



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Sonja Salo

Merikonttiin rakennetut aurinkoener- gia- ja käänteisosmoosijärjestelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

28.1.2019

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko | Sonja Salo Merikonttiin rakennetut aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmät |
| Sivumäärä Aika | 46 sivua + 4 liitettä 28.1.2019 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Energia- ja ympäristötekniikka |
| Ammatillinen pääaine | - |
| Ohjaajat | Lehtori Tomi Hämäläinen |
| <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, millaisia merikonttiin rakennettuja aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä on olemassa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli myös suunnitella erilaisia merikonttiritkaisuja, joissa aurinkoenergiaa käytetään puhtaan veden tuottamiseen käänteisosmoosin avulla. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle.</p> <p>Opinnäytetyössä tutustuttiin aurinkopaneelien, akkujen ja käänteisosmoosin toimintaperiaatteisiin. Tietoa kerättiin internetistä, erilaisista tietokannoista ja kirjallisuudesta.</p> <p>Selvitystyön perusteella olemassa olevia merikonttiin rakennettuja aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä on jonkin verran, mutta niistä saatavat tiedot ovat melko suppeita.</p> <p>Työn tuloksena syntyi neljä merikonttikokonaisuutta, jotka sisältävät käänteisosmoosilaitteiston, aurinkopaneelit erilaisilla kiinnitysmekanismeilla, akuston sekä muut tarvittavat komponentit. Jokaiselle kontille on laskettu energiantuotanto ja -kulutus.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia perustana muille aiheesta tehtäville opinnäytetöille. Tässä opinnäytetyössä esitellyjä merikonttiritkaisuja voidaan hyödyntää aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmän suunnittelussa ja mitoituksessa.</p> | |
| Avainsanat | aurinkopaneeli, käänteisosmoosi, merikontti |

| | |
|--|--|
| Author Title Number of Pages Date | Sonja Salo Solar energy and reverse osmosis systems in the shipping container 46 pages + 4 appendices 28 January 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Energy and Environmental Engineering |
| Professional Major | - |
| Instructors | Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer |
| <p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine what kind of solar power and reverse osmosis systems built shipping containers are available. The purpose of this thesis was also to design a variety of shipping container solutions that utilize solar energy to produce clean water with reverse osmosis. The client for this thesis was Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>In this thesis the principles of solar panels, batteries and reverse osmosis were examined. Information was collected from the Internet, various databases and literature.</p> <p>The survey work showed, there are some existing solar power and reverse osmosis systems built in shipping containers, but the data on them is quite limited.</p> <p>The result of the thesis was four shipping containers with reverse osmosis equipment, solar panels with various mounting mechanisms, battery and other necessary components. The energy production and consumption of each container has been calculated.</p> <p>The aim of this thesis is to serve as a basis for other theses on the same topic. The shipping container solutions presented in this thesis can be utilized in the design and dimensioning of solar energy and reverse osmosis systems.</p> | |
| Keywords | solar panel, reverse osmosis, shipping container |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Aurinkoenergia | 2 |
| 2.1 | Aurinkopaneeli | 2 |
| 2.2 | Aurinkosähköjärjestelmät | 6 |
| 2.3 | Aurinkosähkön tuotanto | 9 |
| 3 | Akut | 12 |
| 3.1 | Lyijyakut | 14 |
| 3.2 | Litium-ioniakut | 14 |
| 3.3 | Nikkeli-kadmiumakut | 15 |
| 3.4 | Nikkeli-metallihybridiakut | 15 |
| 4 | Vedenkäsittely | 16 |
| 4.1 | Käänteisosmoosi | 16 |
| 4.2 | Käänteisosmoosijärjestelmä | 18 |
| 4.2.1 | Esikäsittely | 19 |
| 4.2.2 | Käänteisosmoosikalvoprosessi | 20 |
| 4.2.3 | Jälkikäsittely | 21 |
| 4.2.4 | Ohjaus- ja mittausjärjestelmä | 22 |
| 5 | Olemassa olevia aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä | 23 |
| 5.1 | Ecosphere Technologies | 23 |
| 5.2 | Elemental Water Makers | 24 |
| 5.3 | Trunz Water Systems (TWS) | 26 |
| 5.4 | AMI Applied Membranes Inc | 27 |
| 6 | Aurinkovoimalla toimiva käänteisosmoosijärjestelmä merikonttiratkaisuissa | 29 |
| 6.1 | Malli 1 | 29 |
| 6.2 | Malli 2 | 32 |

| | | |
|-----|------------|----|
| 6.3 | Malli 3 | 34 |
| 6.4 | Malli 4 | 37 |
| 7 | Yhteenveto | 41 |
| | Lähteet | 42 |

Liitteet

Liite 1. Malli 1:n energiantuotanto ja -kulutus

Liite 2. Malli 2:n energiantuotanto ja -kulutus

Liite 3. Malli 3:n energiantuotanto ja -kulutus

Liite 4. Malli 4:n energiantuotanto ja -kulutus

Lyhenteet ja käsitteet

AC Vaihtovirta eli sähkövirta, jonka suunta muuttuu ajan funktiona.

