



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JANNE PALDANIUS

Aurinkoenergian hyödyntäminen laivoilla

MERIKAPTEENIN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Paldanius, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2020
	Sivumäärä 28 + 2 liitettä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Aurinkoenergian hyödyntäminen laivoilla		
Tutkinto-ohjelma Merikapteenin koulutusohjelma		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella teoriassa mahdollisuutta aurinkosähkön hyödyntämiseen laivoilla. Konseptialukseksi valikoitui suuri autoja kuljettava laiva, koska sillä on suuri kansipinta-ala, joka ei ole aktiivisesti käytössä. Tutkimuksessa tarkasteltiin aurinkosähkön potentiaalista tuottoa nykyteknologian perspektiivistä ja tehtiin laskelmia aurinkosähköntuotosta Itämerellä ja Välimerellä. Saatuja tietoja peilattiin laivan sähkönkulutukseen ja siihen kuinka paljon voitaisiin säästää polttoainetta. Lisäksi havainnoitiin kuinka paljon tämä vähentäisi Co2 ja NOx päästöjä vuositasolla. Lopuksi otettiin lyhyt katsaus teknologioihin, jotka voivat tulevaisuudessa muuttaa aurinkosähköntuotantoa tehokkaammaksi.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kokonaisuudessaan teoriatasolla eikä siinä ole otettu kantaa voimalan rakennuskustannuksiin, eikä mahdolliseen rajoittavaan lainsäädäntöön. Työssä ei myöskään menty teknisiin yksityiskohtiin kovinkaan tarkasti, vaan aihetta käsiteltiin teknologisesta näkökulmasta. Luonnollisesti tutkimuksen aineistoa ei voinut varmentaa käytännössä, sillä se olisi vaatinut valtavia resursseja.</p>		
<u>Asiasanat</u> Aurinkoenergia, aurinkopaneelit, aurinkokennot		

Author Paldanius, Janne	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2020
	Number of pages 28 + 2 appendices	Language of publication: Finnish
Title of publication Utilization of photovoltaic energy on vessels		
Degree program Degree Programme in Maritime Management		
<p>The purpose of this study was to have a look in theory, of the possibilities to utilize photovoltaic energy in vessels. Large car carrier vessel was chosen to be the concept vessel, as it has a huge deck capacity that is not actively in use. Potential yield of the solar energy was reviewed in both, Baltic sea and in Mediterranean sea from the perspective of now days technology. The impact the solar system would make to the fuel consumption and how much it would reduce the Co2 and NOx emissions annually, was calculated from the gathered information. Technologies that may change the efficiency of the solar energy in future were reviewed shortly at the end of the study.</p> <p>The study was carried out purely in theory and it don't comprise the building costs of the said power plant or the limiting legislation. The viewpoint of the study is more in the technology rather than in the technical details. Naturally the results weren't verified in practice as it would demand a vast amount of resources.</p>		
<u>Key words</u> Solar energy, solar panels, solar cells		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
1.1 Rajaukset.....	6
2 ENERGIAA AURINGOSTA	6
2.1 Mitä aurinkoenergia on?	6
2.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen.....	7
2.3 Aurinkopaneelit.....	8
2.3.1 Yksikidekenno	8
2.3.2 Monikidekenno	10
2.3.3 Ohutkalvokenno	10
2.4 Invertteri.....	11
2.4.1 Mikroinvertteri	11
2.4.2 Tasavirtaoptimoija.....	12
2.5 Akut.....	12
2.5.1 Lyijyakku	13
2.5.2 Litium-ioniakku	14
3 AURINKOVOIMALAN RAKENTAMINEN LAIVALLE.....	15
3.1 Olemassa olevat installaatiot.....	15
3.2 Valittu alustyyppi.....	16
3.3 Aurinkoenergian sopiminen laivoille.....	16
3.3.1 Energian tarve	17
3.4 Järjestelmän suunnittelu	17
3.5 Voimalan koko	18
3.5.1 Akusto	23
3.6 Päästövaikutukset.....	23
4 TULEVAISUUDEN TEKNOLOGIAT	24
4.1 Moniliitoskennot	24
4.2 Aurinkoseuraajat	25
4.3 Perovskiittikenno	25
4.4 Perhosen siipi nanopinnoite	26
4.5 Energiapurje	26
4.6 Litium-ilma-akku	27
5 LOPPUSANAT	27
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuuksia hyödyntää aurinkoenergiaa osana laivan sähköjärjestelmää. Aurinkoenergian käyttö on lisääntynyt räjähdysmäisesti maapuolella, mutta laivoilla sen tarjoamaa potentiaalia on hyödynnetty vasta vähän. Meriliikenteestä aiheutuu ainakin 3% koko maailman kasvihuonepäästöistä (Renewable shipping solutions, n.d, 1). IMO on linjannut, että Co2 päästöt tulevat vähentää 40% vuoteen 2030 mennessä verrattaessa niitä vuoden 2008 päästöihin ja 70% vuoteen 2050 mennessä, sekä vähentää kasvihuonepäästöjä kaikkina 50% vuoteen 2050 mennessä (Reducing greenhouse gas emissions from ships, n.d).

Opinnäytetyössä käydään läpi teoriassa, nykyteknologialla mahdollisesti saavutettavissa olevan voimalan rakentaminen yhdelle valitulle alustyyppille. Työn alussa käyn läpi yleisellä tasolla, mitä aurinkoenergialla tarkoitetaan ja kuinka sitä tuotetaan, sekä esittelen tyypillisimmät nykyisellään käytössä olevat aurinkopaneelit ja akut sekä niiden toimintaperiaatteen.

Seuraavassa osiossa esittelen jo olemassa olevia laivapuolelle tehtyjä sovellutuksia ja käyn läpi niistä saatua dataa. Tässä osiossa esittelen myös valitsemani laivatyyppin ja paneudun aluksen sähköjärjestelmään siltä osin, että selvitän paljonko alus tarvitsee sähköä toimintojensa ylläpitämiseen vuorokaudessa. Lisäksi esittelen mallin voimalasta joka laivalle voitaisiin rakentaa, sekä minkälaiseen vuosi/kuukausi/päivä tuottoon sillä päästäisiin, sekä katsomme mikä voimalan ilmastovaikutus olisi säästetyin bunkkerin osalta. Opinnäytetyön viimeisessä osassa käyn vielä lyhyesti läpi tulevaisuuden innovaatioita ja vertaan niitä nykyisellään vallallaan olevaan teknologiaan ja arvioin kuinka merkittävä niiden tuottama hyöty on verrattuna tämän päivän tuotteisiin.

1.1 Rajaukset

Tässä tutkimuksessa keskityn teoriatasolla vain yhteen valittuun laivatyyppiin, jolla oletan olevan potentiaalisesti suurin aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuus, suuresta kannen pinta-alasta johtuen. Tutkimuksessa en myöskään ota kantaa järjestelmän vaatimiin rakennuskustannuksiin, sillä mielestäni sen asian selvittäminen kuuluu varustamoille jotka haluavat sijoittaa uusiutuvaan energiaan ja miettiä kuinka paljon vihreä energia painaa vaakakupissa verrattuna rahaan.

2 ENERGIAA AURINGOSTA

2.1 Mitä aurinkoenergia on?

Aurinko on kaasupallo, joka koostuu pääosin vedystä ja heliumista. Tämä kaasu on täysin ionisoitunutta, mikä tarkoittaa sitä, että elektronit ovat irronneet atomiydinten ympäriltä. Auringon kuumuudesta johtuen hiukkaset kulkevat niin nopeasti, etteivät ne törmätessään kykene yhdistymään atomeiksi. Tällainen ionisoitunut kaasu tunnetaan nimellä plasma. (Ilmatieteenlaitoksen [www-](#) sivut 2020.)

Auringon ytimessä hiukkasten liike-energia on kuitenkin niin suurta, että osa atomiytimistä voi voittaa törmäyksessä keskinäisen sähköisen poistovoimansa ja yhtyä yhdeksi raskaammaksi ytimeksi. Tässä fuusioprosessissa neljä vety-ydintä yhtyy yhdeksi heliumytimeksi. 600 miljoonaa tonnia vetyä fuusioituu 596 miljoonaksi tonniksi heliumia joka sekunti. Jäljelle jäävä neljä miljoonaa tonnia massaa muuttuu energiaksi, joka vapautuu suurienergisiin fotoneina eli valohiukkasina. (Ilmatieteenlaitoksen [www-](#) sivut 2020.)

Fotoni joka on nyt syntynyt, on ihmisille vaarallista gammasäteilyä, se ei kuitenkaan näy meille sellaisenaan. Plasmassa fotoni liikkuu törmäillen atomiytimiin ja keskimäärin 100000:ssa vuodessa se on kulkeutunut auringon pinnalle, missä ainetta on niin harvassa ettei törmäilyä enää tapahdu. Törmäilyn seurauksena fotoni on kuitenkin menettänyt niin paljon energiaa, että sen aallonpituus on venynyt näkyvän

valon alueelle ja muuttunut ihmisille vaarattomaksi. Alkaa kahdeksan minuuttia kestävä matka auringon pinnalta maahan, jossa se ensin jatkaa törmäilyä ilmakehässä, mistä osa säteilystä palautuu takaisin avaruuteen, saapuu viimein maan pinnalle ja törmää viimeisen kerran. Tämä on se fotoni jonka me näemme, ja jota pystymme hyödyntämään. (Enqvist, 2005.)

Maapallolle auringosta tulevan säteilyn teho on noin 170000 TW, (Ala-Myllymäki, 2016, 8). Se on valtava määrä energiaa, 14,5:ssä sekunnissa maapallolle saapuu yhtä paljon energiaa kuin koko ihmiskunta tarvitsee vuorokaudessa (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö suomessa, 2019).

