 tonnia painavasta ja 9,5 metriä pitkästä katamaraanista, jonka huippunopeus on noin 5 solmua. Katolle asennetuilla aurinkopaneeleilla pystytään hyvin tuottamaan sähköä veneen apulaitteille. (18.)

Myös erilaisiin laivoihin on jo ideoitu paljon erilaisia konsepteja, joissa hyödynnetään aaltoenergiaa, kuten vaikka esimerkiksi aaltoenergian käyttöä vedyn erotteluun vedestä polttokennojen avustuksella. (18.)

Vetyä aiotaan käyttää polttoaineena vain ja ainoastaan silloin, kun tuuli-, aalto- tai aurinkoenergiaa ei ole tarpeeksi saatavilla. (18.)



Kuva 8. Aaltoenergiaa hyödyntävä järjestelmä. (35.)

## 8 Sähköveneiden sähkömoottorijärjestelmät

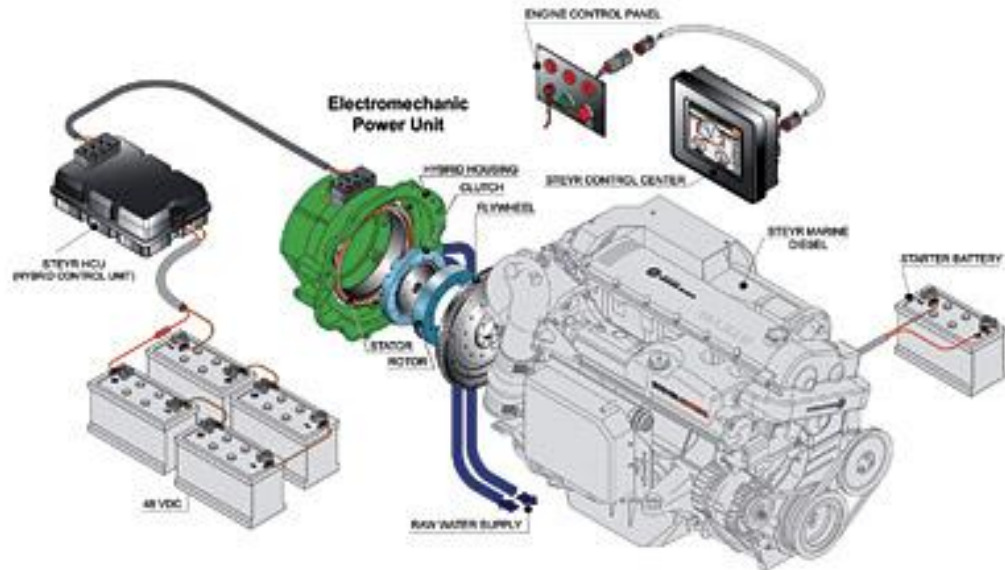
Kuten autoteollisuudessa niin myös veneteollisuudessa pyritään jatkuvasti etsimään vähemmän päästöjä tuottavia tekniikoita ja ratkaisuja, ja varsinkin erilaiset veneiden hybridiratkaisut kuten myös puhtaasti sähköllä toimivat moottorit ovat saamassa yhä enemmän ja enemmän jalansijaa veneilyssä (18).

### 8.1 Hybridimoottorijärjestelmät

Kaksi päätyyppiä diesel-(benssiini-)sähkömoottorihybrideissä ovat sarjahybridit ja rinnakkaishybridit (18).

#### 8.1.1 Sarjahybridit

Itävaltalainen moottorivalmistaja Steyer motors, joka valmistaa 7 kW:n hybridimoottoreita, joissa on integroitu vauhtipyörägeneraattori ja erittäin hyvä kestopagneettimoottori. Hybridimoottoreilla on yleensä neljä erilaista toimintatapaa: käynnistysmoodi (sähkömoottori, joka eliminoi starttimoottoritarpeen), generaattorimoodi (jolla ladataan akkuja), sähkömoodi (kun ajetaan pelkästään sähkömoottorilla) sekä boost -moodi (sähkömoottorilla tuetaan polttomoottoria). (18.)

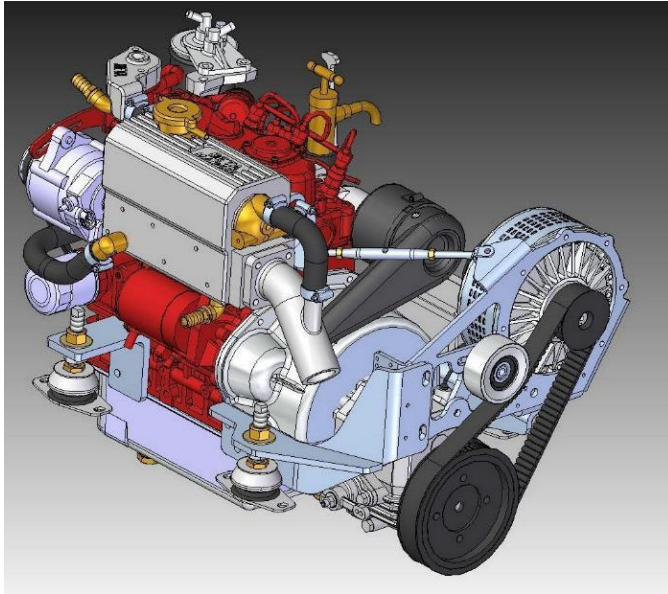


Kuva 9. Diesel-sähkö hybridi moottorijärjestelmä. (36.)

Siemens valmistaa isoihin jahtikokoluokkiin sopivia sarjahybridiratkaisuja, joissa on kaksi dieselkäyttöistä moottoria, joiden tehot ovat noin 90 kW tai 150 kW, ja sekä kaksi vaihtovirralla toimivaa nelinapaista vesi-glykoli-jäähdytteistä induktiomootoria, joiden tehot ovat noin 67 kW, 85 kW tai 20 kW, kun niiden kierrosluku on noin 3 000 rpm. E-motion nimisissä hybridijärjestelmissä on kestonagneettimoottorit, joiden tehot ovat yleensä noin 16 kW, 9 kW tai 4,5 kW. (18.)

### 8.1.2 Rinnakkaishybridit

Hybrid Marine valmistaa paljon 7,5 kW:n rinnakkaishybridejä, joita pystytään myös ajamaan jommallakummalla moottorityypillä. Kun ajetaan esimerkiksi tavallisella dieselmoottorilla, sähkömoottori voidaan laittaa pyörimään vastakkaiseen suuntaan ja näin ollen sillä voidaan ladata veneen akkuja. Rinnakkaishybridissä taas veneen sähkömoottori voidaan hyvin mitoittaa pienemmäksi kuin dieselmoottori, vaikkapa esimerkiksi vastaamaan hitaamman ajon tehontarvetta, kuten esimerkiksi noin 2/3 suurimmasta veneen huippunopeudesta. Purjeveneessä tai moottoriveneessä oleva rinnakkaishybridijärjestelmä mahdollistaa täysin myös olemassa olevan tavallisen dieselkäyttöisen moottorin varustelun hybridimoottoriksi. (18.)

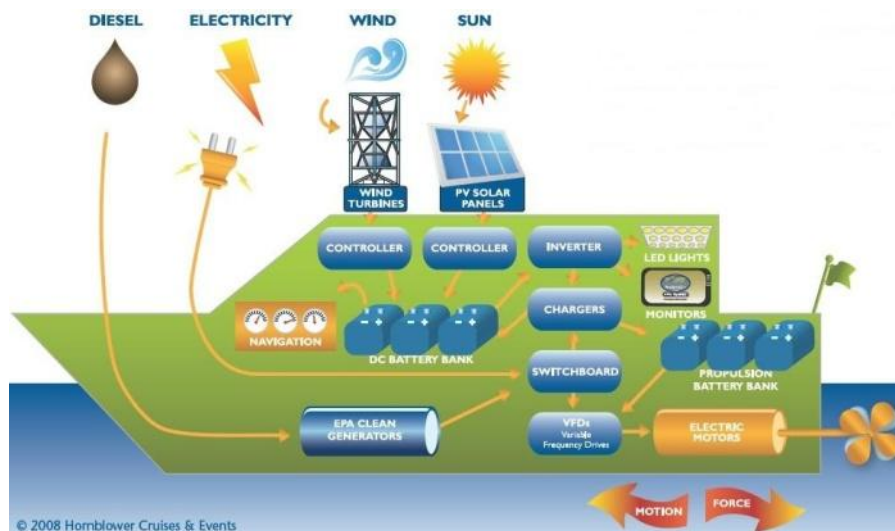


Kuva 10. Rinnakkaishybridimoottori. (37.)