DC Tasavirta eli sähkövirta, jonka suunta ei muutu.

kVA Kilovoltiampeeri. Näennäistehon yksikkö.

Off-grid Verkkoon kytkemätön.

TW Terawatti. Tehon yksikkö.

V Voltti. Jännitteen yksikkö.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, millaisia siirrettäviä aurinkoenergialla toimivia vedenpuhdistuslaitoksia on olemassa. Lisäksi tarkoituksena on myös suunnitella olemassa olevien ratkaisujen pohjalta erilaisia siirrettäviä aurinkovoimala- ja vedenpuhdistuslaitoskokonaisuuksia, jotka rakennetaan merikontteihin. Työn tilaaja on Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Työn teoriaosuudessa tutustutaan aurinkopaneelien toimintaan ja aurinkosähköjärjestelmän muihin osiin. Lisäksi tarkastellaan erityyppisiä akkuja ja vedenpuhdistusta käänteis-osmoosin avulla.

Työssä esitellään olemassa olevien siirreltävien energiantuotanto- ja vedenpuhdistusjärjestelmiä, niiden toimintaa ja rakenteellisia ratkaisuja sekä tehoja.

2 Aurinkoenergia

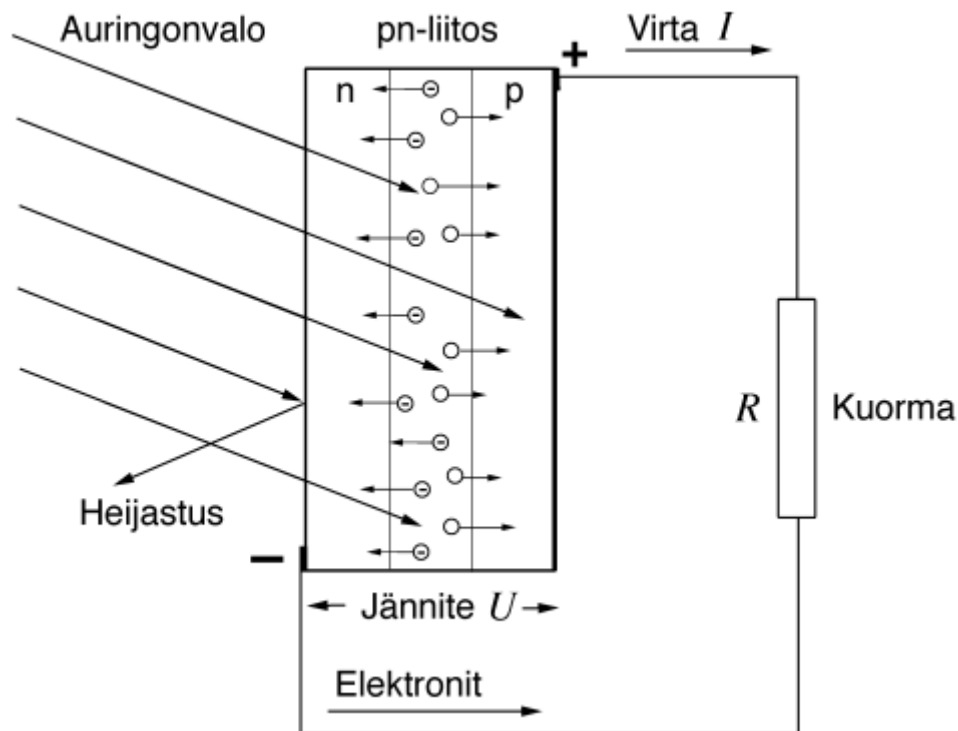
Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa ja kaikki energia maapallolla on peräisin auringosta. Auringosta tulevan säteilyn teho maan pinnalla on noin 170 000 TW. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää lämpöenergiana, mutta sitä voidaan muuttaa myös sähköksi aurinkopaneelien avulla. Aurinkosähkö soveltuu hyvin sellaisiin kohteisiin, joihin sähköverkot eivät ulotu. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi saaristo, erämaat tai mahdollisesti kriisialueet. Aurinkosähkön avulla on tehty kehitysmaissa kastelu- ja juomavesijärjestelmiä sekä sähköistetty kyliä. Aurinkoenergian hyviä puolia on päästöttömyys ja ehtymättömyys, ja sillä pystytään hyvin täydentämään muita energiantuotantomuotoja. Huonoja puolia on aurinkopaneelissa materiaalina käytettävän piin hinta sekä suuret vaihtelut tuotannossa johtuen vuorokauden- ja vuodenajan vaihteluista ja säästä. [1; 2.]

2.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelit koostuvat useista toisiinsa kytketyistä valosähkökennoista eli aurinkokennoista. Aurinkopaneelin tuottama teho riippuu auringonsäteilyn voimakkuudesta. Aurinkokenno muuttaa aurinkoenergian sähköksi, eli niiden toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Yhdessä aurinkokennossa on noin 0,5 V:n jännite. Aurinkopaneelien käyttöikä on noin 30 vuotta. Tehon alenema on noin 0,6 % laadukkailla aurinkopaneelilla. 12 vuoden jälkeen paneelien tehon tuotto on 90 % ja 25 vuoden jälkeen 80 % alkuperäisestä maksimituotosta, minkä jälkeen tehon tuotto pysyy pitkään samana. Vaikka paneelille on luvattu teknistä käyttöikää 30 vuotta, voi paneeli vielä senkin jälkeen tuottaa virtaa, mutta ei kuitenkaan niin suurella teholla. [2; 3; 4; 5.]