Päivittäinen tulosäteilykokonaismäärää eli insolaatio ilmakehän ulkopinnalle on suuruudeltaan noin 1366 W/m² ja sitä kutsutaan aurinkovakioksi. Tästä säteilystä ainoastaan noin puolet pääsee ilmakehän läpi maanpinnalle, missä se imeytyy vesistöihin ja manneralueisiin. Noin 30 prosenttia säteilystä heijastuu suoraan takaisin avaruuteen ja jäljelle jäävä 20 prosenttia imeytyy ilmakehään ja pilviin. Johtuen maan pallonmuotoisuudesta, sen kiertoliikkeestä oman akselin ja auringon ympäri, sekä akselikaltevuudesta, tulosäteily jakautuu epätasaisesti maan pinnalle, ollen suurinta päiväntasaajalla ja pienintä navoilla. (Ala-Myllymäki, 2016, 13.) Maan pinnalla insolaatio suomessa on suurimmillaan n. 800 W/m², mistä saatu vuosittainen kokonaissäteilyenergian määrä on noin 900kWh/m² (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö suomessa, 2019; Ewarco www- sivut 2020).

2.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen

Auringosta saatua energiaa voidaan hyödyntää passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisessa hyödyntämisessä auringosta saatu valo ja lämpö hyödynnetään ilman erillisiä laitteita, kuten lämmön varastoimisella rakenteisiin. Aktiivisessa hyödyntämisessä säteilyenergia puolestaan muutetaan joko aurinkokeräimillä lämpöenergiaksi tai aurinkopaneeleilla aurinkosähköksi. Tässä opinnäytetyössä perehdytään aurinkoenergian aktiiviseen hyödyntämiseen aurinkopaneelien avulla. (Motivan www- sivut 2020.)

Jotta auringosta saapuva säteily voidaan muuntaa sähköenergiaksi, tarvitaan aurinkokennoja. Niihin osuessaan fotonit luovuttavat sisältämänsä energian kennojen materiaaliin, saaden aikaan elektronien virran, synnyttäen sähköjännitteen suljettuun piiriin. (Ala-Myllymäki, 2016, 18; Motivan www- sivut 2020.)

Aurinkopaneelistä puhuttaessa tarkoitetaan aurinkokennoja, jotka on kytketty sarjaan ja/tai rinnan ja jotka on koteloitu auringonsäteilyä läpäisevällä suojalasilla. Erilaisilla kytkennöillä voidaan muodostaa toivotunlainen jännite ja virta. Aurinkopaneeli tuottaa tasasähköä, joka voidaan sitten muuttaa vaihtosähköksi invertterinä hyväksi käyttäen ja näin ollen sitä voidaan hyödyntää kaikissa sähköä tarvitsevilla laitteilla. (Motivan www- sivut 2020.)

2.3 Aurinkopaneelit

Aurinkosähkön tuotannon kennoteknologian kolmesta sukupolvesta, kahden ensimmäisen sukupolven kennot ovat laajassa kaupallisessa käytössä. Ensimmäisen sukupolven teknologiaan kuuluu yksi- ja monikiteiset piikennot. Näiden kennojen markkinaosuus on noin 93%. Toisen sukupolven teknologiaa ovat puolestaan ohutkalvokennot. Näiden osuus markkinoista on noin 7%. Lisäksi toiseen sukupolveen lasketaan ohutkalvokennoihin laskettavat moniliitoskennot, vaikka ne edustavatkin uutta teknologiaa. Kolmannen sukupolven teknologia on varsinaisesti vasta laboratorio tasolla, eikä niitä ole vielä laajalti kaupallisessa käytössä. Näihin kuuluu mm. Nanokidekennot, Grätzel-kennot ja väriaineherkistetyt aurinkokennot. Näihin kolmannen sukupolven kennoihin palataan opinnäytetyön loppupuolella, osiossa tulevaisuuden teknologia. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate, n.d; Solar cell central www- sivut 2020.)

2.3.1 Yksikidekenno

Piikidekennojen teoreettinen hyötysuhde on noin 31%. Parhaiden kaupallisten aurinkopaneelien hyötysuhde voi olla jo yli 20% mutta tavallisimmin paneelin hyötysuhde on noin 15-17% (Ala-Myllymäki, 2016, 20). Hyötysuhteeseen vaikuttavat

monet asiat, kuten materiaalien puhtaus ja se kuinka paljon auringon valoa heijastuu takaisin paneelin päällä olevasta lasista (Motivan www- sivut 2020).

Yksikiteiset piikennot (m-Si) on sahattu yhtenäisestä piihihiosta. Materiaalin hinnasta johtuen, pyöreistä kiekkoista ei kannata lähteä tekemään suorakulmaisia. Tämän vuoksi yksikidepaneelin kennojen kulmissa on aukot. Rakenteesta johtuen paneelin hyötysuhde suhteessa paneelin kokonaispinta-alaan heikkenee hieman verrattaessa sitä suorakulmaiseen monikiteiseen piipaneeliin. Yksikiteisen paneelin yhtenäisemmästä kiderakenteesta johtuen, on sen teoreettinen hyötysuhde kuitenkin hieman parempi. Yksikidekennon sähkön tuotto onkin parempi kuin monikidekennon, mikä tekee siitä edelleen kilpailukykyisen vaikkakin sen valmistaminen on hitaampaa ja kalliimpaa kuin monikiteisenpaneelin. Erityisen hyvin yksikidepaneeli sopii sinne, missä aurinkovoimalan käytettävissä oleva pinta-ala on rajallista tai kallista ja tavoitteena on tuottaa maksimaalista sähkötehoa neliometriä kohden. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate, n.d.) Näin on esimerkiksi laivoilla. Yksikidekennon tunnistaa sen mustasta väristä (Kuva 1), kun taas monikiteinenkenno on väriltään sinertävä (Kuva 2).



Kuva 1, Yksikiteinen paneeli (Sundiall www- sivut 2020).



Kuva 2, Monikiteinen paneeli (Aurinkosähkö www- sivut 2020).

2.3.2 Monikidekenno

Monikiteinen piikkenno (p-Si) ei juurikaan ero yksikiteisestä teknisiltä ominaisuuksiltaan. Monikiteisenkennon valmistaminen on kuitenkin halvempaa, se tehdään ensin valamalla piistä harkko ja sen jälkeen siitä leikataan halutun kokoinen kenno. Leikkauksesta ylimääräiseksi jäävät palat voidaan käyttää uudelleen. Näin syntyneen paneelin hyötysuhde jää kuitenkin pienemmäksi johtuen siitä, että sen atomit ovat enemmän hajallaan yksikiteiseen paneeliin verrattuna. Kaikista olemassa olevista paneeleista suurin osa on monikiteisiä, johtuen juuri niiden edullisemmasta hinnasta. Ne sopivatkin useimpiin kohteisiin hyvin silloin, kun pinta-alaa on vapaasti käytettävissä ja alhaisempi hyötysuhde voidaan kattaa laittamalla useampia paneeleja. (DIGMA avoin oppimisympäristö, 2016; Ala-Myllymäki, 2016, 21.)

2.3.3 Ohutkalvokenno

Ohutkalvokennot ovat aurinkokennojen toista sukupolvea. Niille ominaista on, että ne ovat taipuisia (Kuva 3). Tämä mahdollistaa niiden monipuolisemman hyödyntämisen verrattuna tavanomaiseen jäykkään paneeliin. Ohutkalvokennot tarvitsevat vähemmän materiaalia valmistuksessa kuin tavallinen paneeli, sen etuna on myös sen kalvomateriaalin parempi sietokyky epäpuhtauksia kohtaan. Ohutkalvokenno omaa pienemmän lämpötilakertoimen, verratessa perinteisiin paneeleihin. Tällöin ne soveltuvat paremmin käytettäviksi kuumissa olosuhteissa. Viileämissä olosuhteissa piikkennojen tehontuotto on puolestaan suurempaa. (Ala-Myllymäki, 2016, 22-23.)

Ohutkalvokennoja valmistetaan useista eri materiaaleista. Yleisin ja ympäristöystävällisin paneeli on kadmium-telluuridipaneeli (CdTe), se on myös ainut ohutkalvoteknologia, jolla on parempi hinta/tehosuhde kuin piikkennoilla. Ne soveltuvat erityisen hyvin lämpimiin olosuhteisiin. Kupari-indium-gallium-diselenidi (CIGS) paneeli on hyötysuhteeltaan jo parempi, kuin monikiteinen piikkenno, lisäksi se voidaan asentaa useihin eri materiaalialustoihin, kuten teräkseen tai muoviin. Amorfisesta piistä (a-Si) tehdyillä paneeleilla on puolestaan käyttöä myös aurinkoenergiateollisuuden ulkopuolella. Niitä käytetään esimerkiksi taskulaskimissa ja rankekelloissa, missä niiden hyvät toiminta-arvot heikoissa valaistusolosuhteissa ovat eduksi. (DIGMA avoin oppimisympäristö, 2016; Sahu, 2017.)



Kuva 3, Taipuisaa ohutkalvopaneelia (Dnsolar www- sivut 2020).