Bellmann valmistaa Aquapella -nimistä rinnakkaishybridiiä joko 3,6 kW:n tai 7,2 kW:n 48 voltin tasasähköjärjestelmille. Järjestelmässä dieselkoneena pystytään käyttämään standardin mukaista dieselmoottoria, mutta siitä vain kevyempänä versiona. Bellmann valmistaa myös Aquapella -sarjahybridejä. (18.)

## 8.2 Uusiutuvat ja monihybridijärjestelmät

Hybridijärjestelmien ja näiden tehokkaiden tasavirtajärjestelmien ansiosta uusiutuvia energialähteitä, kuten vaikka esimerkiksi aurinkovoimaa ja tuulivoimaa, pystytään jo hyödyntämään entistä helpommin veneissä ja huvijahdeissa. (18.)

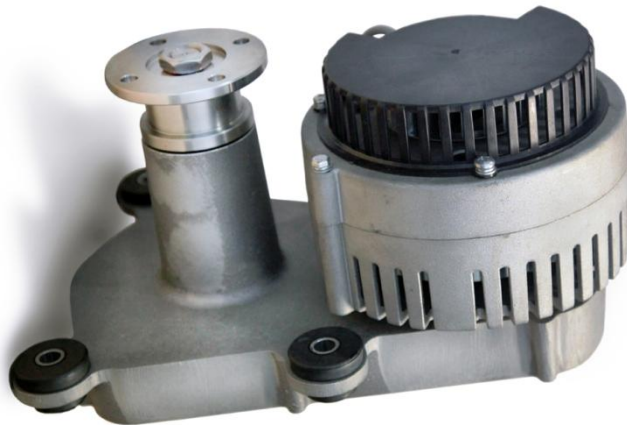


Kuva 11. Hornblower moniHybrid -järjestelmällinen katamaraani (38.)

### 8.3 Sähköpropulsiomootorit

Sähköpropulsiomoottori voi hyvin olla osallisena rinnakkaishybridissä tai se voi toimia hyvin myös erillisenä moottorina purjeveneessä tai isoissa moottoriveneessä oivallisena keulamoottorina satamaliikkeen tai muun hitaan ohjailu operoinnin voimanlähteenä. (18.)

Electric Ocean OY on suomalainen yritys, joka valmistaa hyvin laadukkaita harjallisia kestomagneettimoottoreita erilaisten veneiden sähköpropulsiojärjestelmiin. Moottorin antama jatkuva antoteho on suunnilleen 4,7 kW, kun veneessä on 48 V järjestelmä ja hetkellinen 10 minuutin antoteho on noin 14,0 kW. Moottori on ilmajäähdytteinen. Moottori sopii kaikista parhaiten noin 1–4 tonnia painaviin purjeveneisiin voimanlähteiksi. Tällöin se vastaa noin 6–9 hevosvoiman dieselmoottoria. Oceanvolt SD 8.6 on taas harjattomalla kestomagneettimoottorilla varustettu sähköpropulsiolaite, joka soveltuu hyvin enintään 40 jalkaa pitkille ja 7 tonniin asti oleville purjehdusveneille. Sähköpropulsiolaitteen nimellisteho on noin 8,6 kW, sen antama nimellismomentti on 33 Nm, kierrosluku noin 2500 rpm, käyttöjännite on 48 V ja välityssuhde on kutakuinkin 1,93:1. (18.)



Kuva 12. Electric Ocean sähköpropulsiojärjestelmän kestomagneettimoottori. (39.)

Asmo Marine valmistaa THOOSA -merkkisiä sähköpropulsiomoottoreita. Re-e-power taas valmistaa E-pod system 2000 ja 3000 -luokan sähköpropulsiojärjestelmiä. (18.)

Fisher Pandalla on jo kolme erilaista sähkömoottorityyppiä: Aziprop, DE-shaft ja DE-saildrive. Näiden kestomoottoreiden käyttöjännite on 400 VAC ja tehoalue on noin 12– 50 kW, mutta tarvittaessa se yltää myös 150 kW:iin asti. (18.)

Bellmann valmistaa moottoreita hybridijärjestelmiin ja myös Aquapella ja Silent-Prop sähköpropulsioita esimerkiksi purjeveneisiin. SilentProp Saildrive on tahtimoottori, joiden 10 kW:n ja 15 kW:n moottoreiden jännitteet ovat 155 V ja kierrosluvut ovat

noin 1400 rpm, kun taas 25 kW:n moottorin jännite on 200 V ja kierrosluku on noin 1400 rpm. Aquapod taas on vedenalainen kolmilapainen sähköpropulsio, jota myös valmistetaan kahdeksana erilaisena tehotyypinä 800 W:sta 9800 W:iin. Pienimpien moottorien kuten 800 W:n ja 1600 W:n jännite on 24 V, 2200 W:n jännite on 36 V ja näitä suurempien on 48 V. 48 V:n moottorit ovat tahtikoneita ja näitä pienemmät ovat kestopagneettikoneita. (18.)

## 8.4 Kestomagneettimoottorit

Hybridijärjestelmien käyttöönottamisen myötä myös kestopagneettimoottorit ovat jo tulossa useimpiin veneisiin. Kestomagneettimoottoreita on jo käytetty pitempään erilaisissa paperikoneissa ja sekä laivojen potkurijärjestelmissä. Hissikäytössä ollaan myös havaittu vaihteettoman kestopagneettimoottorin edut erittäin hyvänä energian ja kustannusten tuottamana säästeliäänä ratkaisuna. Kestomagneettimoottoreita käytetään yleisesti myös erilaisten hybridautojen ja muiden sähkökäyttöisten kulkuneuvojen toisenlaisten voimanlähteiden hyvinä vaihtoehtoina. (18.)



Kuva 13. Mitsubishi iMIEV kestopagneettimoottori 47 kW / 180 Nm. (40.)

Kestomagneettimoottorin edut tulevat kaikista parhaiten esille silloin, kun tarvitaan varsin hidasta pyörimisnopeutta. Tällöin kestopagneettimoottorin hyötysuhde ja tehokerroin on erittäin paljon parempi kuin saman tehoisella oikosulkumoottorilla, ja useissa tapauksissa minkäänlaista alennusvaihdetta ei tällöin välttämättä tarvita laisinkaan. (18.)

## 9 Äärimmäiset sähköveneet

### 9.1 Maailman suurin aurinkovene

Sveitsin lipun alla Välimerellä liikkuva MS Turanor PlanetSolar on maailman suurin sähkövene. Alus on 31-metrinen ja se käyttää ainoastaan aurinkoenergiaa voimanlähteenään. (41.)

Nykyään kelluvana merilaboratoriona toimiva alus on rakennettu Saksassa. Alus teki neitsytmatkansa vuonna 2010. Alus on katamaraani ja sen omistajana on Geneven yliopisto. Kaksi vuotta myöhemmin MS Turanor PlanetSolar teki jo historiaa olemalla maailman ensimmäinen aurinkovoimaa käyttävä alus, joka on pelkästään meriteitse kiertänyt koko maapallon ympäri. (41.)

Alus saa kaiken käyttövoimansa 500 neliömetrin aurinkopaneeleista, jotka tuottavat noin 93 kilowattia eli noin 125 hevosvoimaa katamaraanin molemmissa rungoissa oleville sähkömoottoreille. Katamaraanin huippunopeus ylittää jopa 14 solmuun. (41.)



Kuvat 14 & 15. MS Turanor PlanetSolar. (42.) (43.)

### 9.2 Maailman nopein sähkövene

#### 9.2.1 Yleistä

Miamin venenäyttelyssä esitelty Top Gun Cigarette Racing-projekti on tämän veneen valmistajansa mukaan maailman kaikkien aikojen nopein ja tehokkain olemassa oleva sähkömoottorivene. Tämä tasasähköllä toimivan Mercedes-AMG -henkilöauton voimanlähteitä käyttävässä sähköveneessä on tehoa noin 1 656 kilowattia eli noin 2220 hevosvoimaa. Vääntöä tässä paketissa on noin 3000 Nm. Tällaisilla tehoilla vene saavuttaa jopa aivan huikeat 160 km/h huippunopeuden. (44.)

Normaalisti tällaisessa pikaveneessä on yleensä kaksi Mercuryn sisämoottoria, jotka kehittävät noin 894 kW eli noin 1200 hevosvoiman edestä tehoa. Samaisen veneen sähköversiossa on taas 12 kappaletta AMG:n sähkömoottoria kahdessa siistissä kuuden moottorin paketissa. (44.)