Valosähköilmiössä auringonsäteilyn valohiukkaset eli fotonit pääsevät aurinkokennon pintakerroksen läpi PN-liitokseen asti ja samalla irrottavat suuren energiansa ansiosta elektroneja puolijohdemateriaaleista ja luovuttavat energiansa elektroneille. Tämän seurauksena muodostuu elektroniaukkopareja, kun elektronit irtoavat puolijohdeen atomeista. PN-liitoksen lähellä elektroniaukkopareista elektronit siirtyvät N-tyyppin puolijohdeeseen ja aukot P-tyyppin puolijohdeeseen. Puolijohdeella tarkoitetaan materiaalia, jolla on parempi sähköjohtavuus kuin eristeillä mutta huonompi kuin metalleilla. Kennoon syntyy sähkökenttä, jonka takia elektronit voivat kulkea vain P-puolelta N-puolelle. Jotta

elektronit voivat yhdistyä aukkojen kanssa, on elektronien kuljettava ulkoisen johtimen kautta takaisin P-puolelle, jossa sinne kulkeutuneet aukot ovat. Kuvassa 1 on esitetty aurinkokennon toimintaperiaate. [6, s. 1; 7.]



Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate [6].

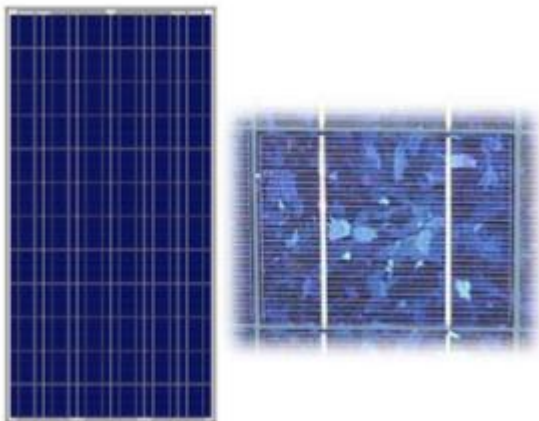
Materiaalina kennoissa käytetään yksikiteistä ja monikiteistä piitä sekä amorfista eli ohutkalvorakenteista materiaalia. Aurinkokennoista noin 90 % on piikidekennoja. Pii on siis yleinen aurinkopaneelien puolijohdemateriaali. Piikidekennot ovat paksuudeltaan 0,2 - 0,3 mm. Yksi- ja monikiteisistä piikennoista puhutaan ensimmäisen polven aurinkokennoina ja niitä on kaupallisessa käytössä. Yksikiteinen pii on kallista. Yksikiteiset kennot muodostuvat pyöreistä piikiekoista ja niiden hyötysuhde on noin 16–24 %. Varjostus pienentää sähköntuotantoa yksikiteisillä niiden rakenteesta johtuen. Kuvassa 2 on yksikiteinen piikenno ja aurinkopaneeli. [6; 7; 8, s. 14.]



Kuva 2. Yksikiteinen aurinkopaneeli ja piikkeno [8, s. 14].

Aurinkopaneelien puolijohdeet ovat saostettuja puolijohdeita. Piin (Si) lisäksi muita käytössä olevia puolijohdeita ovat galliumarsenidi (GaAs). Puolijohdeisiin lisätään seosaineita. N-tyyppin puolijohdeeseen saostetaan sellaista alkuainetta, jolla on enemmän elektroneja kuin N-puolijohdeiden muilla atomeilla. Tällaisen aineena toimii esimerkiksi arseeni. P-tyyppin puolijohdeeseen saostetaan alkuainetta, jolla on vähemmän elektroneita kuin P-tyyppin puolijohdeiden muilla atomeilla. Saostettava aineena käytetään tällöin booria. [7; 9, s. 12.]

Monikiteiset piikennot ovat hieman yksikiteisiä edullisempia ja ne on valmistettu neliskulmaisista aihioista. Niiden hyötysuhde on 14–18 %. Monikiteisillä sähköntuotanto laskee enemmän lämpötilan noustessa kuin muun tyyppisillä aurinkokennoilla. Kuvassa 3 on monikiteinen aurinkopaneeli ja kenno. [6; 7; 8, s. 14.]



Kuva 3. Monikiteinen aurinkopaneeli ja kenno [8, s. 14].

Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat amorfiset eli ohutkalvokennot, jotka voivat olla piitä tai jotakin edullista pohjamateriaalia kuten lasia, muovia tai ruostumatonta terästä, johon on lisätty ohuita kerroksia valoherkkää ainetta. Amorfiset piikennot ovat rakenteeltaan joustavaa. Ohutkalvokennoilla hyötysuhde on noin 9-13 % ja ne keräävät tehokkaammin hajasäteilyä kuin kiteiset piipaneelit. Toisaalta ne päästävät myös auringon valoa helpommin lävitseen kuin piikidekennot, minkä takia auringonsäteilyn hyödyntäminen sähkötuotannossa ei ole niin tehokasta. Piikidekennojen hyötysuhde paranee lämpötilan viiletessä enemmän kuin ohutkalvokennoilla. Kuvassa 4 on amorfinen piikkenno. [6; 7; 8, s. 14.]



Kuva 4. Amorfinen piikkenno [8, s.14].

Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat nanokidekennoja, jotka ovat vielä tutkimus- ja kehitysasteella. Nanokidekennojen toiminta ei perustu PN-liitoksen aiheuttamaan sähkökenttään, vaan kemiallisiin reaktioihin. Nanokidekennossa on nanokokoisia titaanioksidihiuksia, joiden pinnalla on säteilyä absorboivia väriainehiukkasia. Lisäksi titaanioksidihiuksat on käsitelty elektrolyyttiliuoksella. Auringonsäteilyn osuessa väriainehiukkasiin vapautuu elektroneja, jotka siirtyvät ulkoiseen virtapiiriin puolijohtavalta titaanikerrokselta. [8.]

Akkujen tavoin myös keskenään samanlaiset aurinkopaneelit voidaan kytkeä toisiinsa joko sarjaan tai rinnan. Sarjakytkennässä paneelien jännitteet summautuvat. Sarjakytkentää voidaan käyttää, jos paneeleilla on samat virran arvot. Sarjakytkennän hyviä puolia on korkeampi siirtojännite, jonka ansiosta sähkönsiirtohäviöt ovat pienemmät. Rinnankytkennässä virrat summautuvat. Rinnakkain kytkennässä paneeleilla tulee olla samat jännitearvot. Rinnankytkennän hyvänä puolena on se, että yhden paneelin varjostus

ei ole haitaksi muiden paneelien toiminnalle. Rinnankytkennässä paneelit voidaan laittaa eri asentoihin, mutta sarjaan kytkettyjen tulee olla suunnattu samalla tavalla. [10, s. 6.]

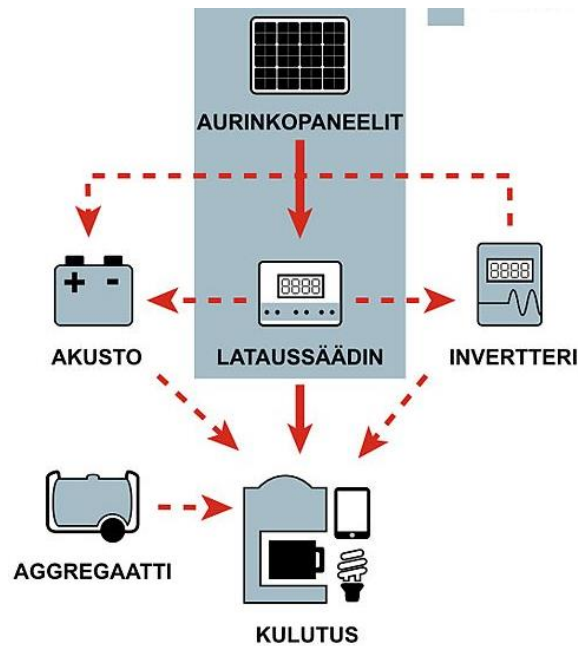
2.2 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmän rakenne riippuu siitä, onko se kytketty valtakunnan sähköverkkoon vai irrallaan sähköverkosta eli saarekejärjestelmä. Maailman aurinkosähköstä lähes kaikki on verkkoon liitettyä kapasiteettia. Verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä on pääkomponenttina ovat aurinkopaneelit ja 1- tai 3-vaiheinen invertteri. Kuvassa 5 on esitelty verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän komponentit. [11, s. 9–10; 12.]



Kuva 5. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän komponentit [12].

Verkosta irrallaan olevia järjestelmiä käytetään mm. mökeillä, veneissä ja tutkimusaseilla. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät merikontit on tarkoitettu saarekejärjestelmään. Koska saarekejärjestelmissä tuotettua sähköä ei johdeta sähköverkkoon, on se varastoitava akkuihin. Kuvassa 6 on esitetty saarekejärjestelmän komponentit. Kuvassa on aggregaatti, jonka tehtävänä on tuottaa sähköä diesel- tai bensiinimoottorin avulla. Aggregaatteja ei ole läheskään kaikissa saarekejärjestelmissä. Se voi olla varalla, jos aurinkopaneelilla ei saada tuotettua riittävästi sähköä. [11, s. 9–10; 13.]



Kuva 6. Saarekejärjestelmän komponentit [13].