2.4 Invertteri

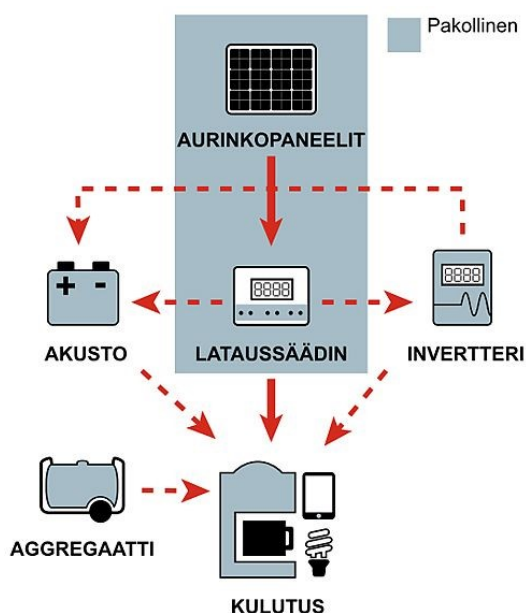
Toimiakseen, aurinkosähköjärjestelmä tarvitsee invertterin, eli vaihtosuuntaajan. Sen avulla aurinkopaneelien tuottama tasavirta muutetaan vaihtovirraksi, joka vastaa sähköverkon ja jakeluverkon vaatimuksia. Aurinkopaneelit kytketään invertterin kautta laivan sähköpääkeskukseen. 3-vaiheisella invertterillä saadaan suurin hyöty aurinkosähköjärjestelmästä, sillä se takaa symmetrisen sähköntuotannon vaiheiden välille (Laine sähköposti 10.12.2020), sekä sen avulla voidaan syöttää sähköä kaikkiin kohteen sähkölaitteisiin. (Motivan www- sivut 2020.)

2.4.1 Mikroinvertteri

Aurinkopaneelien sarjaankytkentään voi liittyä ongelmia, mikäli käytössä on tavallinen keskitetty invertteri ja osa kennoista on varjossa. Tällöin sarjaankytkennän tehon määrittää huonoiten tuottavan paneelin huonoiten tuottava kenno (Ala-Myllymäki, 2016, 49.) Jotta tällaisilta tehohäviöiltä vältyttäisiin, voidaan käyttää hyödyksi mikroinverttereitä. Mikroinvertteri voidaan asentaa järjestelmään paneelikohtaisesti, jolloin jokainen paneeli on omayksikkönsä, eikä yksittäisten paneelien varjostuminen vaikuta kokonaistuottoon niin merkittävästi. (Motivan www- sivut 2020.)

2.4.2 Tasavirtaoptimoija

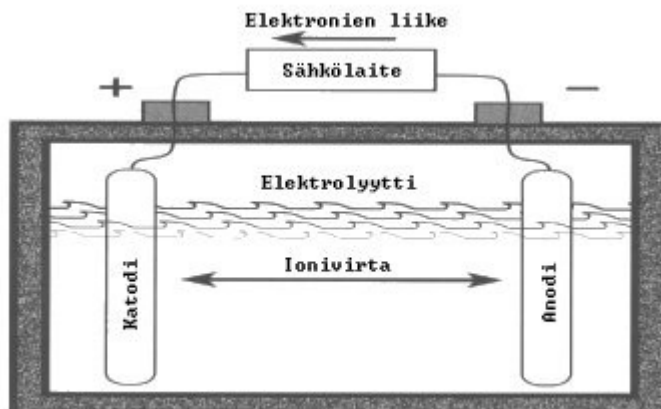
Mikäli järjestelmään halutaan sisällyttää myös akusto (Kuva 4), voidaan paneelikohtaisesti asentaa tasavirtaoptimoijia, jotka säätävät paneelin toimimaan maksimitehopisteessä, tuottaen suurimman hyötysuhteen. Tasavirtaoptimoija toimii periaatteeltaan samalla lailla kuin mikroinvertteri, kun osa järjestelmän paneeleista jää varjoon. Mikäli halutaan tuottaa vaihtosähköä, on järjestelmään vielä kuitenkin lisättävä erillinen invertteri. (Motivan www- sivut 2020.)



Kuva 4 Off-grid aurinkosähköjärjestelmä (Motivan www- sivut 2020).

2.5 Akut

Akku on sähkökemiallinen laite, joka varastoi energiaa, joka on purettavissa sähköenergiana. Akku koostuu kahdesta elektrodista, jotka tunnetaan nimillä anodi ja katodi, sekä väliaineesta, eli elektrolyytistä, joka estää elektrodien kontaktin, mutta kuitenkin sallii ionien siirtymisen elektrodien välillä. Elektrolyytin ja elektrodien rajapinnoissa tapahtuu kemiallisia hapettumis-pelkistymisreaktioita. Akun purkautuessa anodista vapautuu hapettumisen yhteydessä elektroneja, jotka kulkevat ulkoisen piirin kautta katodille, aiheuttaen näin sähkövirran (Kuva 5). Katodilla puolestaan tapahtuu pelkistymisreaktio, jolloin sen ionit vastaanottavat elektroneja. Ladattaessa akkua nämä reaktiot tapahtuvat päinvastaiseen suuntaan. (Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos, 1998.)



Kuva 5, Akun toimitaperiaate. (Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos, 1998).

2.5.1 Lyijyakku

Lyijyakku on ensimmäinen kaupallisesti käyttöön otettu akkuteknologia, ja sitä käytetäänkin edelleen mm. autoissa. Akun elektrodeina toimivat lyijylevyt ja elektrolyytinä rikkihappo (Varta-automotiven [www-sivut 2020](#)). Lyijyakku on edullinen, mutta muihin akkutyyppeihin verrattuna se on painava. Lyijyakun energiatiheys on noin 30Wh/Kg. (Motivan [www-sivut 2020](#).)

Lyijyakkuja on olemassa perinteisiä avoimia malleja, sekä paremmin teollisuuteen sopivia suljettuja AGM-, ja geeliakkuja. AGM- ja geeliakku toimivat samalla tavoin, niiden olennaisin ero on, että AGM-akussa elektrolyytti on imeytetty lasikuitumattoon ja geeliakussa puolestaan hyytelöön. AGM-Akku sietää alhaisissa lämpötiloissa paremmin kuormitusvirtoja johtuen suuremmasta sisäisestä resistanssista. (Yleiselektronikan [www-sivut 2020](#).)

Merkittävin hyöty AGM- ja geeliakussa verrattuna perinteiseen avoimeen lyijyakkuun, on niiden huoltovapaus, akkujen vapaa sijoitteluasento, värinän- ja iskunkestävyys, sekä moninkertainen varausnopeus (Yleiselektronikan [www-sivut 2020](#)).

Kaupallisesti on saatavilla suuria jopa yli 100kWh varaavia AGM-Akkuja (Sunwattin www-sivut 2020), useita tällaisia rinnakkain kytkettyinä voidaan saada riittävästi energiaa varastoiduksi, jotta jopa laivaa voidaan operoida useampia tunteja.

2.5.2 Litium-ioniakku

Litium-ioniakun elektrodeina on käytetty pääsääntöisesti litiumoksidia, vaihtoehtoisia elektrodimateriaaleja on mm. mangaanioksidi, kobolttioksidi, rautasulfaatti ja alumiini. Elektrolyyttinä käytetään etyleenikarbonaattia. (Motivan www- sivut.) Litium-ioniakulla on yliverlainen kapasiteetti, jopa 265 Wh/Kg. (Vertailun vuoksi, laivanpolttoaineena käytetyn bunker c:n energia tiheys on noin 11100 Wh/Kg (Energy Content of some Combustibles 2004; unitconverters www- sivut 2020)). Tämän vuoksi litium-ioniakut ovat huomattavasti kevyempiä verrattaessa niitä lyijyakkuihin. Litium-ioni akulla on myös huomattavan korkea jännite 3.2-3.7V verrattaessa sitä muihin akkuteknologioihin. Litium-ioniakun eduksi on myös laskettava siltä puuttuva muisti ominaisuus, mitä joillakin akkutyypeillä on. Tämä ominaisuus tarkoittaa sitä, että kun akkuja ladataan toistuvasti vajaan, voi akku muistaa tämän ns. maksimi tason, eikä suostu lataamaan yli sen. (What is lithium-ion battery and how does it work?, n.d.)

Litium-ioniakuilla on kuitenkin myös omat haittapuolensa. Ne saattavat ylikuumeta ja aiheuttaa jopa tulipaloja. Tämä olisi erittäin valitettavaa sellaisissa olosuhteissa, kuten laivalla. Ne ovat myös huomattavan kalliita, jopa noin 40% verrattuna muihin akkuteknologioihin. Litium-ioniakun elinikä on kuitenkin odotusarvoltaan pidempi kuin muilla akkuteknologioilla, mikä kaventaa hintaeroa. (What is lithium-ion battery and how does it work?, n.d.)

Litium-ioniakkuja on saatavana valtavan kapasiteetin omaavina energiavarastoina. Laivalle sopivia voisivat olla 1 megawatin akut, jotka on sijoitettu 40:n jalan merikontin sisään. (Clenergy www- sivut 2020.)

3 AURINKOVOIMALAN RAKENTAMINEN LAIVALLE

3.1 Olemassa olevat installaatiot

Aurinkovoimalla laivalla ei ole täysin uusi idea, vaan siitä on olemassa pienimuotoisia kokeiluja. Tunnetuin näistä on Auriga Leader; Nippon Yusenin, Nippon Oil Companyn, Toyotan ja Port of Long Beachin yhteinen kaksivuotinen esittelyprojekti vuodelta 2009. Auriga Leader on noin 200 metriä pitkä ja noin 32 metriä leveä RoRo alus. Sen kannelle asennettiin 328 aurinkopaneelia, jotka tuon ajan teknologialla tuottivat noin 40 kW tehoa, (Solar Panels for M/V Auriga Leader, 2009.) se on noin 40% siitä mitä vastaavalla määrällä nykypaneeleja voitaisiin tuottaa. Auriga Leader oli ensimmäinen alus, jossa aurinkosähköä puskettiin suoraan laivan sähkötauluun. Seitsemän kuukauden jälkeen, aurinkovoimalan todettiin tuottaneen noin 0,05% propulsioon tarvitusta energiasta ja noin 1% käytetystä sähkövoimasta. Tämän lisäksi, sen todettiin säästäneen 13 tonnia polttoainetta ja vähentäneen Co2 päästöjä 40 tonnia. (Alkan, Arikan, Çelik & Dogrul, 2011.) Tämän seitsemän kuukauden aikana saatiin lupaavia tuloksia. Yllättäen aurinkopaneelit tuottivat merellä 1,4 kertaa enemmän sähköä, kuin maissa Tokiossa. Tarkkaa syytä tälle ei löydetty, mutta esimerkiksi jatkuva ajoviima viilentää paneeleita ja parantaa näin ollen niiden tehokkuutta. Kokeilun aikana voimalla joutui myös kovaan testiin kestäen mm. kolme tuntia jatkuvaa ukonilmaa, 20 tuntia yhtäjaksoista kovaa tuulta (n. 20m/s) sekä kovaa, noin 3-4 metristä aallokkoa kaksi vuorokautta putkeen. Koko tämän ajan voimalla toimi normaalisti, eikä siinä ilmennyt minkäänlaisia vikoja (Eneos:n www- sivut 2020.)