Veneen tehokkaat sähkömoottorit saavat sähköenergiansa suunnilleen 240 kWh:n Litium-ioniakuista. Top Gun Cigarette veneen akkujen yhteispaino on noin 2200 kiloa, akkujen käyttöjännite on huiimat 400 voltia ja niissä on yhteensä 3456 kennoa. Akkujen syöttövirta on suurimmillaan jopa huiimat 6000 ampeeria. (44.)

Veneen akut ladataan kahdella 44 kW:n laturilla ja näiden akkujen täyteen lataaminen kestää jopa noin 7 tuntia. Täydellä teholla veneen sähkömoottorit saattavat kuluttaa suunnilleen 2,4 megawattia, joten näin ollen Top Gun Cigarette veneen Litium-ioni akut kestävät täydellä teholla ajamista vain sellaiset vaivaiset 10 minuuttia. (44.)



Kuvat 16 & 17. AMG Cigarette Top Gun electric drive. (45.) (46.)



Kuva 18. AMG Cigarette Top Gun electric drive konehuone. (47.)

### 9.2.2 Maailman nopeimman sähköveneen moottoreiden vertailu

Top Gun Cigarette - veneen sähköversiossa on 12 kappaletta AMG:n sähkömoottoria kahdessa kuuden moottorin paketissa, mutta normaalisti veneessä on kaksi Mercuryn racing 662 SCI - moottoria. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) on Top Gun Cigarette - veneen polttomoottorin ja sähkömoottorin vertailu siitä, että onko sähkömoottori yhtä hyvä kuin Mercuryn polttomoottori.

TAULUKKO 3. Top Gun Cigarette- sähköveneen moottoreiden vertailu

Nimi	Top Gun Cigarette AMG Electric Drive	
	Polttomoottori	Sähkömoottori
Moottorityyppi		
Moottori	Mercury racing 662 SCI	SLS AMG Electric Drive
Voimansiirto	Mercury racing Dry Sump	-
Moottoreiden määrä	2 kpl	12 kpl
Kok. moottoriteho	<b>894 kW</b>	<b>1656 kW</b>
Kok. moottoriteho hevosvoimina	<b>1200 hv</b>	<b>2220 hv</b>
Moottorista saatava vääntö	1622 Nm	3000 Nm
Moottoreiden paino yhteensä	<b>1404 kg</b>	<b>2472 kg</b>
Huippunopeus maileina	103,2 mph	99,4 mph
Huippunopeus (km/h)	<b>166 km/h</b>	<b>160 km/h</b>
Huippunopeus solmuina	101 kn	86,4 kn
Kierrosluku täydellä teholla	5200 rpm	13000 rpm
"Polttoaine"	Bensiini	Tasasähkö
"Polttoaineen" laatu	89 Posted Octane (R+M)/2, (95 RON) International	400 V
"polttoaine" tankkien määrä	1 kpl	4 akkua rinnan
"Polttoaine" tankin paino yhteensä	1200 kg	2200 kg
"Polttoaineen" määrä	1100 L	240 kWh
"polttoaine tankillisen" hinta euroina	547,8 €	12,7 €
"Polttoaine" tankin tuottama energia	<b>38 280 Mj</b>	<b>864 Mj</b>
Moottoreiden "polttoaineen" kulutus täydellä teholla	400 L/h	2,4 MW
Ajoaika täydellä kaasulla	<b>2 h 45 min</b>	<b>0 h 10 min</b>
Moottoreiden hinta yhteensä euroina	127 887 €	139 500 €
<b>Huomioitavaa:</b>		
1 Fuel liter = 34,8 megajoule (casoline)		1 L 95 RON fuel = 0,498 €
1 kWh = 3,6 megajoule (Mj)		1 kWh = 0,0529 €

Taulukosta 3 nähdään, että Top Gun Cigarette - veneen sähköversio käyttää 12 kappaletta Mercedesen SLS AMG Electric Drive sähkömoottoria, jotka tuottavat yhteensä 1656 kilowatin eli noin 2220 hevosvoiman moottoritehon. Normaalisti Top Gun Cigarette - veneessä on kaksi Mercuryn racing 662 SCI - moottoria, jotka tuottavat yhteensä 894 kilowatin eli noin 1200 hevosvoiman moottoritehon. Tästä nähdään, että sähkömoottori tuottaa lähes tuplasti enemmän tehoa kuin polttomoottori.

Top Gun Cigaretten sähköversion huippunopeus on 160 km/h ja polttomoottoriversion huippunopeus on 166 km/h. Vaikka sähkömoottorin teho on lähes tuplasti enemmän, niin nopeus ero ei ole kuitenkaan suuri. Tämä johtuu siitä että polttomoottoreiden ja sähkömoottoreiden painot ovat eri suuruusluokkaa. Polttomoottoreiden yhteispaino on noin 1404 kg, kun taas sähkömoottoreiden yhteispaino on 2472 kg, joten Sähköversion moottorit painavat lähes tuplasti enemmän. Tästä voidaan päätellä, että vaikka sähkömoottoreiden teho lähes tuplasti enemmän kuin polttomoottoreilla, niin on myöskin paino lähes tuplasti enemmän.

Taulukosta 3 nähdään myös se, että moottoreiden käyttämä "polttoaine" on aivan eriluokkaa. Top Gun Cigarette- veneen polttomoottori käyttää eurooppalaista 95 RON (Resuorce octane number) - bensiiniä polttoaineena, kun taas sähkömoottori käyttää akuista tulevaa 400 V:n tasasähköä. Polttomoottoriversion veneessä on 11000 litran polttoainesäiliö ja sähköversiossa tankkina on 4 kappaletta akkuja ja niissä on 240 kWh sähkötehoa. Jotta näitä polttoaineita voisi vertailla, ne täytyy muuntaa energiaksi, jonka yksikkönä on megajoule (Mj). Kuten taulukosta 3 voi nähdä, 1 polttoainelitra bensiiniä on 34,8 Mj ja 1 kWh on 3,6 Mj. Polttoainetankillinen 95 RON - bensiiniä tuottaa noin 38 280 Mj energiaa ja 240 kWh:n akut tuottaa noin 864 Mj energiaa, joten bensiini tuottaa yli 44 kertaa enemmän energiaa kuin akkujen sähkö.

Kun tarkastellaan Top Gun Cigarette - veneen polttomoottoreiden ja sähkömoottoreiden "polttoaineen" kulutusta ja ajoaikaa täydellä vauhdilla, ero on järkyttävän suuri. Kuten taulukosta 3 voi huomata Mercuryn racing 662 SCI polttomoottorit kuluttavat yhteensä noin 400 L/h ja SLS AMG Electric Drive sähkömoottorit kuluttavat yhteensä noin 24 MW. Tämä tarkoittaa sitä, että SLS AMG Electric Drive sähkömoottorilla Top Gun Cigarette - veneellä ajaa täydellä teholla vain 10 minuuttia, kun taas Mercuryn racing 662 SCI polttomoottorilla Top Gun Cigarette - veneellä pääsee yhdellä tankillisella ajamaan täydellä vauhdilla 2 tuntia ja 45 minuuttia.

## 10. Sähkövene tapahtumat maailmalla

Euroopassa ja etenkin Yhdysvalloissa yliopistoissa opiskelijat saavat suunnitella ja rakentaa erilaisia haasteellisia tulevaisuuden kulkupelejä. Suomessa haluttiin myös liittyä mukaan muun maailman menoon.

Vuonna 2011 Kymenlaakson ammattikorkeakoulun (Kyamk) veneteknologian opiskelijat yhteistyössä Mikkelin ammattikorkeakoulun (Mamk) kanssa päättivät rakentaa oman aurinkoveneen. Sen nimeksi tuli Midnight sun Finland. Vene on 8 metriä pitkä komposiittirakenteinen kolmirunkoinen vene eli trimaraani. Veneen runkopaino ilman miehistöä ja aurinkopaneeleita oli vain 150 kg. Aurinkopaneeleita veneeseen tuli viisi kappaletta ja ne painoivat yhteensä 75 kiloa. Moottoriksi valikoitui 2 kW Perm PGM 132 sähkömoottori. Muotoilun opiskelijat suunnittelivat penkin ja ohjaamon ergonomian. potkuri oli Terho Halmeen suunnittelema. (48, 145.)