Akkuja varten on oltava lataussäädin, jonka tehtävänä on varmistaa, etteivät akut lataudu liikaa. Lataussäädin toimii ohjausyksikkönä saarekejärjestelmässä. Lataussäädin katkaisee myös kulutuslaitteiden jännitesyötön, jos akun varaustila on vaarassa pudota liian alhaiseksi. Lataussäädin tarkkailee akkujen lämpötilaa ja ohjaa akut latautumaan oikeaan jännitteeseen. Lataussäätimessä on pääkytkin ja sulakkeet. Lataussäätimiä käytetään enimmäkseen lyijyakkujen kanssa. Joillakin lataussäätimillä voidaan seurata akkujen varaustilaa (%) ja jännitettä (V), kulutusta (A), latausvirtaa (A) ja yhteenlaskettua latausmäärää (Ah) sekä yhteenlaskettua kokonaiskulutusta (Ah). MPPT-säädin eli maksimitehopisteen seuraaja (Maximum Power Point Tracking) edustaa uutta teknologiaa, ja sen avulla voidaan säätää aurinkopaneelit tuottamaan sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. Kyseistä säädintä voidaan käyttää myös verkkoon kytketyissä järjestelmissä. [11, s. 43, 45.]

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa (DC). Mikäli saarekejärjestelmään on kytketty laitteita, joita ei pysty käyttämään suoraan akkujännitteellä, on aurinkosähköjärjestelmässä oltava invertteri eli vaihtosuuntaaja, joka tuottaa verkkojännitettä. Akun tasajännite on yleensä 12 V ja haluttu verkkojännite 230 V. Invertteri muuttaa siis tasavirran vaihtovirraksi (AC). Invertteriä käytetään myös sähköverkkoon kytketyissä järjestelmissä, jolloin puhutaan verkkoinvertteristä. Verkkoinvertteri kytkee aurinkopaneelit suoraan kiinteistön sähköverkkoon, jolloin aurinkosähkön käyttö kiinteistössä on mahdollista ja ylijäämän

myynti sähköverkkoon onnistuu. Inverttereitä on eri tehoisia. 1,5 -12 kVA:n invertterit soveltuvat kotikäyttöön ja 15 -50 kVA:n maatalo- ja yrityskäyttöön. Aurinkopaneelit kytketään yleensä sarjaan verkkoinvertterin kanssa. Sähköverkkoon kytkettävä invertteri voi olla jo 1- tai 3-vaiheinen. 1-vaiheista käytetään yleensä pienissä sähköjärjestelmissä ja 1-vaiheiliittymissä. 3-vaiheinen on parempi sähköverkon ja kuluttajan puolesta. Invertterin käyttöikä on noin 10–20 vuotta. [11, s. 11; 14; 4.]

Invertterin tärkeisiin ominaisuuksiin kuuluu palo- ja sähköturvallisuus, edullisuus asentaa ja käyttää sekä pitkä käyttöikä. Invertterin tulisi muuntaa aurinkopaneelien sähkö verkko sähköksi hyvällä hyötysuhteella. Hyötysuhde vaihtelee välillä 97,5–98,5 %. Invertterin tulisi tukea sopivaa määrää aurinkopaneeleita. [14.]

Aurinkosähköjärjestelmissä olennaisena osana on kaapelit. On tärkeää valita oikeanlainen kaapeli, jotta vältetään turhilta siirtohäviöiltä. Väärin mitoitettu kaapeli voi aiheuttaa tulipalon erityisesti suurilla virroilla. Kaapelin paksuus määräytyy kaapelin pituuden, siinä kulkevan virran ja suurimman sallitun jännitehäviön perusteella. Aurinkopaneeleilta kulkevan kaapelin on sovelluttava ulkokäyttöön ja kestettävä UV-säteilyä. Maahan kaivettavien on oltava maakaapeleita. [11, s. 56.]

Aurinkosähköjärjestelmissä on oltava myös turvakytin. Verkkoon kytketyssä järjestelmässä turvakytin asennetaan invertterin ja pääsähkökeskuksen väliin, jolloin aurinkosähköjärjestelmä on erotettavissa sähköverkosta. [12.]

Aurinkosähköjärjestelmien huolto ja kunnossapito on melko vaivatonta. Pölyntyneet tai muuten likaantuneet aurinkopaneelit voidaan puhdistaa pehmeällä harjalla ja vedellä. Paneelien päältä kannattaa poistaa mahdolliset roskat, kuten oksat ja puunlehdet, jotka haittaavat paneelien toimintaa alentamalla tehoa. Myös lumi voi estää sähköntuotannon. Lunta ei kuitenkaan kannata poistaa paneelien päältä, jos vaarana on paneelien vaurioituminen. Paneelin lasinen pinta on herkkä murtumiselle. Murtuman kautta paneelin sisälle pääsevä vesi voi vaurioittaa kennoja. Yleensä lumi sulaa tai valuu pois kallistettujen paneelien päältä. Sään aiheuttamille rasituksille kohdistuvat kaapelit ja liittimet on hyvä tarkistaa vuosittain silmämääräisesti ja vaurioituneet tulee vaihtaa uusiin. Invertteri joudutaan yleensä vaihtamaan kerran ja akut vaihdetaan ainakin kerran aurinkopaneelien käyttöikänsä aikana. Akuille on myös hyvä tehdä silmämääräinen tarkastus vuosittain. [15.]