Toinen tunnettu projekti jossa aurinko paneeleita on asennettu laivalle, on Egean merellä seilaava autolautta Blue Star Delos. Lokakuussa 2014 siihen asennettiin pieni aurinkovoimalla teholtaan 2.32 kWp ja toukokuussa 2015 sillä ajettiin kaksi testiajtoa, myös näiden testien tulokset olivat lupaavia. Ensimmäisellä testikerralla paneelit olivat likaiset sillä niitä ei oltu pesty niiden asentamisen jälkeen ja niitä peitti ohut lika- ja suolakkerros. Toiselle testiajolle paneelit pestiin puhtaaksi, mutta yllättäen testituloksissa ei ollutkaan eroja. Testaus olosuhteet olivat molempina päivinä samanlaiset. Myöskin systeemin tehohäviö oli pienempi kuin mitä testin aluksi oli

odotettu. Toki kyseessä on ainoastaan kahden päivän testitulokset, mutta siitäkin huolimatta tulokset olivat lupaavia (Atkinson, 2016.)

3.2 Valittu alustyyppi.

Olen valinnut tutkimukseeni alustyyppiä suuren autolautan, jolla on mahdollisimman suuri kannenpinta-ala joka ei ole aktiivisesti muussa käytössä. Opinnäytetyön kohteeksi valittu alus on Höegh Autolinersin Trotter (Kuva 6), jonka kokonaispituus on 199,87m ja leveys 40,76m (Marinetrafficin www- sivut 2020).



Kuva 6, Höegh Trotter. (Marinetrafficin www- sivut 2020).

3.3 Aurinkoenergian sopiminen laivoille

Aurinkosähkö voidaan ajaa invertterin läpi suoraan laivan sähkötauluun, tai se voidaan varastoida akkuihin. Suurin ongelma aurinkosähköjärjestelmän sovellettavuudessa on sen vaatima suuri pinta-ala, jonka paneelit vaativat, jotta sähköä voidaan tuottaa sellaisia määriä, että sillä on vaikutusta laivan kokonaispäästöihin.

3.3.1 Energian tarve

Sähköä kuluu aluksella useisiin paikkoihin. Laivassa voi olla satoja valopisteitä, ilmanvaihto ja ilmastointikoneita, navigointilaitteita sekä erilaisia lastinkäsittelyyn liittyviä välineitä, kuten rampeja ja kraanoja. Hieman tutkimukseen valittua alusta pienemmän aluksen sähkönkulutus on noin 400 kW/ h merellä ja noin 200 kW/ h satamassa. Kerrottuna 24:llä saadaan vuorokausikulutukseksi 9600 kWh merellä ja 4800 kWh satamassa. Koska verrokki alus on hieman suurempi, käytetään kertoimena 1,25, näin ollen tuntikulutukseksi saadaan: merellä 500kW/ h ja satamassa 250 kW/ h ja vuorokausikulutukseksi 12000 kWh merellä ja satamassa 6000 kWh. Nämä arvot ovat laivan normaalioperointiin liittyviä lukuja, eikä niihin sisälly esimerkiksi matkustajista tai lastinkäsittelystä syntyvää sähkönkulutusta. (Laine sähköposti. 6.11.2020.)

3.4 Järjestelmän suunnittelu

Seuraavaksi arvioidaan kuinka suuren voimalan laivalle pystyisi rakentamaan ja kuinka suuren tehon se tuottaisi. Tässä kannattaa pyrkiä mahdollisimman suuren kapasiteetin voimalaan, sillä kaikki tuotettu energia tulee menemään käyttöön. Paneeleihin tulisi myös liittää tasavirtaoptimoijat tehon maksimoimiseksi, sekä yksi suuritehoinen invertteri. Lisäksi on pohdittava, halutaanko järjestelmään liittää akusto.

Tässä mallissa tulen keskittymään voimalaan, johon on liitetty akusto. Laivojen päästöihin on todennäköisesti tulossa rajoituksia, erityisesti satamakäyntien aikana. Monet satamat sijaitsevat kaupunkien keskustojen läheisyydessä ja laivojen päästöt, etenkin suurissa satamissa heikentävät ilmanlaatua ja aiheuttavat vuosittain jopa 60,000 kuolemaa maailmanlaajuisesti. (Merk 2014, 1.)

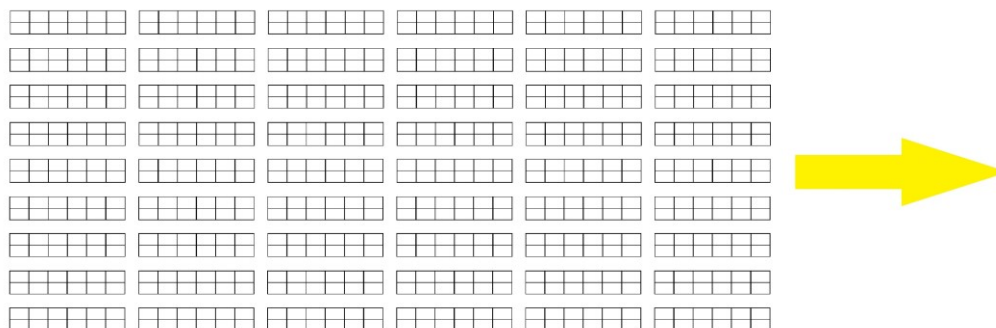
Tähän ongelmaan suurikapasiteettiset akut voisivat tuoda helpotusta, jos satamakäynnit voitaisiin hoitaa käyttämällä akkuihin varastoitua energiaa, ei dieselmoneilla tarvitsisi tuottaa energiaa tänä aikana.

3.5 Voimalan koko

Valitun laivan koko on noin $200m \times 41m$. Jos tästä pinta-alasta saisi paneelien käyttöön noin 40% voisi voimalan koko olla noin $128.5m \times 25.5m = 3277m^2$ ($200m \times 41m = 8200m^2$ ja $3277m^2 \div 8200m^2 = 0.399 \dots \approx 40\%$) Täytyy myös muistaa, että kyseessä on konsepti eikä voimalaa olla varsinaisesti rakentamassa kyseiselle laivalle, vaan laivalle joka vastaa kooltaan ja käyttötarkoitukseltaan valittua alusta. Jos voimala rakennettaisiin oikeasti, olisi se varmasti järkevintä tehdä uudisrakennukseen, jossa voimalan vaatima ala ja erityistarpeet voitaisiin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Olen valinnut aurinkopaneelityypiksi tehokkaan yksikidepaneelin, jonka maksimi teho on 380Wp ja hyötysuhde 21,7% (REC Group www- sivut 2020). Tarkemmat tiedot paneelista löytyy liitteestä 1. Paneeli on kooltaan 1721mm x 1016mm. Ajatuksena olisi asentaa paneelit kaksi rinnakkain ja kaksitoista peräkkäin yhteen moduuliin. Tällaisia moduuleita tulisi yhdeksän rinnakkain kuuteen eri riviin (Kuva 7). Jokaisen rivin ja sarakkeen väliin tulisi 90 sentin levyinen huoltokäytävä. Näin ollen tulisi voimalan kokonaispinta-alaksi paneelien osalta $(18 \times 1,016m + 8 \times 0,9m) \times (6 \times 12 \times 1,721m + 5 \times 0,9m) = (18,288m + 7,2m) \times (123,912m + 4,5m) = 25,488m \times 128,412m = 3272,97 \approx 3273m^2$ ja $3273m^2 \div 8200m^2 = 0,399 \dots \approx 40\%$.

Kaikkien moduulien ei tarvitse välttämättä olla yhdessä niin kuin havainnekuvasa, vaan niitä on mahdollista sijoittaa osiin esimerkiksi kaksi riviä keulaan ja loput ahteriin, niin että paneelien kokonaismäärä pysyisi kuitenkin samana.



Kuva 7, Paneelien asettelu havainnekuva.