Kyamkin ja Mamkin opiskelijat päättivät osallistua vuonna 2012 Hollannissa järjestettyihin aurinkoveneiden maailmanmestaruuskilpailuihin. Tapahtuman virallinen nimi on Dong Solar Challenge; World Cup for Solar Powered boats. Kilpailu käytiin Alankomaiden lukuisilla kanavilla. Kisoissa sai käyttää vain aurinkopaneeleilla kerättyä aurinkoenergiaa. Kilpailut kestivät kolme päivää ja reitin pituus oli 220 km pitkä. Kisoissa oli kolme eri luokkaa: A-luokka, B-luokka ja Top Clas-luokka. A ja B-luokissa oli standardoidut aurinkopaneelit, joiden maksimi teho sai olla 1750 W. A-luokassa oli vain yksi kuljettaja kun taas B-luokassa oli yksi kuljettaja ja yksi kartanlukija. Top Clas-luokassa aurinkopaneeleilla ei ollut rajoja ja kuljettajia oli vain yksi. Midnight Sun Finland osallistui B-luokan kisoihin ja kisojen lopussa vene oli oman luokan kolmas. (48, 145.)



Kuva 19. Midnight sun Finland - aurinkovene ja kisajoukkue. (49.)

Vuonna 2014 Midnight Sun Finland tiimi oli saanut kutsun osallistua aurinkovenekilpailuihin Hollannissa, Monacossa, Moskovassa ja Pietarissa. Midnight Sun Finland tiimi päätti osallistua uudelleen kilpailuihin Hollannissa. Välittömästi tämän jälkeen he lähtivät Monacoon, jossa järjestettiin ensimmäisen kerran Solar 1 Monte Carlo Cup aurinkovenekilpailu. Kyamkin aurinkovene tiimi Midnight Sun Kyamk osallistui Top Clas-luokan kilpailuihin ja Mamkin tiimi Midnight Sun Mamk osallistui B-luokan kilpailuihin vuoden 2012 veneellä. (48, 149.)

Vuoden 2014 kesän kilpailuihin Kyamkin tiimi päätti rakentaa ihan uuden aurinkoveneen, jota alettiin rakentaa jo vuoden 2013 keväällä. Veneestä tuli 7 m pitkä hiilikuituinen trimaraani, jonka tarkoitus oli nousta kantosiipien päälle. Rungon seinämän kummallakin puolella on 200 g/m<sup>2</sup> hiilikuitukangas ja sisällä 3 mm vaahto. Pelkkä runko painaa vain 26 kg, mutta pyrkimys oli päästä alle 100 kg kokonaispainossa. Aurinkopaneelit ovat erittäin ohuet, muovilla päällystetyt ja alapuolelta hiilikuidulla vahvistettu. Aurinkopaneelit tuottavat yhteensä 1750 W. Veneen moottorin kokonaisteho on 10 kW, mutta siitä otettiin vain 4 kW:n teho. Jotta vene nousisi kantosiipien varaan, tarvitaan 12 solmun nopeus. Veneen maksimi nopeus on noin 24 solmua. (48, 149.)

Kyamkin Midnight Sun Kyamk aurinkovene oli molemmissa Hollannissa että Monacossa kolmansia omassa luokassaan.



Kuva 20. Midnight Sun Kyamk aurinkovene. (50.)

## 11 Sähköveneilyn taloudellisuus

### 11.1 Ympäristöystävällisyys

Veneala on kehittynyt viime vuosina paljon, vaikka vuonna 2008 alkanut globaali laskusuhdanne onkin vaikuttanut selkeästi kuluttajiin ja sitä kautta venealan toimijoihin. Tästä talouden notkahduksesta huolimatta vaikuttaa siltä, että maailmalla veneiden uusien energiajärjestelmien ”Green Boat” -konsepteja toteutetaan edelleen aktiivisesti. Myös venetarvikepuolella ovat vihreät arvot nousseet esille ja ekologisen ajattelutavan huomioivia venevarusteita myyviä yrityksiä on syntynyt. (51.)

Veneilyn ympäristöystävällisyyden tärkeys ei kehity lineaarisesti eri ikäryhmien välillä. Uusi alle 30-vuotiaiden sukupolvi suhtautui kaikista positiivisimmin veneiden ympäristöystävällisiin energiaratkaisuihin, kun taas jostain syystä 30–45 vuoden ikäryhmien edustajien suhtautuminen ekologisiin energiaratkaisuihin oli vähiten innostunutta 46–59-vuotiaiden sekä yli 60-vuotiaiden ikäryhmien sijoituessa näiden ääripäiden väliin. (51.)

Matkanopeudeltaan hitaampikulkuisten veneiden omistajat pitivät nopeiden veneiden omistajia tärkeämpinä vihreiden arvojen näkymistä venealan yrityksen toiminnassa (51).

Veneilijän koulutustausta ei taustamuuttujana suoraviivaisesti vaikuta siihen, kuinka tärkeänä hän näkee venealan toimijan ympäristönäkökohtien huomioinnin. Tärkeimpinä venealan toimijan ympäristöystävällisyyttä pitivät kansa-/peruskoulun suorittaneet kansalaiset, kun taas opistotutkinnon tai lukion suorittaneet pitivät venealan toimijan ympäristöystävällisyyttä vähiten tärkeänä. Korkeakoulututkinnon suorittaneet pitivät ympäristönäkökohtia venealan toimijan tuotteissa ja toiminnassa tärkeinä. (51.)

### 11.2 Saasteet

Sähköperämoottori on lähes meluton ja saasteeton voimanpesä merillä ja järvillä liikkumiseen. Sähköperämoottori tarjoaa korkeaa luotettavuutta ja se soveltuu matalamman rikin pituutensa ansiosta erityisesti suotuveenäkäyttöön.

Sähköperämoottori myös käynnistyy erittäin helposti, sillä erillistä käyntiin vetoa ei juurikaan tarvita lainkaan. Tästä johtuen, sähköperämoottorit ovat äärimmäisen luotettavia ja myös hyvin helppokäyttöisiä. Sähköperämoottorit ovat myös aivan täydellinen valinta etenkin sellaisiin vesistöihin, joissa polttokäyttöisten moottoreiden käyttö on täysin kielletty. Sähköperämoottorin komposiittiosien rakenne on todella joustava, mikä yhdessä hyvin tasapainoisen potkurin kanssa muodostavat yhden parhaimmista ja hiljaisimmista sähköperämoottoreista. (32.)

### 11.3 Kustannukset

Sähkömoottorit ja sähköperämoottorit näyttävät kehittyvän akkujen ja elektroniikan yhteispelissä jopa varsin hyväksi vaihtoehdoiksi. Esimerkiksi Torqeedo Travel 801 S matkamallin saa kaikkineen noin 1 500 eurolla, johon sisältyy myös LIMA -akku ja sille laturi, ja kun vielä hankkii noin 500 euron lisäakun, niin Torqeedolla Travel 801 S:llä voi veneillä pienessä mittakaavassa erittäin mainiosti. Jos taas veneilee paljon, niin lähes ainoa mitä tarvitaan on ahkerampaa lataamista. Huoltotöitä tällaisissa sähkömoottoreissa ja sähköperämoottoreissa ei juuri ole laisinkaan, eikä ole liioin käytöstä aiheutuvia päästöjä. (52.)

Minn Kota Endura C2 30 sähköperämoottorilla ajaminen on varsin edullista ajaa verrattuna bensiinikäyttöisiin perämoottoreihin. Esimerkiksi 60Ah:n akulla, jossa on noin 0,72 kWh, niin sähköperämoottorilla voi ajaa pienimmällä nopeudella hyvissä olosuhteissa jopa noin 10-11h. Jos esimerkiksi sähkön hinta on suunnilleen 14snt/kWh + siirto 5snt/kWh, niin akun lataaminen (suunnilleen 10% häviöllä) tulee maksamaan noin 15snt, joten kulut ovat vain reilut 1,5snt/h. Tämä taas tarkoittaa sitä, että koko kesän käyttökustannukset ovat vain alle yhden euron. Kun taas verrataan esimerkiksi 2 hevosvoimaiseen bensiinillä toimivaan polttomoottoriin, jonka kulutus on suunnilleen 0,5L/h tyhjäkäynnillä ja bensiinin litrahinta on nykyään noin 1,6-1.8€/L. Tämän lisäksi sähköperämoottorin käyttäjä välttyy hankalan ja likaisen moottoriöljyn ja vaihteistoöljyn vaihdoilta sekä myös laajemmilta huoltotoimenpiteiltä, kuten vaikka esimerkiksi jakopäänhihnanvaihdolta, tämän takia Minn Kotan sähköperämoottorin vuosittaiset käyttökustannukset tulee huomattavasti pienemmäksi kuin esimerkiksi tavallisen bensiinikäyttöisen perämoottorin. (32.)