2.3 Aurinkosähkön tuotanto

Aurinkopaneelin tuottama teho saadaan laskettua kaavalla

$$P = UI, \quad (1)$$

jossa P on teho (W), U on jännite (V) ja I on virta (A). Vastaavasti paneelin tuottama energia saadaan laskettua kaavalla,

$$E = Pt, \quad (2)$$

jossa teho kerrotaan ajalla. Sähköenergian yksikkönä käytetään yleensä wattituntia (Wh) tai kilowattituntia (kWh). Aurinkopaneelin hyötysuhde voidaan laskea kaavalla

$$\eta = \frac{P}{SA} * 100 \%, \quad (3)$$

jossa P on paneelin tuottama teho, S on auringonsäteilyn voimakkuus ja A on aurinkopaneelin pinta-ala. Aurinkopaneelin jännite määräytyy siihen kytketyn akun tai muun kuorman perusteella. Kuorman suuruus saadaan laskettua kaavasta

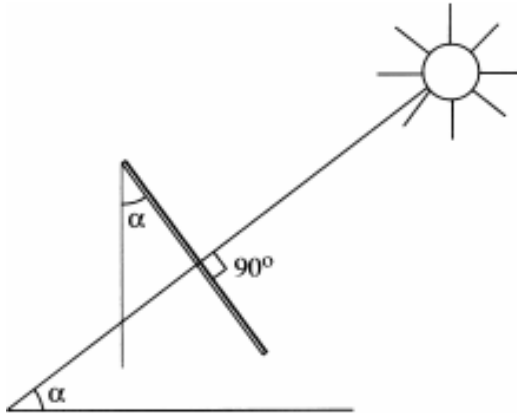
$$R = \frac{U}{I}, \quad (4)$$

jossa R on kuorman resistanssi (Ω), U on aurinkopaneelin napajännite ja I on virta. [6.]

Aurinkopaneelin tehon tuottoon vaikuttaa myös lämpötila. Aurinkopaneelien mitoitus tehdään 25 °C:n lämpötilassa ja paneelin tuotto paranee lämpötilan laskiessa alle 25 asteen. Tuotanto on parempi kevättalvella verrattuna kesän helteisiin. Tuulisessa paikassa aurinkopaneeli pääsee viilenemään, mikä myös parantaa tuotantoa. [16, s. 7.]

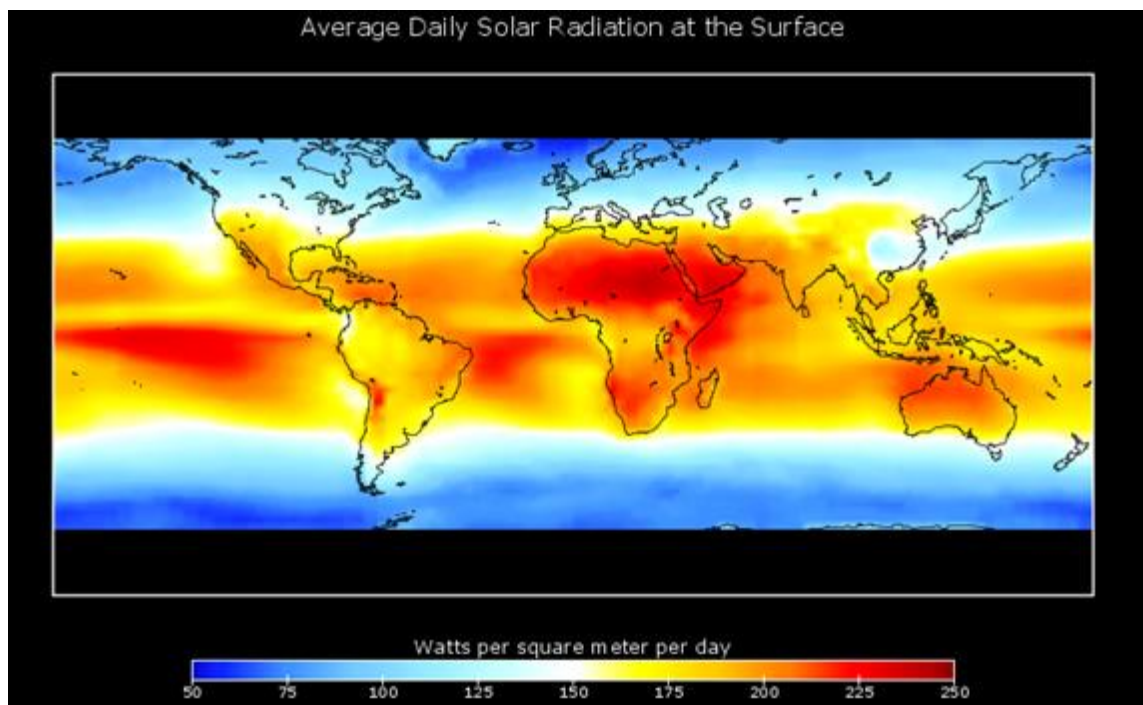
Aurinkopaneelin tehoon vaikuttaa auringonsäteilyn tulokulma. Yleensä aurinkopaneelit asennetaan kohti etelää ja myös niin, että kaltevuuskulma on 45 astetta horisonttiin näh-

den. Auringon korkeus vaihtelee vuorokauden- ja vuodenaikojen mukaan. Kallistuskulmaa muuttamalla sähköntuotantoa saadaan nostettua. Kuvassa 7 on kuvattu aurinkopaneelin kaltevuuskulma aurinkoon nähden. [6; 11, s. 23.]