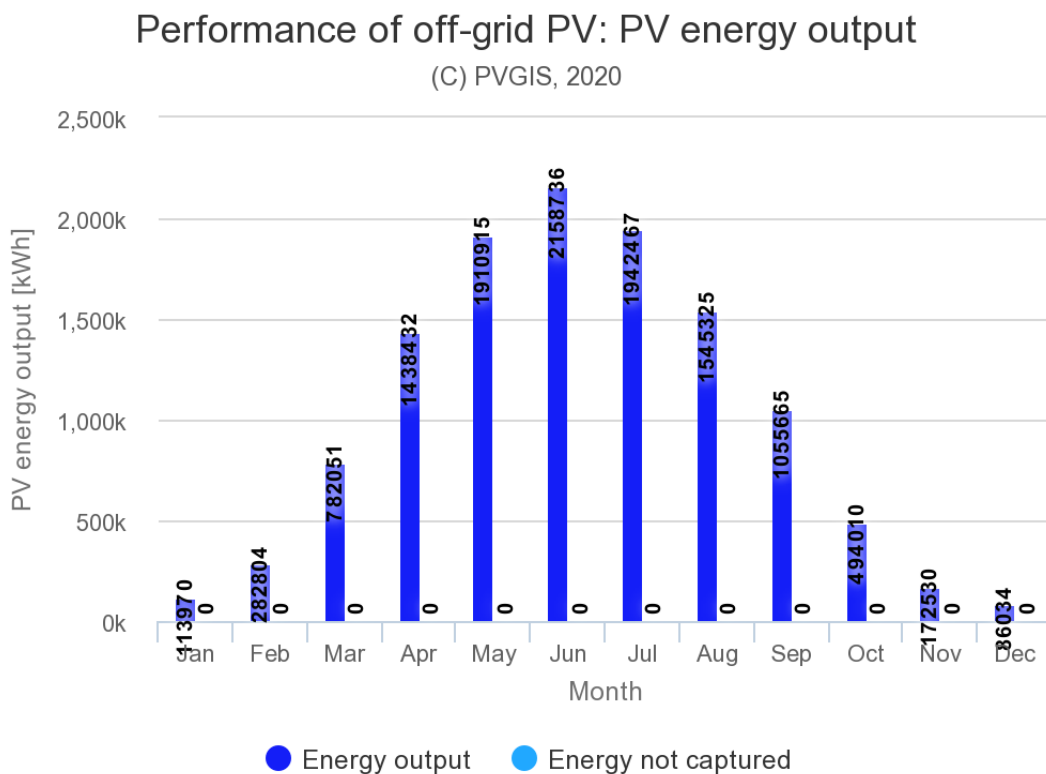
Kuten kuvassa 7 on havainnollistettu tulisi paneeleita voimalaan yhteensä $18 \times 12 \times 6 = 1296$. Tästä määrästä saisi valitulla paneelityypillä kokonaismaksimitenhoksi $1296 \times 380Wp = 492480Wp = 492,48kWp$.

Maantieteellinen sijainti vaikuttaa aurinkosähkön tuoton määrään, etenkin talvikuukausina. Havainnollistaakseni tätä käytän vertailuna kahta eri maantieteellistä paikkaa. Ensimmäinen vertailupiste on Gotlannin eteläkärjessä, Itämerellä, ja toinen vertailupiste on Maltan pääkaupunki Valletta, Välimerellä.

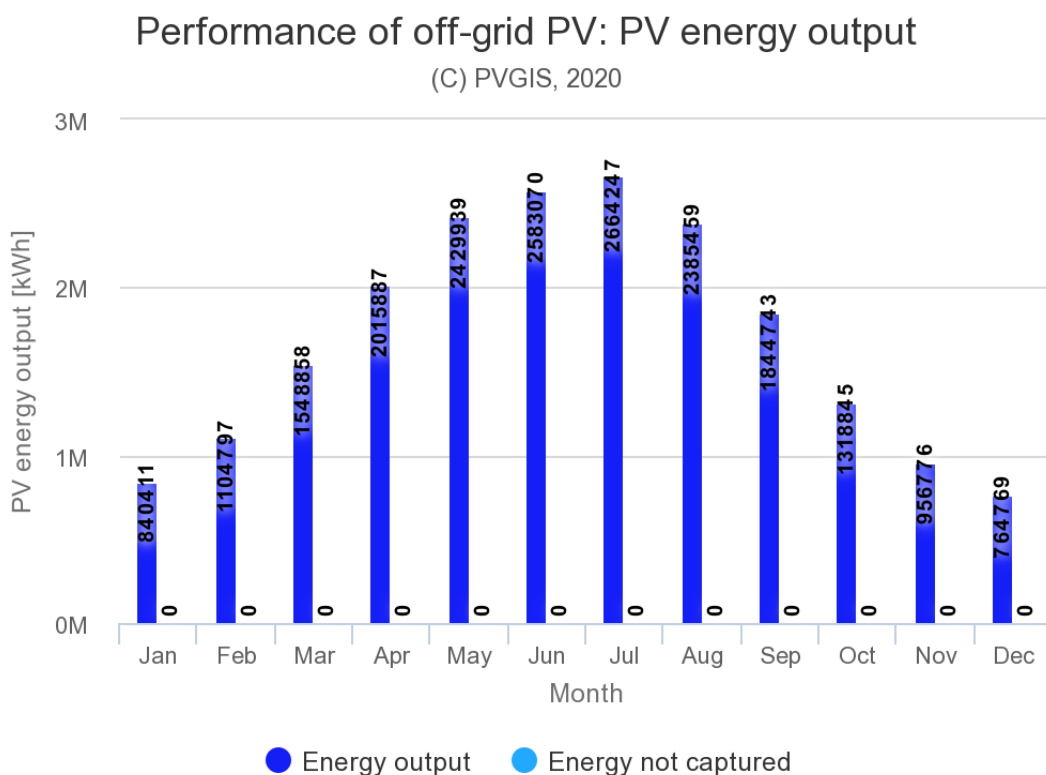
Tässä mallissa olen laittanut paneelit vaakatasoon eli 0° kulmaan. Se ei ole optimaalinen mietittäessä auringon säteiden saapumista maahan, mutta koska laiva on jatkuvasti liikkeessä ja menossa eri suuntiin, on se paras kompromissi sille, että järjestelmä tuottaisi jatkuvasti sähköä.

Kuvassa 8 näkyy aurinkosähköjärjestelmän keskimääräinen päiväkohtainen tuotto Gotlannin eteläkärjessä joka kuukaudelle. Kuten kuvasta voi tulkita on vaihteluväli suurta kesän ja talven välillä. Kesäkuussa huipun ollessa yli 2100 kWh päivässä, jää tuotanto joulukuussa selvästi alle 100 kWh:n päivässä Maantieteellinen sijainti vaikuttaa merkittävästi sähköntuotantoon, etenkin talvisin. Kuvasta 9 näkee kuinka sähköntuotto Välimerellä on paljon tasaisempaa verrattaessa sitä Itämerelle. Toki vaihtelu on sielläkin suurta, heinäkuun huippulukeman ollessa lähes 2700 kWh päivässä,

jäädään joulukuussa alle 800kWh:n päivässä, tämä on kuitenkin lähes yhdeksän kertainen tuotto siihen nähden mitä järjestelmä tuottaa Gotlannissa. (European commission joint research centre.)



Kuva 8. Sähköntuotanto Gotlannin eteläkärjessä (European commission joint research centre).



Kuva 9. Sähköntuotanto Vallettassa (European commission joint research centre).

Taulukoissa 1 ja 2 on tarkasteltu lähemmin aurinkosähköjärjestelmän vaikutusta laivan sähköntuotantoon. Kuten taulukosta 1 näkee, on aurinkosähkön merkitys Itämerellä talvikuukausina varsin vähäinen eritoten laivan ollessa merellä, jolloin aurinkosähköllä operoiminen jää alle yhteen tuntiin viitenä kuukautena.

Kesäaikaan satamassa tulokset puolestaan ovat melko lupaavia, päivittäisen aurinkosähköllä operoinnin ollessa jopa yli kahdeksan tuntia vuorokaudessa. Nopealla satamakäynnillä tämä kattaisi jo merkittävän osan koko laivan sähköntarpeesta.

Kun tutkitaan taulukkoa 2, on helppo todeta auringon kokonaisvaikutuksen olevan merkittävästi suurempi Välimerellä. Etenkin talvikuukausina ero on dramaattinen. Tuoton ollessa huonoimmillaan joulukuussa, tuottaa se kuitenkin yhtä hyvin kuin mitä verrokkipisteessä Itämerellä vasta maaliskuussa. Ja jo huhtikuussa tuotto on lähes yhtä hyvää kuin mitä Itämerellä parhaimmillaan kesäkuussa. Kesäkuukausien huiput eivät kuitenkaan ole niin merkittävästi suurempia, tuoton ollessa noin 1,2 kertaa sen mitä Itämerellä, kokovuoden tuoton ollessa noin 1,7 kertaa suurempaa.

Onkin selvää, että mikäli aurinkosähköjärjestelmän haluaisi rakentaa laivalle, tulisi sen liikennealue miettiä tarkkaan, mikäli siitä halutaan saada suurin potentiaali irti. Seilattaessa lähellä päiväntasaajaa voidaan aurinkosähköjärjestelmästä saada melko tasaisesti noin 2000 kWh päivässä tuottava järjestelmä, mutta liikuttaessa kohti napoja, niin huiput kuin minimitkin korostuvat selvästi (European commission join research centre.)

Taulukko 1. Sähköntuotanto ja vaikutukset Gotlannissa.

Kuukausi	Sähköntuotto/24h	Operointi/24h Merellä	Operointi/24h Satamassa	Sähköntuotto/kk
Tammikuu	113.0 kWh	14 min	27 min	3503 kWh
Helmikuu	282.8 kWh	34 min	1h 8 min	7918.4 kWh
Malliskuu	782.1 kWh	1h 34 min	3h 8 min	24245.1 kWh
Huhtikuu	1438.4 kWh	2h 53 min	5h 45 min	43152 kWh
Toukokuu	1910.9 kWh	3h 49 min	7h 39 min	59237.9 kWh
Kesäkuu	2158.7 kWh	4h 19 min	8h 38 min	64761 kWh
Heinäkuu	1942.5 kWh	3h 53 min	7h 46 min	60217.5 kWh
Elokuu	1545.3 kWh	3h 5 min	6h 11 min	47904.3 kWh
Syyskuu	1055.7 kWh	2h 7 min	4h 13 min	31671 kWh
Lokakuu	494.0 kWh	59 min	1h 59 min	15314 kWh
Marraskuu	172.5 kWh	21 min	41 min	5175 kWh
Joulukuu	86.0 kWh	10 min	21 min	2666 kWh
Yhteensä:	-	-	-	365765.2 kWh

Taulukko 2. Sähköntuotanto ja vaikutukset Vallettassa.