Minn Kota Endura C2 30 sähköperämoottorin hinta on noin 169 € Navimare - verkkokaupassa, joten se on hyvinkin edullinen.

## 12 Sähköveneilyn mahdollisuudet

Sähköperämoottori soveltuu erinomaisesti Suomalaiseen mökkiveneilyyn esimerkiksi järviolueilla ja suojaisilla merialueilla. Sähköperämoottori tarjoaa erittäin hyvin ekologisen ja äärettömän hiljaisen tavan nauttia kotimaisesta luonnonkauniista luonnosta. Sähköperämoottorin suuria etuja ovat etenkin hyvin alhaiset huoltokustannukset, erittäin pitkät käyttöiät, hyvin korkea luotettavuus sekä polttomoottoria hyvin paljon helpompi käytettävyys. Sähköperämoottorit ja sähkömoottorit soveltuvat äärimmäisen hyvin myös satunnaiskäyttöön polttomoottoreita paremmin, koska sähköperämoottorit kestävät myös paljon enemmän kolhuja kuin polttokäyttöiset moottorit. (32.)

Sähköperämoottorin tuottama työntövoima on yleensä hyvin paljon selvästi bensiinikäyttöistä perämoottoria pienempi ja tämä saattaa ehkä olla riittämätön esimerkiksi voimakkaasti virtaavissa koskiolosuhteissa tai hyvin voimakastuulisilla merialueilla sekä järviolueilla. (32.)

Sähköperämoottori on äärettömän ihanteellinen esimerkiksi uistelukäyttöön, retkikanootin pieneksi apumoottoriksi tai vaikka mökkirannan suotuveneen perään lyhyille verkko- ja katiskan tarkistus matkoille. Sähköperämoottoria ei kuitenkaan tarvitse erikseen nykäistä käyntiin, niin kuin käsikäyttöisen polttoainekäyttöisen perämoottorin, vaan sen käyttö onnistuu esimerkiksi lapsilta tai jopa iäkkäämmiltä henkilöiltä ilman hirveän suurta voiman käyttöä. (32.)

TAULUKKO 4. Polttomoottorin ja sähköperämoottorin vertailu

Vertailu	Tehottomin perämoottori	Sähköperämoottori	Tehokkain sähköperämoottori
Nimi	SUZUKI DF2.5 perämoottori	Minn kota Endura C2 30	Torqeedo Cruise 4.0 RS
Maahantuoja	Oy Ekström Power Ab	Normark Suomi Ky	Oy Brandt Ab
Moottori	4-tahtinen OHV, yksisylinterinen	-	-
Moottorin antoteho	1800 W	360 W	2240 W
Verrattuna polttomoottoriin hevosvoimina	2,5 hv	1,3 hv	8 hv
Kierrosluku täydellä kaasulla	5250 rpm	-	1300 rpm
Nopeus täydellä kaasulla (solmua)	4 kn	2,7 kn	6,5 kn
Rikin pituus	381 mm	760 mm	625 mm
Käynnistys	Manuaali	Sähköinen	Sähköinen
"Polttoaine"	Lyijytön bensiini	Tasasähkö 12 V	Tasasähkö 48 V
"Polttoaineen" syöttöjärjestelmä	Kaasutin	Akku	Akku
"Polttoaine" tankin tilavuus	1 L	720 Wh	800 Wh
"polttoaineen" tuottama energia	34 800 kJ	2 592 kJ	2 880 kJ
Paino	13,5 kg	7,3 kg	12 kg
Hinta	790 €	169 €	3 530 €

Taulukossa 4 on tehty vertailu polttokäyttöisen perämoottorin ja kahden sähköperämoottorin välisistä eroista. Polttokäyttöisestä perämoottorista on haettu tehottomin malli ja sähköperämoottoreista on haettu tyyppillinen uistelukäyttöön soveltuva sähköperämoottori sekä tehokkain sähköperämoottori.

Taulukossa 4 tehottomin polttokäyttöinen perämoottori, mikä löytyi, oli Suzukin DF2.5 perämoottori. Sen moottorin antoteho on 1800 W, joka on noin 6,5 hevosvoimaa. Tyyppillinen uistelukäyttöön soveltuva sähkömoottori on esimerkiksi taulukossa 4 oleva Minn Kota Endura C2 30 sähkömoottori ja sen moottorin antoteho on 360 W, joka vastaa polttomoottoriin verrattuna noin 1,3 hevosvoimaa. Taulukossa 4 tehokkain sähköperämoottori on Torqeedo Cruise 4.0 RS. Sen moottorin antoteho on 2240 W, joka polttomoottoriin verrattuna vastaa noin 8 hevosvoimaa.

Kun tarkastellaan näiden moottoreiden huippunopeuksia, niin niistä löytyy jonkin verran eroavaisuuksia. Suzuki DF 2.5 perämoottorin huippunopeudeksi on mitattu 4 solmua. Minn Kota Endura C2 30 sähköperämoottorin huippunopeus on noin 2,7 solmua ja tehokkaimman sähköperämoottorin Torqeedo Cruise 4.0 RS:n huippunopeus on noin 6,5 solmua. Tästä voidaan huomata, että näiden moottoreiden nopeudet eivät hirveästi eroa toisistaan. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon se, että polttokäyttöisestä perämoottorista on otettu tähän tarkasteluun tehottomin perämoottori, joten sähköperämoottoreiden tehot ja nopeudet ovat melko pienet. Esimerkiksi Honda BF 150 perämoottorin teho on 150 hv (111,8 kW) ja huippunopeus on noin 40 solmua, joten sähköperämoottorit ovat melko tehottomia näihin verrattuna.

Kun tarkastellaan näiden moottoreiden "polttoaineen" kulutusta, niin voi huomata miten tehokkaita fossiiliset polttoaineet ovat. Suzukin perämoottori käyttää lyijytöntä bensiiniä ja siinä on yhden litran kiinteä polttoainetankki. Minn Kota Endura C2 30 sähköperämoottoriin on kytketty 720 Wh:n akku ja Torqeedo Cruiser 4.0 RS:ään 800 Wh:n akku. 1L bensiiniä tuottaa noin 34800 kilojoulea energiaa, 720 Wh tuottaa noin 2600 kilojoulea energiaa ja 800 Wh tuottaa noin 2900 kilojoulea energiaa. Tästä huomataan, että bensiini tuottaa noin 11 - 12 kertaa enemmän energiaa kuin 12 voltin tasasähkö. Siksi polttomoottoriveneilyllä on suuri etu sähköveneilyyn verrattuna, koska polttoaineesta saatavan energia on huomattavan suuri sähköön verrattuna.

Kun tarkastellaan vielä painoja ja hintoja näistä perämoottoreista huomataan, että niissäkin on eroja. Suzuki DF 2.5 perämoottori painaa 13,5 kg ja maksaa noin 1550 euroa, Voimakkain sähköperämoottori Torqeedo Cruiser 4.0 RS painaa 12 kg ja maksaa 3530 euroa. Uistelukäyttöön soveltuva Minn Kota Endura C2 30 painaa vain 7,5 kg ja maksaa vain 169 euroa. Torqeedo Cruiser 4.0 RS painaa vähän vähemmän ja on vähän voimakkaampi kuin Suzuki DF 2.5, mutta maksaa 4,5 kertaa enemmän kuin Suzuki. Minn kota Endura C2 30 painaa melkein puolet vähemmän ja maksaa 4,5 kertaa vähemmän kuin Suzuki DF 2.5.

Yhteenvetona näistä tarkasteluista saadaan, että sähköperämoottorit ovat kevyitä ja halpoja, mutta niiden teho ja nopeus ei ole lähimainkaan yhtä suuri kuin

polttokäyttöisten perämoottoreiden teho ja nopeus. Voimakkaimmat sähköperämoottorit ovat samaa suuruusluokkaa kuin pienimät polttokäyttöiset perämoottorit. Sähköperämoottoreiden akut eivät tuota tällä hetkellä yhtä suurta energiamäärää mitä fossiiliset polttoaineet tuottavat, mutta akkuteknologia kehittyä kokoajan ja uudenlaisia akkuratkaisuja kehitellään kokoajan.