Kuva 7. Aurinkopaneelin kaltevuus aurinkoon nähden [6].

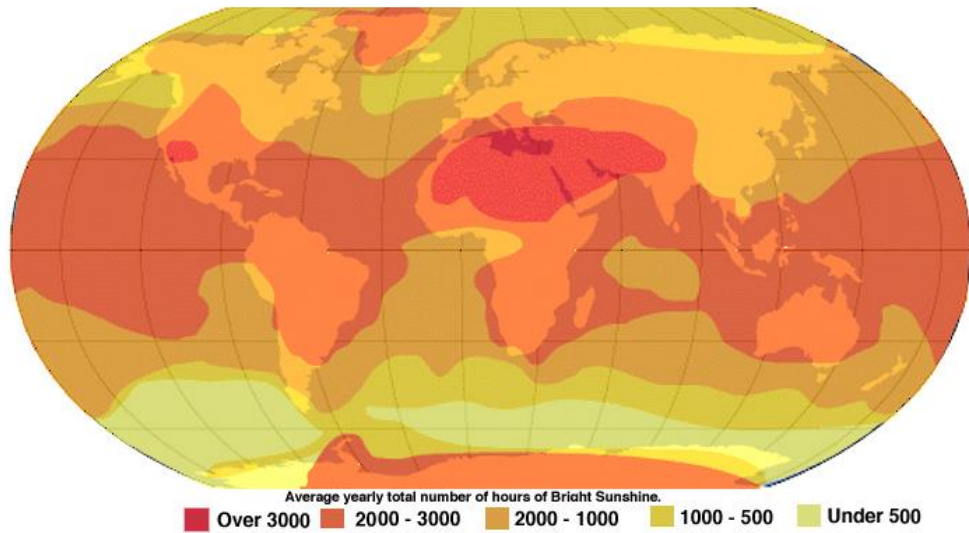
Aurinkopaneelien tuotantoon vaikuttaa myös auringonsäteilyn voimakkuus. Aurinkosähkön käyttöpotentiaali on erittäin suuri monissa kehitysmaissa säteilyn voimakkuuden perusteella. Kuvassa 8 näkyy auringonsäteilyn jakautuminen maapallolla. Auringonsäteilyn teho watteina neliometriä kohden päivässä on merkitty karttaan värein. [17.]



Kuva 8. Auringonsäteilyn jakautuminen maapallolla [18].

Aurinkopaneelien energiantuotantoon ja sen vaihteluun vaikuttaa myös, kuinka monta tuntia päivässä aurinko paistaa. Kuvassa 9 on esitetty keskimääräinen vuosittainen auringonpaistetuntien määrä. [19.]

World sunshine map

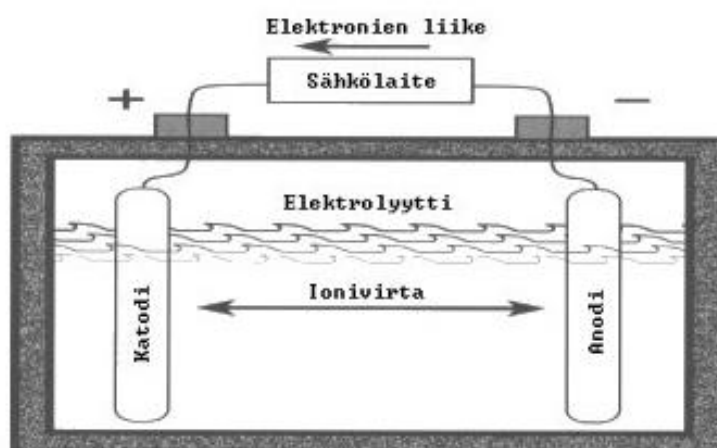


Kuva 9. Keskimääräiset auringonpaistetunnit vuodessa [19].

3 Akut

Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö varastoidaan akkuihin, jos aurinkosähköjärjestelmää ei ole kytketty sähköverkkoon. Akkuihin varastoitua sähköä käytetään öisin tai pilvisellä säällä, jolloin sähköntuotanto aurinkopaneeleilla on vähäisempää. Akkujen mitoittaminen aurinkosähköjärjestelmää varten riippuu siitä, kuinka kauan halutaan järjestelmän toimivan, jos sähköntuotantoa ei ole. Jos sähköjärjestelmä on jatkuvassa käytössä, on akkujen varastoiman energiamäärän hyvä olla tarpeeksi suuri. [2; 11, s. 26.]