Kuukausi	Sähköntuotto/kk	Operointi/24h Merellä	Operointi/24h Satamassa	Sähköntuotto/kk
Tammikuu	840.4 kWh	1h 41 min	3h 22 min	26052.4 kWh
Helmikuu	1104.8 kWh	2h 13 min	4h 25 min	30934.4 kWh
Maaliskuu	1548.9 kWh	3h 6 min	6h 12 min	48015.9 kWh
Huhtikuu	2015.9 kWh	4h 2 min	8h 4 min	60477 kWh
Toukokuu	2429.9 kWh	4h 52 min	9h 43 min	75326.9 kWh
Kesäkuu	2583.1 kWh	5h 10 min	10h 20 min	77493 kWh
Heinäkuu	2664.2 kWh	5h 20 min	10h 39 min	82590.2 kWh
Elokuu	2385.5 kWh	4h 46 min	9h 33 min	73950.5 kWh
Syyskuu	1844.7 kWh	3h 41 min	7h 23 min	55341 kWh
Lokakuu	1318.8 kWh	2h 38 min	5h 17 min	40882.8 kWh
Marraskuu	956.8 kWh	1h 55 min	3h 50 min	28704 kWh
Joulukuu	764.8 kWh	1h 32 min	3h 4 min	23708.8 kWh
Yhteensä	-	-	-	623476.9 kWh

3.5.1 Akusto

Järjestelmään olisi järkevää sijoittaa akusto, erityisesti satamakäyntejä silmällä pitäen. Mikäli järjestelmään liittäisi kaksi megawatin litium-ioniakkua, voisi niihin varastoidulla energialla operoida satamassa 8 tuntia (250kW/ h). Tähän jos lisää vielä esimerkiksi kesäkuun sähköntuoton paneelilla Gotlannissa. Voisi aurinkosähköllä operoida jopa lähes 17 tuntia.

Merellä akustosta olisi hyötyä, jos paneelien tuottama energia ajettaisiin ensin akkuihin ja vasta sieltä sähkötauluun. Näin ollen järjestelmä ei olisi niin herkkä jännitteen vaihtelulle. Myös apukoneiden kuormaa voisi paremmin optimoida sen mukaan, kuinka paljon akusta otettaisiin virtaa ja näin saada ne käymään parhaalla hyötysuhteellaan.

Akusto tulisi olla myös ladattavissa käyttäen laivan apukoneita. Näin voitaisiin akkuihin varata sähköä satamakäyntejä varten, myös silloin kun auringon tuottama energia ei ole riittävää, kuten talvella. Tällöin voitaisiin ainakin vähentää apukoneiden käyttämistä satamissa ja näin ollen pienentää ilmaan pääsevien saasteiden määrää kaupunkien läheisyydessä.

Esimerkki laivalle sopivasta akusta voisi olla 40 jalan merikonttiin sijoitettu akusto, kuten clenergyn ESS1MWH akku. (Clenergyn www- sivut 2020.) Liitteessä 2 tarkemmat tiedot akusta.

3.6 Päästövaikutukset

Minkälainen vaikutus päästöihin ja kulutukseen tällaisella aurinkosähköjärjestelmällä sitten olisi? Tätä on eritelty taulukossa 3. Siinä on laskettu paljonko polttoainetta kuluisi, jos sillä tuotettaisiin aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua energiaa vastaava määrä sähköä, sekä kuinka paljon hiilidioksidi ja typpioksidi päästöjä tästä syntyisi (Teknologian tutkimuskeskus VTT, 2017; Trozzi, n.d, 6; EngineeringToolBox www- sivut 2020).

Taulukko 3. Vaikutukset kulutukseen ja päästöihin

Sijainti	Kokonaisenergia	Kulutus	Co2	NOx
Gotlanti	365765 kWh	76811 Kg	238882 Kg	4097 Kg
Valletta	623477 kWh	130930 Kg	407193 Kg	6983 Kg

Tavallisen henkilöauton keskimääräiset Co2 päästöt ovat luokkaa 170g/Km (European Federation for Transport and Environment, 2018, 11). Jos tuloksia haluaa verrata maapuolelle, vastaa laivan aurinkosähköjärjestelmän tuottama päästövähennys Gotlannissa yli 70:tä henkilöautoa, joilla ajetaan 20000 kilometriä vuodessa. Vallettassa saatu säästö vastaa puolestaan jopa 120:n henkilöauton päästöjä vuodessa.

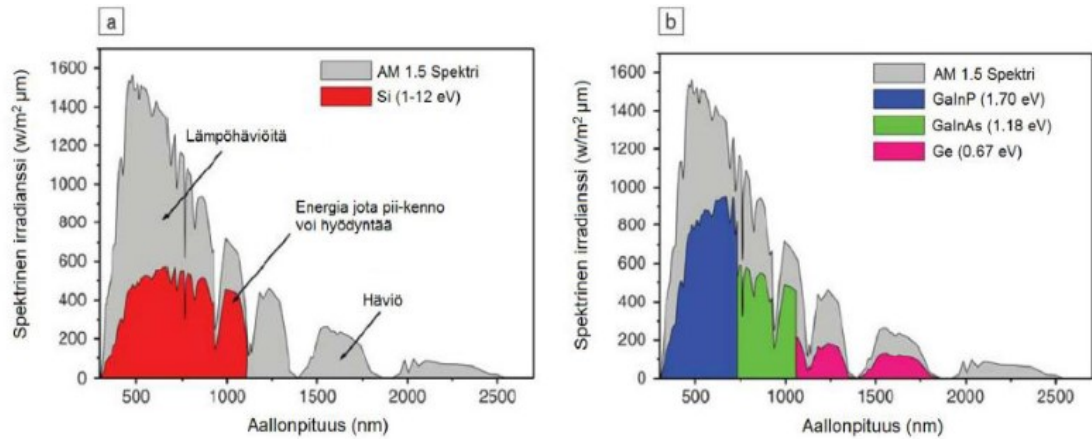
4 TULEVAISUUDEN TEKNOLOGIAT

Tässä osiossa käydään läpi joitakin uusia teknologisia innovaatioita. Osa niistä on jo osittain käytössä, mutta monet ovat vasta laboratoriotasolla kehitettyjä, eikä niillä vielä ole kaupallista potentiaalia.

4.1 Moniliitoskennot

Moniliitoskennot (multijunction cells) ovat uutta aurinkokennoteknologiaa. Ne hyödyntävät monista eri puolijohdemateriaaleista tehtyjä pn-liitoksia. Pn-liitokset tuottavat sähköä kunkin materiaalin ominaisella eri auringonvalon aaltopituudella. Pn-liitokset on asetettu kerroksittain siten, että päällimmäisen kennon energia-aukko on aina suurempi kuin sen alapuolella olevalla. Tämä mahdollistaa sen, että auringonsäteilyn spektri pystytään hyödyntämään mahdollisimman suurelta osalta, mikä tuottaa korkeamman hyötysuhteen. Moniliitoskennon teoreettinen hyötysuhde voi olla jopa yli 86%, kun se tavallisella piipohjaisella aurinkokennolla on noin 30% luokkaa. Parhaiden moniliitoskennojen hyötysuhteet ovat laboratorio olosuhteissa olleet jopa yli 47% (National Renewable Energy Laboratory, 2020).

Kuvassa 10 on havainnollistettu moniliitoskennon spektrin hyödyntämistä verrattuna tavalliseen piikennoon. Moniliitoskennojen valmistaminen on kallista ja niitä onkin käytössä lähinnä avaruus- ja sotatekniikoissa. (Ala-Myllymäki, 2016, 24.)



Kuva 10. Moniliitoskennon spektrin hyödyntäminen verrattuna piikennoon (Ala-Myllymäki, 2016, 24).

4.2 Aurinkoseuraajat

Aurinkoseuraajia on olemassa yksi ja kaksi akselisina ja ne nimensä mukaisesti seuraavat auringon liikkeitä ja näin maksimoivat paneeleihin osuvan auringon säteilyn. Yksiakselinen seuraaja voi lisätä sähköntuottoa jopa 35% ja kaksi akselinen vielä 10% lisää. Suurin syy miksi seuraajat eivät ehkä olisi optimaalinen ratkaisu laivalla sijaitsevaan järjestelmään on se, että systeemin tullessa monimutkaisemmaksi, vaatii se enemmän huolenpitoa (Marsh, 2018.) Laivalle ominainen keinuminen tarkoittaisi todennäköisesti myös sitä, että akselit liikkuisivat koko ajan johonkin suuntaan ja näin ollen niiden käyttöikä voisi jäädä hyvinkin lyhyeksi.