## 13 Sähköveneilyn tulevaisuus

Sähköveneilyn tulevaisuuden kannalta akkuteknologian kehitys on ottamassa suuria edistysaskelia. Yleisesti sähköautoistaan tunnetuksi tullut Tesla on jo tehnyt tämän vuoden huhtikuussa vuoden kohutuimman tuotelanseerauksen. Teslan toimitusjohtaja Elon Musk on ilmoittanut, että yhtiö aikoo tuoda markkinoille lähi aikoina varsinkin kotitalouskäyttöön tarkoitettua akua, joka kykenee varastoimaan energiaa jopa niin paljon, että kotitalous pystyisi toimimaan sähköllä esimerkiksi aurinko- ja tuulivoiman varassa kuitenkin olematta laisinkaan kytkeytynyt valtakunnan sähköverkkoon. (53.)

Teslan Powerwall akkuja tulee myyntiin kahta erilaista mallia. Toinen on 10 kWh:n viikkokäyttöä varten ja toinen taas on 7 kWh:n päivittäistä käyttöä varten. Hintarivioksi laitteille on tullut noin 2700-3100 euron väliltä. (53.)

Tällaista Teslan Powerwall akkua voisi periaatteessa käyttää veneissä perinteisten akkujen sijasta. Veneissä käytettävät akut ovat yleensä painavia ja niitä tarvitsee yleensä monta kappaletta, joka lisää painoa tuntuvasti. Jos Teslan uusi akku on niin hyvä kuin väitetään, silloin sähköveneet voivat toimia hyvinkin pelkällä aurinko- tai tuulivoiman avulla. Teslan uudessa akkumallissa on kysymyksenä, minkä kokoinen ja painoinen uusi akku on. Teslan akusta ei ole vielä tässä vaiheessa kunnollisia teknisiä tietoja, koska se julkistettiin vasta torstaina 30.4.2015.

Yksi ongelmakohta sähköveneilyn tulevaisuuden kannalta on veneen akkujen lataaminen purjehdittaessa. Ei ole ärsyttävämpää kuin se, että veneen akkujen varaus loppuu kesken purjehduksen ja kaikki sähkölaitteet pimenevät ja huomataan, että akku onkin tyhjä. Siksi olisi hyvä jos akkuja voisi ladata samalla kun purjehtii.

Suomalainen Oceanvolt OY on kehittänyt ratkaisun tähän ongelmaan. Oceanvoltin esittämässä ratkaisussa sähkömoottoria käytetään veneen sähkön voimanlähteenä, ja sillä voidaan sen regenerointitoimintonsa vuoksi myös ladata veneen akkuja. Oceanvoltin SD 8.6 sähkömoottori ruokkii kaikki veneessä olevat sähkölaitteet. Mikroprosessori-ohjattu sähköntuotto ominaisuus mahdollistaa myös taittolapaisen potkurin käytön sähkön tuottamiseen veneeseen. Oceanvoltin SD 8.6 - sähkömoottorilla pystytään tarvittaessa etenemään vaikka veneen painosta, koosta, käytettävästä nopeudesta ja sekä akkukapasiteetista riippuen kymmenien ja jopa satojen merimailien pituisia merimatkoja. Lataamismahdollisuus purjehdittaessa voisi

myös poistaa täysin turhan huolen veneen akkujen sähkövirran loppumisesta. Tämä on myös erittäin hyödyllinen toiminto varsinkin pitkillä purjehdusmatkoilla, jolloin veneen sähkölaitteet ja navigointilaitteet on pidettävä hyvinkin pitkiä aikoja päällä veneen ajoakuilla. Oceanvoltin järjestelmä ei kuitenkaan vain kuluta akkujen voltteja vesillä, vaan se myös tuottaa niitä vedestä. Samalla tämä järjestelmä tekee veneilystä entistä vaivattomampaa, paljon äänettömämpää ja varsinkin entistäkin ympäristöystävällisempää.

Aurinkokennojen käyttö veneissä yleistyy koko ajan. Aurinkokennot ovat hyvä akkujen sähköntuotannon lähde. Aurinkoenergia on ilmaista ja uusiutuvaa. aurinkokennojen käyttöä on kuitenkin hidastanut kennojen korkeahko hinta. Aurinkokennojen valmistuskustannukset kuitenkin alenevat 2–4 prosenttia vuosittain teknisen kehitystyön ja suurtuotannon etujen ansiosta. Tämä on hyvä asia sähköveneilyn tulevaisuuden kannalta.

Sähköperämootoreiden kehitys kasvaa koko ajan. Entistä tehokkaampia ja akkua vähäkuluttavia sähköperämootoreita suunnitellaan ja kehitetään koko ajan.

## 14 Johtopäätökset

Sähköveneitä on ollut jo melkein parin sadan vuoden ajan. Varhaisimman sähköveneeseen kehitti saksalainen keksijä Moritz Von Jacobi vuonna 1839. ensimmäinen polttomootori taas kehitettiin vuonna 1888 ja sen kehitti saksalainen Gottlieb Damler yhdessä Wilhelm Maybachin kanssa.

Sähkövenetyyppejä on maailmalla paljon erilaisia. Ne ovat historiallisia veneitä, joki-, kanaali- ja järviveneitä, huvijahteja, aurinkokäyttöisiä ja erityisluokkana langalliset sähköveneet, jotka saavat sähkönsä ilmassa roikkuvista sähköjohdoista.

Akut ovat sähköveneilyn sydän. Yleisesti sähköveneiden käytössä on lyijyakku, jonka akkuhappo on ympäristölle haitallista. Akkutyyppinä on paljon erilaisia ja niillä on erilaiset ominaisuudet. Sähköveneissä yleistyy huoltovapaat AGM-akut ja Lithium-ioni akut, jotka eivät ole niin ympäristölle haitallisia kuin lyijyakut.

Sähköperämootoreiden käyttö yleistyy koko ajan. Sähköperämootorit ovat hiljaisia ja ympäristöystävällisempiä kuin polttomootorit, mutta niiden nopeus ei yllä vielä polttokäyttöisten perämootoreiden nopeuksiin. Sähköperämootoreita käytetään tällä hetkellä uistelumootoreina tai rauhalliseen ja hiljaiseen retkeilyyn. Sähkömootorit taas ovat kehittyneet hurjasti lähiaikojen saatossa. Sähköveneiden sähkömootorit pystyvät tuottamaan yhtä paljon tehoa kuin polttomootorit ja niiden yltävät yhtä suuriin nopeuksiin kuin polttomootorilla toimivat veneet. Hyvä esimerkki on Top Gun Cigarette sähkövene, jonka huippunopeus on 160 km/h. Tämän tyyppisten sähkömootoreiden huono puoli on se, että ne kuluttavat paljon akun varausta. Tämän

takia vene ei voi kulkea kuin vain 10 minuuttia täydellä teholla. Akkuteknologian kehitys voi auttaa tämän ongelman kanssa. Aika kuitenkin näyttää, mitä tuleman pitää.

Sähköveneilyn ekologisuuteen ja taloudellisuuteen panostetaan koko ajan enemmän ja enemmän. Sähköveneily sinänsä on jo nyt melutonta ja saasteetonta ja kun saadaan vielä sähköntuoton saasteet ja päästöt alhaiseksi, niin sähköveneilystä voi tulla veneilyn uusi suunnannäyttävä.

Sähköveneilyn kehitys kehittyy kokoajan ja esimerkiksi Teslan Powerwall akuista saattaa tulla vielä suuri hittituote sähköveneilyssä tulevaisuudessa.

Sähköveneilyn nousu veneilyn uudeksi suunnannäyttäjäksi on hyvinkin mahdollista tulevaisuudessa, mutta ei vielä ihan lähiaikoina.