4.3 Perovskiittikkenno

Perovskiittikennot ovat kolmannen sukupolven aurinkopaneeleja. Ne eivät ole vielä kaupallisessa käytössä, mutta niistä odotetaan tulevaisuudessa potentiaalista vaihtoehtoa aiemman sukupolven paneeleille. Perovskiitti materiaalit, kuten metyyliammonium-lyijy halogenidit ovat halpoja tuottaa ja helppoja valmistaa. Nämä paneelit myös tuottavat sähköä lähes kaikilla valon aallonpituuksilla, ja niiden hyötysuhde laboratorio-olosuhteissa on ollutkin jo yli 20%. Perovskiittikkennojen

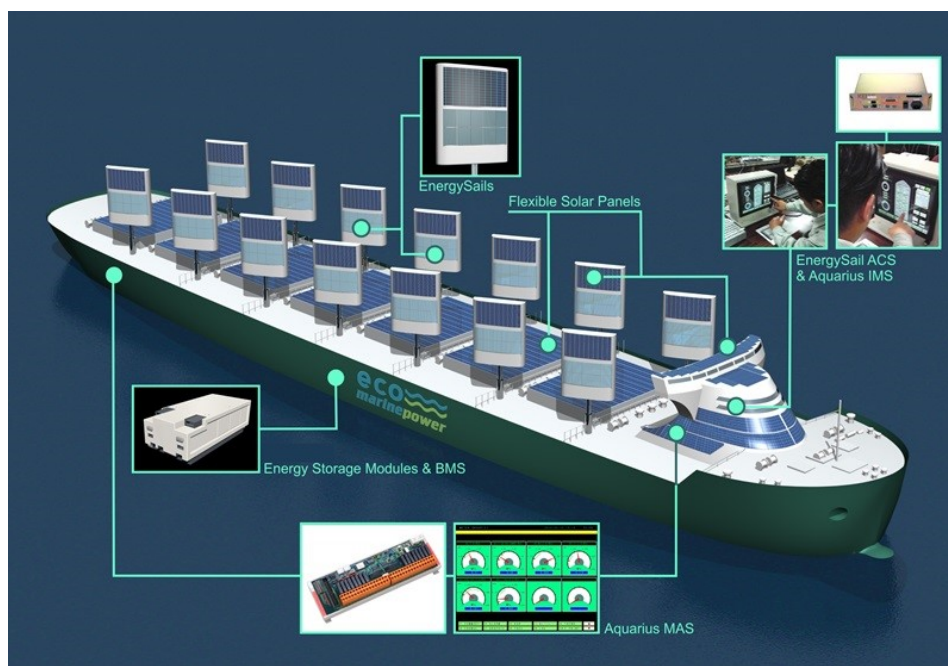
yleinen elektrodi materiaali on kulta, joka nostaa niiden kokonaiskustannuksia merkittävästi. Toinen merkittävä haattatekijä on perovskiitti materiaalien myrkyllisyys. (Perovskite Solar, 2020.)

4.4 Perhosen siipi nanopinnoite

Oulun yliopistossa on kehitetty nanorakennetta, joka matkii perhosen siiven rakennetta, ja joka imee erittäin tehokkaasti auringonvaloa itseensä. Tutkimustuloksissa on selvinnyt, että kun aurinkopaneelin pinnoittaa tällaisella rakenteella, vähenee auringon valon heijastuma 35%:sta vain 5%:iin. Tämä lisää paneelin tuottamaa sähkön määrää jopa 66% (Aurinkoenergiaa talteen perhosen siivellä, 2020.)

4.5 Energiapurje

Energiapurje (Kuva 11) on kehitysasteella oleva innovaatio, jossa laivalle asennettaisiin purjeita, joihin on integroituna aurinkopaneeleita. Eco marinepower joka systeemejä kehittää, ilmoittaa että kyseisellä järjestelmällä voisi suurella aluksella säästää 1000 tonnia bunkkeria vuosittain ja vähentää Co2 päästöjä 3000 tonnia. (Wind and solar power for zero emissions shipping, 2020.)



Kuva 11. Havainnekuva Aquarius eco-shipistä, jossa energiapurjeet (Wind and solar power for zero emissions shipping, 2020).

4.6 Litium-ilma-akku

Litium-ilma-akusta odotetaan seuraavaa merkittävää akkuteknologian harppausta. Sillä odotetaan olevan jopa viisinkertainen kapasiteetti verrattuna litium-ioniakkuun. Suuremman energiatiheyden lisäksi, tutkijat ovat ilmoittaneet niiden olevan myös litium-ioniakkuja kevyempiä. (New design produces true lithium-air battery, 2018; Tekniikan maailma, 2019.)

5 LOPPUSANAT

Kuten laskureilla saaduista tuloksista voi todeta, voi suurella aurinkosähkövoimalalla saada merkittävää sähköntuotantoa aikaiseksi laivalla. Alusten sähkönkulutus on kuitenkin niin suuri, ettei aurinkovoimalla ainakaan nykyteknologialla saada tuotettua kaikkea laivalla tarvittua energiaa. Vaikka paneelit kehittyisivätkin niin, että ne tuottaisivat merkittävästi enemmän energiaa, kuin mitä tänä päivänä voimme tuottaa, syntyisi ongelmia energian varastoinnista. Toki suurikapasiteettisia akkuja on jo nyt saatavilla, mutta niiden hinnat ovat sellaisia, ettei niitä taloudellisista syistä pystytä täysin hyödyntämään. Aurinkoenergian tuotanto on myös altista säävaihteluille, eli aluksella tulisi joka tapauksessa olla jonkinlainen varavirtalähde. Lisäksi ongelma johon ei tule muutosta on laivojen tietty koko, jolloin teho kapasiteettia ei voi nostaa, enempää kuin mitä laivalla on vapaata tilaa.

Mikäli aurinkopaneelien hinta laskee merkittävästi, voisi laivojen kylkiä myös ajatella hyödynnettävän. Ongelma niiden käytössä on kuitenkin, ei optimaalinen kulma auringon säteisiin nähden, ja että käytännössä toinen sivu laivasta on aina varjossa, jolloin puolet tästä kapasiteetista olisi jatkuvasti pois käytöstä.

Kun tulevaisuudessa aletaan miettimään täyssähkölaivoja, tulee sähköntuotannon olla moninkertaista, kuin mitä tässä tutkimuksessa on esitelty. Tässä opinnäytetyössä ei ole laskettu, kuinka paljon energiaa tarvittaisiin tuottamaan laivan propulsioon tarvittava energia. Alusten pääkoneiden teho voi olla jopa kymmeniä megawatteja ja niiden tarvitsema energia on moninkertainen siihen nähden, mitä laivan muut toiminnot tarvitsevat.

Näkisin kuitenkin, että aurinkovoimalalla olisi sijansa laivoilla. Kuten tutkimuksessa on arvioitu, voisi kyseisen kaltaisella voimalalla, operoida satamakäyntejä siinä määrin, että kaupunkien läheisyydessä tapahtuva apukoneiden käyttö vähenisi merkittävästi. Tällöin myös niiden ilmanlaatua heikentävä vaikutus pienenesi.

Aurinkosähkö ei yksin tule ratkaisemaan ongelmaa siirryttäessä kohti fossiilivapaata laivausta, mutta se voi hyvinkin olla merkittävässä roolissa osana ratkaisua. Teknologia on jo kuitenkin olemassa ja sen on todistettu toimivan.

LÄHTEET

800 kilometriä ajoa yhdellä latauksella... 11.1.2019. Tekniikan maailma. Viitattu 6.12.2020. <https://tekniikanmaailma.fi/800-kilometria-ajoa-yhdella-latauksella-tutkijat-hehkuttavat-litiumilma-akut-tuovat-sahkoautojen-seuraavan-ison-loikkauksen/>

Akun toimintaperiaate 1998, Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos. Viitattu 12.11.2020. <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>

Ala-Myllymäki, E. 2016. Aurinkodemo, 8,13,18,20-24,49. Oy Merinova Ab. Viitattu 6.11.2020. https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf

Alkan, A. Arikan, Y. Çelik, F. & Dogrul, A. Energy Efficient Hull Form Design for A Pleasure Boat Powered by A Solar-Hydrogen Energy System. 5/2011. <https://www.researchgate.net/>

Aurinkoenergia ja aurinkosähkö suomessa. 27.2.2019. Lappeenranta-Lahti University of Technology. Viitattu 9.11.2020. https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa

Aurinkoenergiaa talteen perhosen siivellä. 30.6.2020. Oulun yliopisto. Viitattu 6.12.2020. <https://www oulu.fi/yliopisto/uutiset/aurinkoenergiaa-talteen-perhosen-siivella>

Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Suntekno. Viitattu.10.11.2020 <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Aurinkosähkön www- sivut. Viitattu 10.11.2020. <https://www.aurinkosahko.net/>

Atkinson, G. Analysis of Marine Solar Power Trials on Blue Star Delos. 10.11.2016. <https://www.researchgate.net/>

Best research-cell efficiency chart 22.9.2020. National Renewable Energy Laboratory. Viitattu 1.12.2020. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

Clenergy:n www- sivut. Viitattu 12.11.2020. www.clenergy.co.uk

Co2 emission from cars: The facts. European Federation for Transport and Environment. 4/2018. Viitattu 30.11.2020. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018_04_CO2_emissions_cars_The_facts_report_final_0_0.pdf

DIGMA avoin oppimisympäristö. 2016. Aurinkokennoteknologiat. Viitattu 10.11.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=pWPzUCk7XZA>

Dnsolar www- sivut. Viitattu 10.11.2020. <https://www.dnsolar.nl>

Eneos:n www- sivut. Viitattu 16.11.2020. <https://www.eneos.co.jp/english>

Energy Content of some Combustibles 2004. Viitattu 17.11.2020.
https://transportgeography.org/?page_id=5837

EngineeringToolBox www- sivut. Viitattu 30.11.2020.
<https://www.engineeringtoolbox.com/>

Enqvist, K. 2005. Mitä valo on?. Viitattu 9.11.2020.
<https://www.duodecimlehti.fi/duo95365>

European commission joint research centre 2020. Viitattu 27.11.2020.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

Ewarco:n www- sivut. Viitattu 10.11.2020. <http://www.ewarco.fi>

Ilmatieteenlaitoksen www- sivut. Viitattu 6.11.2020.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/>

Laine, J. Oppari. Vastaanottaja: janne.paldanius@student.samk.fi. Lähetetty 10.12.2020 klo 19.58. Viitattu 11.12.2020.