## Lähdeluettelo

1. Illustrated with wood engravings in the Electrical Review. Vol.XI. No.255. 14 October 1882. pp.296 and 297. Viitattu 22.3.2015.
2. Maaailman ensimmäinen venemoottori löytyi liiteristä. 2012. Yle Uutiset, Yle.fi. Viitattu 22.3.2015. Saatavissa: [http://yle.fi/uutiset/maailman\\_ensimmainen\\_venemoottori\\_loytyi\\_liiterista/5509629](http://yle.fi/uutiset/maailman_ensimmainen_venemoottori_loytyi_liiterista/5509629).
3. Batteries. Mary Gordon Trust. Viitattu 23.3.2015. [http://www.marygordon.org.uk/?page\\_id=68](http://www.marygordon.org.uk/?page_id=68).
4. The Oarsman's and Angler's Map of the River Thames from its source to London Bridge. 1991. Old House Books, Devon ed. James Reynolds & Son. London. 1893. Viitattu 20.3.2015.
5. Mary Gordon Electric River Boat. Viitattu 27.3.2015.
6. History of our Classic Motor Yachts. Elco. Viitattu 27.3.2015.
7. Bayerische Seenschiffahrt GmbH. Bavarian Lakes Maritime Ltd. in German. Bavarian State Ministry of the Interior. Viitattu 28.3.2015.
8. Geschichtliche Hintergründe. Historical Background. in German. Bayerische Seenschiffahrt. Viitattu 28.3.2015.
9. General Dynamics Corporation. Encyclopædia Britannica . 15th ed. 1993. Viitattu 28.3.2015.
10. Mandiau, D. 2014. Evolution of The Boat Engines Technology. TVOKM 1.5.2014. Viitattu 31.8.2015. <http://www.tvokm.com/2014/05/evolution-of-boat-engines-technology.html>.
11. Solarschiffe für die Expo?. Umwelteinsatz.ch. Viitattu 29.3.2015.
12. The world's first crossing of the Atlantic on a solar boat. transatlantic21. Viitattu 29.3.2015.
13. Transatlantic 21. N.d. The "sun21". Viitattu 31.8.2015. <http://www.transatlantic21.org/boat/>.
14. Aton-aurinkosähkövene: Aikaansa edellä. 2003. Tekniikan maailma. Viitattu 13.5.2015. <http://tekniikanmaailma.fi/vanhat/aton-aurinkosahkovene-aikaansa-edella>.
15. Weckström, H. 2003. Aton-aurinkosähkövene: Aikaansa edellä. Tekniikan maailma 9.7.2003. Viitattu 31.8.2015. <http://tekniikanmaailma.fi/vanhat/aton-aurinkosahkovene-aikaansa-edella>.
16. EERE News: EERE Network News - 06 December 2006. Apps1. eere. energy. gov. 6 December 2006. Viitattu 30.3.2015.

17. Straussee Ferry. N.d. Atlas obscura. Viitattu 31.8.2015.  
<http://www.atlasobscura.com/places/straussee-ferry>.
18. Alanen, R. 2010. Veneiden uudet energiajärjestelmät. VTT Working Papers 154. Viitattu 30.3.2015. [www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W154.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W154.pdf).
19. Esala, M. Suljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. Ideaport. Viitattu 30.3.2015. saatavilla: [www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf](http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf).
20. Fuel cells: Definition from Answers.com. N.D. Fuel cells. Viitattu 1.4.2015.  
<http://www.answers.com/topic/fuel-cell>.
21. Polttokenno. N.d. Hajautetun uusiutuvan energian tuotannon ympäristö. Oulun ammattikorkeakoulun hankkeet. Viitattu 31.8.2015.  
<http://www.oamk.fi/hankkeet/chp/polttokenno/>.
22. Virtaa veneeseen – polttokenno vai aurinkokenno?. N.d. Pinnassa.Blogspot.fi. Viitattu 31.8.2015.  
<http://pinnassa.blogspot.fi/2013/02/virtaa-veneeseen-polttokenno-vai.html>
23. Sähköt – hWiki. N.D. Sähköt. Viitattu 2.4.2015.  
Saatavissa: <http://www.h-vene.net/hwiki/S%C3%A4hk%C3%B6t>.
24. Lombardini merimoottori. N.D. Aggregaatit. Viitattu 2.4.2015  
Saatavissa: [www.lombardini.fi/aggregaatit.php](http://www.lombardini.fi/aggregaatit.php)
25. Pietarila, P. 2010. Tekniikka & Talous. Aurinkopaneeli, joka tuottaa energiaa - myös pimeässä. Viitattu 3.4.2015.  
Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article550997.ece>.
26. Chaline, E. 50 konetta, jotka muuttivat maailmaa. Suom. Veli-Pekka Ketola. Quid Publishing. (suom. versio Moreeni 2013). 2012. ISBN 978-952-254-160-4. Suomi. Viitattu 3.4.2015.
27. Seppälä, H. 2013. Aurinkosähkön hyödyntäminen veneen pääasiallisena energialähteenä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Veneteknologian koulutusohjelma. Viitattu 4.4.2015. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201302052046>.
28. RC-Suomi. N.D. Nopeudensäädin. Viitattu 4.4.2015.  
Saatavissa: <http://rc-suomi.net/wiki/Nopeudens%C3%A4%C3%A4din>.
29. Hame, J. 2005. Planeettavaihteet - rakenne, vikaantumisen ja havainnointimenetelmät. VTT. Viitattu 5.4.2015. Saatavissa:  
[http://www.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servoplaneettavaihteet\\_btuo43-051349.pdf](http://www.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servoplaneettavaihteet_btuo43-051349.pdf).
30. Simon, A. Made in Hungary: Hungarian Contributions to Universal Culture. p.207. Simon Publications LLC. 1998. Viitattu 6.4.2015.
31. Pyrhönen, J. LTY. kurssimateriaalia sähkökoneista. Viitattu 6.4.2015.

32. Navimare - vene elektroniikka ja tarvikkeet. N.D. Minn kota Endura C2 30 Sähköperämoottori. Viitattu 6.4.2015. [http://www.navimare.fi/product\\_details.php?p=28](http://www.navimare.fi/product_details.php?p=28).
33. Minn kota Endura C2 30 Sähköperämoottori. N.d. Navimare.fi verkkokauppa. Viitattu 31.8.2015. [http://www.navimare.fi/product\\_details.php?p=28](http://www.navimare.fi/product_details.php?p=28).
34. Törmänen, E. Käämien tilalla on ilmaa. *Tekniikka & Talous*. 21.9.2012. s. 4–5. Helsinki. Talentum Media Oy. Viitattu 12.4.2015.
35. Wave Powered Boat - Kenichi Horie's Historic Pacific Voyage. N.d. Yachtspals.com. Viitattu 31.8.2015. <http://yachtspals.com/boating/wave-powered-boat>.
36. Crandall, D. 2009. Is boating ready for a Prius revolution?. Trade only today 24.2.2009. Viitattu 31.8.2015. <http://www.tradeonlytoday.com/columns/general/is-boating-ready-for-a-prius-revolution/>.
37. PBO Green Awards winner shortlisted for Shell prize. N.d. Practical boat owner. Viitattu 31.8.2015. <http://www.pbo.co.uk/news/pbo-green-awards-winner-shortlisted-for-shell-prize-8331#PX5k1w0UbjpLOgTE.99>.
38. Hornblower Hybrid. N.d. Alcatraz Cruises Introduces Hornblower Hybrid Ferry. Marinebuzz.com 24.1.2009. Viitattu 31.8.2015. <http://www.marinebuzz.com/2009/01/24/alcatraz-cruises-introduces-hornblower-hybrid-ferry/>.
39. Oceanvolt AX8. N.d. Oceanvolt Ltd. Viitattu 31.8.2015. <https://services.crm-service.eu/raiminisite?a=FEY9pLHXWfV1XHUy5r0nDqkd19aDzqXoo5j16LBEPP4=>.
40. Technology. Mitsubishi i-MiEV. N.d. Mitsubishi motors UK. Viitattu 31.8.2015. <http://www.mitsubishi-cars.co.uk/imiev/technology.aspx>.
41. Iltasanomat. 2014. N.D. Näin lipuu maailman suurin aurinkovoimalla käyvä vene. Viitattu 14.4.2015. <http://www.iltasanomat.fi/ulkomaat/art-1288719490559.html>.
42. The Solar Powered Boat that Circumnavigated the World. N.d. Ars89.com 28.6.2015. Viitattu 31.8.2015. <http://www.ars89.com/the-solar-powered-boat-that-circumnavigated-the-world/>.
43. M/s Turanor Planetsolar (page 2). N.d. Pics about space. Viitattu 31.8.2015. <http://pics-about-space.com/ms-turanor-planetsolar?p=2>.
44. Laitala, M. 2013. Huiput 160 km/t - Maailman nopein sähkövene syntyy sähköauton tekniikalla. *Tekniikka & Talous*. Viitattu 14.4.2015. <http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/huiput+160+kmt++maailman+nopein+sahkovene+syntyy+sahkoauton+tekniikalla/a881140>
45. Top Cun Cigarette electric drive. N.d. Cigarette racing. Viitattu 31.8.2015. [http://www.cigaretteracing.com/eng/SP\\_amgelec.php](http://www.cigaretteracing.com/eng/SP_amgelec.php).