Laine, J. Opparista. Vastaanottaja: janne.paldanius@student.samk.fi. Lähetetty 6.11.2020 klo 11.47. Viitattu 16.11.2020.

Marinerafficin www- sivut. Viitattu 16.11.2020. <https://www.marineraffice.com/>

Marsh, J. Solar trackers: everything you need to know. 19.1.2018. Viitattu 1.12.2020.
<https://news.energysage.com/solar-trackers-everything-need-know/>

Matkustajalaivan keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016.
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 1.11.2017. Viitattu 30.11.2020.
<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/vesiliikenne/autolautta.htm>

Motivan www- sivut. Viitattu 10.11.2020. <https://www.motiva.fi/>

Merk, O. 2014. Shipping Emissions in ports: overview, impact and prognosis 1.
Viitattu 25.11.2020. https://wpassets.porttechnology.org/wp-content/uploads/2019/05/25182342/Olaf_-_Emissions_in_Ports-PT64-2.pdf

New design produces true lithium-air battery. 21.3.2018. Eurekalert. Viitattu 6.12.2020. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2018-03/uoia-ndp032018.php

Perovskite Solar. 1.12.2020. Viitattu 6.12.2020. <https://www.perovskite-info.com/perovskite-solar>

REC Group www- sivut. Viitattu 25.11.2020. <https://www.recgroup.com/>

Reducing greenhouse gas emissions from ships. IMO. Viitattu 19.11.2020.
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

Renewable shipping solutions. IRENA. Viitattu 19.11.2020. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_RE_Shipping_flyer_2014.pdf?la=en&hash=AB097053294293EBE70DD6A4649B860B7B7C7D91

Sahu, Y. 2017. Thin Film Solar Cell Market by Type. Toukokuu 2017. Viitattu 11.11.2020. <https://www.alliedmarketresearch.com/thin-film-solar-cell-market>

Solar cell central www- sivut. Viitattu 10.11.2020. <http://www.solarcellcentral.com/>

Solar Panels for M/V Auriga Leader. Turkish Maritime 3.7.2009. Viitattu 12.11.2020. <http://www.turkishmaritime.com.tr/solar-panels-for-mv-auriga-leader-2584h.htm>

Sundial www-sivut. Viitattu 10.11.2020. <https://www.sundial.fi>

Sunwatts www- sivut. Viitattu 12.11.2020. <https://sunwatts.com/>

Trozzi, C. Emission estimate methodology for maritime navigation, 6. Viitattu 30.11.2020. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session10/trozzi.pdf>

Unitconverters www- sivut. Viitattu 17.11.2020. <https://www.unitconverters.net/>

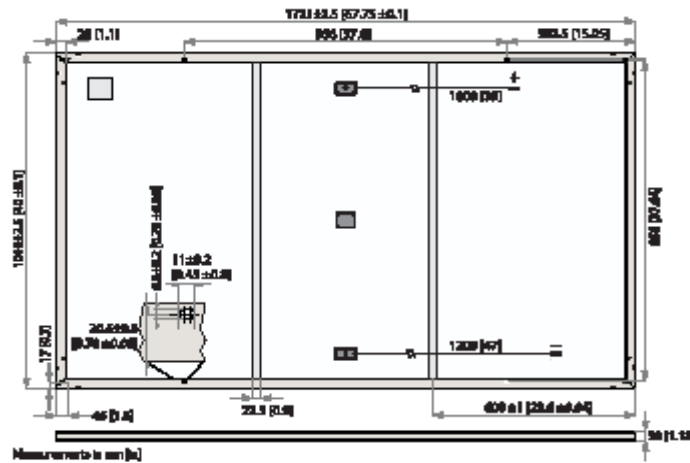
Varta-automotiven www- sivut. Viitattu 12.11.2020. <https://www.varta-automotive.fi>

What is a lithium-ion battery and how does it work? University of Washington. Viitattu 12.11.2020. <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>

Wind and solar power for zero emissions shipping 28.8.2020. Viitattu 6.12.2020. <https://www.ecomarinepower.com/en/wind-and-solar-power-for-ships>

Yleiselektroniikan www- sivut. Viitattu 12.11.2020. <https://www.yeint.fi/>

REC ALPHA SERIES



ELECTRICAL DATA @ STC		Predicted Cell's Efficiency				
Nominal Power - P_{nom} (W)		360	365	370	375	380
Watt Class Sorting (W)		-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5
Nominal Power Voltage - V_{mp} (V)		97.7	98.0	98.3	98.7	99.0
Nominal Power Current - I_{mp} (A)		9.55	9.60	9.66	9.71	9.76
Open Circuit Voltage - V_{oc} (V)		44.3	44.6	44.9	45.2	45.5
Short Circuit Current - I_{sc} (A)		10.16	10.19	10.21	10.23	10.26
Panel Efficiency (%)		20.6	20.9	21.2	21.4	21.7

Values at standard test conditions (STC): irradiance 1000 W/m², reference 1000 W/m² (1000 W/m²), temperature 25°C (77°F), based on a production spread tolerance of V_{mp} ±0.4% within the module class. *Values indicate the nominal power class (P_{nom}) at STC above.

ELECTRICAL DATA @ MINST		Predicted Cell's Efficiency				
Nominal Power - P_{nom} (W)		272	276	279	284	287
Nominal Power Voltage - V_{mp} (V)		35.3	35.5	35.8	36.2	36.5
Nominal Power Current - I_{mp} (A)		7.71	7.75	7.80	7.84	7.88
Open Circuit Voltage - V_{oc} (V)		41.4	41.7	42.0	42.3	42.5
Short Circuit Current - I_{sc} (A)		8.21	8.23	8.25	8.28	8.29

Nominal module operating temperature (MOT): air mass AM 1.5, irradiance 1000 W/m², temperature 55°C (131°F), wind speed 3.3 m/s (7.5 mph). *Values indicate the nominal power class (P_{nom}) at STC above.

CERTIFICATION

UL 1709, UL 1703, IEC 61215, IEC 61730
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, O-SAS 18001:2017

- WARRANTY**
- 20-year product warranty
 - 25-year linear power output warranty
 - Maximum annual power degradation of 0.5% p.a.
 - Guarantees 89% of power after 25 years
- See warranty conditions for further details.

GENERAL DATA

Cell type: 120 half-cut n-type mono cells with REC heterojunction cell technology
6 strings of 20 cells in series

Glass: 0.19 in (3.2 mm) solar glass with anti-reflection surface treatment

Backsheet: Highly resistant polymeric construction

Frame: Anodized aluminum (black)

Junction box: 3-part, 3 bypass diodes, IP67 rated in accordance with IEC 61730

Cables: 12 AWG (4 mm²) PV wires, 20 + 47 cm (1.2 m) in accordance with IEC 61730

Connectors: SMA-M/F (4 mm²) in accordance with IEC 61730
IP68 waterproof connector

Origin: Made in Singapore

METHEORICAL DATA

Dimensions: 6721 ± 40 × 1216 ± 1 (221 × 1076 × 30 mm)

Area: 18.8 sq ft (1.75 m²)

Weight: 49 lbs (19.5 kg)

MAXIMUM RATINGS

Operational temperature: -40 ... +85°C

Maximum system voltage: 1000 V

Design load (+) snow: 4666 Pa (97.5 lbf/sq ft)

Maximum test load (+): 7000 Pa (146 lbf/sq ft)

Design load (-) wind: 2566 Pa (55.6 lbf/sq ft)

Maximum test load (-): 4000 Pa (83.5 lbf/sq ft)

Maximum fuse rating: 25 A

Maximum current: 25 A

* Calculate using a safety factor of 1.5
** See installation manual for mounting instructions

TEMPERATURE DEPENDENCY

Nominal Module Operating Temperature: 44°C (111°F)

Temperature coefficient of P_{mp} : -0.26 %/°C

Temperature coefficient of V_{oc} : -0.26 %/°C

Temperature coefficient of I_{sc} : 0.04 %/°C

* The temperature coefficients do not take into account the effect of irradiance.

LOW LIGHT PERFORMANCE

Typical low irradiance performance of module at STC:

Founded in Norway in 1996, REC is a leading vertically integrated solar energy company. Through integrated manufacturing from silicon to wafers, cells, high-quality panels and extending to solar solutions, REC provides the world with a reliable source of clean energy. REC's renowned product quality is supported by the lowest warranty claim rate in the industry. REC is a Blixen Group company with headquarters in Norway and operational headquarters in Singapore. REC employs around 2,000 people worldwide, producing 1.5 GW of solar panels annually.



1MWh Energy Storage System	
Model No.	ESS1MWH
Battery	
Battery Capacity	1MWh
Battery Type	Lithium Ion Battery
AC Charging	
Input Voltage	400V AC
Power Factor	>0.95 (full load)
Input Frequency	50/60Hz±5Hz
Max Charge Power	500KWH
Max Efficiency	>92%
Output	
Rated Output Power	500KW
Peak Output	600KW
Output Voltage	380VAC
Output Frequency	50Hz / 60Hz
Overload Ability	120% < load < 130% @10min; 130% < load < 150% @10s
UPS Function	YES
On/Off Grid	On & Off Grid
Max Efficiency	>92% (>70% Load)
PV Charge	
Max Input Power	500KW
MPPT Input Voltage	100-500V DC
MPPT Amount	2
MPPT Input Voltage	100-500V DC
Max Input Voltage	500V DC
MPPT Efficiency	99.50%
Max Efficiency	>96%
Solar Charging Mode	MPPT
General	
Working Condition	Relative humidity: 5%~90%
	Temperature: 0~45°C
Production Dimension	40FT container
Packing Dimension	40 FT container
Net Weight	15TONS
Gross Weight	15 TONS

Lähde: <http://www.clenergy.co.uk/battery-storage/containerised-ess/1mw/>