46. ELECTRIFIED! THE WORLD'S MOST POWERFUL ELECTRIC PERFORMANCE BOAT BY THE CIGARETTE RACING TEAM AND MERCEDES-AMG. N.d. Lavish Desires 15.7.2013. Viitattu 31.8.2015. <http://www.lavishdesires.com/2013/07/electrified-worlds-most-powerful.html>
47. A closer look at the Cigarette AMG Electric Drive Concept. N.d. Autoblog.com. Viitattu 31.8.2015. <http://www.autoblog.com/2013/03/17/a-closer-look-at-the-cigarette-amg-electric-drive-concept/#slide-160162>.
48. Kuusisto, O. 2014. Vesille uusenergialla. Olli's Ideas. ISBN 978-952--93-4134-4. Viitattu 26.4.2015.
49. Tuunila, M. 2012. Suomalaisopiskelijoiden aurinkovene Hollantiin MM-kisoihin. Yle-uutiset Kymenlaakso 29.6.2012. Viitattu 31.8.2015. [http://yle.fi/uutiset/suomalaisopiskelijoiden\\_aurinkovene\\_hollantiin\\_mm-kisoihin/6200919](http://yle.fi/uutiset/suomalaisopiskelijoiden_aurinkovene_hollantiin_mm-kisoihin/6200919).
50. Midnight sun finland. N.d. Midnight sun kyamk. facebook. Viitattu 31.8.2015. <https://fi-fi.facebook.com/MidnightSunFinland>.
51. Koskinen, O. 2010. Veneiden uusien energiajärjestelmien liiketoimintamahdollisuudet. Vaasan ammattikorkeakoulu, Finnboat. Viitattu 18.4.2015. [www.finnboat.fi/linked/fi/VENE-ENE\\_Vaasa\\_vamk\\_c8.pdf](http://www.finnboat.fi/linked/fi/VENE-ENE_Vaasa_vamk_c8.pdf).
52. Jusula, J. 2008. Torqeedo sähköperämoottori: Hiljainen vallankumous. Venemestari, nro 1, Helmikuu 2008. Viitattu 20.4.2015. [www.torqeedo.fi/testit/to\\_venemestari\\_1\\_08.pdf](http://www.torqeedo.fi/testit/to_venemestari_1_08.pdf).
53. Pois työpöydältä. 2015. Tesla Powerwall. Viitattu 1.5.2015. <http://poistyopoydalta.blogspot.fi/2015/05/tesla-powerwall.html>
54. Tuunila, M. 2012. Suomalaisopiskelijoiden aurinkovene Hollantiin MM-kisoihin. Yle-uutiset Kymenlaakso 29.6.2012. Viitattu 31.8.2015. [http://yle.fi/uutiset/suomalaisopiskelijoiden\\_aurinkovene\\_hollantiin\\_mm-kisoihin/6200919](http://yle.fi/uutiset/suomalaisopiskelijoiden_aurinkovene_hollantiin_mm-kisoihin/6200919).

## Liitteet

### Liite 1 Aton aurinkoasuntoveneen tekniset tiedot

#### Veneen tiedot:

Omistaja:	Jorma Ponkala	Nopeus:	5 kn (9,3 km/h)
Rakentaja:	Jorma Ponkala	Max nopeus:	6 kn (11 km/h)
Rakennettu:	1998	Makuupaikkoja:	5 kpl
Vesillelasku:	Lokakuu 1998	Aurinkopaneelien teho:	1200 W
Pituus:	7,85 m	Akkuja:	6 x 130 Ah
Leveys:	2,35 m	Päämoottorin teho:	1 kW
Syväys:	0,25 m	Keulamoottorin teho:	400 W / 24 V
Kok. paino:	800 kg	Vesitankit:	2 kpl 150 L

#### Veneen Rakenne:

Runko: 30 cm injektoitu polystyreeni  
 Ulko- ja sisäpinnat lasikuitu & epoksi  
 Saunan avattava pohjaikkuna Ø 600 mm

#### Veneen varusteet:

- Leijapurje
- Nostoköli
- Jääkaappi
- Verkkolaturi
- Pakastin 18 W Danfoss kompressori
- Sähköuuni 1000 W
- Saunakiuas 1200 W
- 2 kokoontaitettavaa polkupyörää

## Liite 2 Midnight Sun Finland aurinkoveneen tekniset tiedot

### Veneen tiedot:

Nimi	Midnight Sun Finland	
Valmistaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Mikkelin ammattikorkeakoulu	
Valmistustapa	Alipaineinjektio	
Kuljettajia	2	kpl
Pituus	8,0	m
Leveys	1,6	m
Syväys	66	m
Rungon paino	150	kg
Kokonaispaino	n. 400	kg

### Veneen rakenne ja muut ominaisuudet:

Runko:	Kerroslevy, ydinaine 3mm PET-vaaho (3D-core), pintalaminaatit 300 g/m <sup>2</sup> hiilikuitu, paksuus 0,7 mm, paino 45 kg.
Ponttoonit:	Umpivaahtoa, pinnassa ohut lasikangas.
Palkisto:	PVC-vaahtoydin (Airex), hiilikuitukori, paino n. 750 g/kpl.
Kansi:	Kerroslevy 3D-core ydinaineena, pintalaminaatti 500 g/m <sup>2</sup> suunnattu lasikuitu.
Vetolaite:	Potkurin halkaisija noin 44 cm. Potkuri suunniteltu itse ja optimoitu kisakäyttöön, kulmavaihte 1:0,6 on kierrätetty vanhasta 3,5 hp Yamaha perämoottorista.
Ohjausjärjestelmä:	Vaijeriohjaus, 6 mm dyneemaköysi, oma valmiste, välitys 6:1, vetolaite kääntyy ± 60°.
Sähköjärjestelmä:	Akku LiFePO (Litium-rauta-fosfaatti), Jännite 25,6 V, kapasiteetti 1kWh (40 Ah), paino 11 kg (kennot 8 X 1 kg).
Aurinkopaneelit:	5 kpl, paino 15 kg/kpl yht. 75 kg, jännite 40,5 V, maks. teho 240 W/kpl: yht. 1200 W, kokonaispinta-ala 5,6 m <sup>2</sup> , hyötysuhde 19,3 %, valmistaja The Sun Factory.

**Liite 2****Jatkoa...**

- Lataussäädin:** Morningstar Tristan MPPT. Muuntaa paneelien jännitteen akulle sopivaksi, optimoi jännitteen ja virran maksimitehon saavuttamiseksi. Siirtää aurinkopaneelien tehosta jopa 99 % akulle.
- Moottori:** Perm PGM 132, 2,2 kW @ 24 V, vääntö 20,5 Nm @ 110 A, paino 10 kg.
- Moottorisäädin:** Sevcon Millipak 4QPM, PWM-ohjaus moottorille.
- Suorituskyky:** Huippunopeus on n. 20 km/h (11 kn), vene on uppoamaton, vakaus; kestää jopa astua laidalle, kääntyy melkein paikallaan, aallokkokäyttäytyminen on rauhallinen.
- Ajoaika:** Pelkällä akulla 25 min. täydellä teholla, aurinkoisena päivänä 800 W teholla auringon laskuun asti.



Kuva 21: Midnight Sun Finland - aurinkovene ja kisatiimi. (54.)

**Liite 3****Torqeedo Cruiser 4.0 RS Tekniset tiedot**

<b>Nimi</b>	<b>Torqeedo Cruiser 4.0 RS</b>	
Syöttöteho watteina	4000	W
Propulsioteho watteina	2240	W
Verrattavissa bensiini perämootoreihin (koneteho)	8	hp
Verrattavissa bensiini perämootoreihin (propulsioteho)	9,9	hp
Suurimman kokonaismäärän tehokkuus prosentteina	56	%
Staattinen työntövoima	189	lbs
Integroitu akku	-	Wh
Nimellisjännite	48	V
Lopullinen latausjännite	-	V
Kokonaispaino kiloina	18,3	kg
Moottorin paino ilman akkua	-	kg
Integroidun akun paino	-	kg
Rikin pituus	62,5	cm
Standardi potkuri nopus / teho	19/4000	km/h / W
Vaihtoehtoisia potkuri vaihtoehtoja	30/4000 tai 8/350	km/h / W
Suurin potkurin nopeus	1300	rpm
Säätö	kaukosäätöinen kaasuläppä	
Ohjaus	Säännös liittää standardin mukaiseen kauko-ohjaukseen; lukittava	
Kääntölaite	Manuaalinen, jossa maadoitus suojana	
Integroitu ajotietokone	Kyllä	
Portaaton eteen / taakse ajo	Kyllä	