Akkukennon toimintaperiaate perustuu sähkökemiallisiin reaktioihin. Akkuun varastoidaan kemiallisesti energiaa, joka voidaan purkaa sähköksi. Kenno koostuu kahdesta elektrodista anodista ja katodista. Kennossa on myös elektrolyytti eli väliaine, jonka tehtävänä on estää elektrodien välinen kontakti ja auttaa ioneja liikkumaan elektrodien välillä. Kemialliset reaktiot ovat hapetus-pelkistysreaktioita, jotka tapahtuvat elektrodien ja elektrolyytin rajapinnassa. Anodilla tapahtuu hapetusreaktio eli elektroneja vapautuu. Vapautuneet elektronit kulkevat ulkoista johdinta pitkin katodille, joka on positiivisesti varautunut. Katodilla tapahtuu pelkistysreaktiot, eli katodin positiiviset ionit vastaanottavat vapaat elektronit. Näin syntyy sähkövirtaa. Kun akkua ladataan, hapetus-pelkistysreaktiot tapahtuvat vastakkaiseen suuntaan. Kuvassa 10 on kuvattu akkukennon toimintaperiaate. Akut koostuvat kuvan 10 kaltaisista pienistä kennoista, joita yhdessä akussa on useita. Pienet kennot on akun sisällä kytketty sarjaan, jolloin saadaan haluttu jännite. [20.]



Kuva 10. Akun toimintaperiaate [20].

Aurinkosähköjärjestelmässä akut voidaan kytkeä sarjaan- tai rinnan. Jos akut kytketään rinnan 12 V:n järjestelmässä, saadaan suuri akkukapasiteetti. Rinnankytkentä siis summaa akkukapasiteetin ampeeritunteina Ah. Tavoitteena on kuitenkin pitää akkujen lukumäärä pienenä, koska akkujen vanhetessa niiden täyttä kapasiteettia ei voida hyödyntää, koska niiden sähköiset ominaisuudet muuttuvat. Puolestaan rinnankytkennässä akut voivat olla erilaisia tai erikokoisia 12 V:n järjestelmässä, mutta tällöin akkujen koko kapasiteettia ei pystytä hyödyntämään täysin. [11, s. 54–55; 21, s.13.]

Akut kytketään sarjaan, jos järjestelmässä käytetään suurempaa nimellisjännitettä. Sarjaan kytkentä summaa jännitteen. Sarjaan kytkennässä on tärkeää, että akut ovat samanlaisia, jotta niiden sähköiset ominaisuudet kuten jännitteet olisivat mahdollisimman samankaltaiset. [11, s. 54–55; 21, s.13.]

Aurinkojärjestelmän akut on hyvä sijoittaa sellaiseen paikkaan, joka on vesisateelta ja auringolta suojassa sekä tuulettu hyvin. Akkuja merikonttiin sijoittaessa tulee ottaa huomioon myös huolto tai niiden mahdollinen vaihto. Akut ovat aurinkosähköjärjestelmässä ensimmäisiä komponentteja, jotka tarvitsevat huoltoa. Akun ja muun sähköjärjestelmän väliin tulee asentaa sulake mahdollisten oikosulkujen varalta. [10.]

Akkuja on erityyppisiä. Avoimissa akuissa elektrodilevyt ovat nestemäisessä elektrolyyttiliuoksessa eli akkuhapossa. Hyytelöakussa elektrolyyttiin on lisätty piiliuosta, jonka takia akkuhappo muuttuu hyytelömäiseksi. Lyijyhyytelöakussa on saman verran akkuhappoa kuin avoimissakin akuissa. Akkuhapon kiinteän hyytelömäisen olomuodon takia elektrodeina toimivat levyt ovat kiinnivalettuja, mikä suojaa niitä iskuilta ja värinältä. AGM-akuissa elektrolyytti eli akkuhappo on imeytetty eristeaineeseen ja levyihin. AGM tarkoittaa imeytettyä lasikuitumattoa (absorbed glass mat). AGM-akuissa on vähemmän akkuhappoa kuin avoimissa akuissa. AGM-akut ovat huoltovapaita, ja niiden käyttöikä on 10-20 vuotta. [22, s.166; 23.]

Akkujen kuljettamisessa on erilaisia rajoituksia, joilla pyritään takamaan turvallisuus. Akkujen oikosulku ja räjähtäminen voivat aiheuttaa vakavia vaaratilanteita. Monet akut luokitellaan kuljetuksen yhteydessä vaarallisiksi aineiksi. Kuljetuksen ajaksi akkujen navat on suojattava sähköä johtamattomalla materiaalilla kipinöinnin tai oikosulkujen estämiseksi. Oikosulut voivat aiheuttaa tulipalovaaran. Akkujen läheisyydessä ei saisi olla

oikosulkuja aiheuttavia materiaaleja. Akut eivät saa päästä liikkumaan tai vaurioitumaan kuljetuksen aikana. Akkuja on erityyppisiä, mistä johtuen kuljetusta koskevissa säädöksissä on eroavaisuuksia. Esimerkiksi litiumakkujen kuljetus lentokoneella on täysin säädeltyä ja ne tarvitsevat YK:n määräyksien mukaisen kuljetuspakkauksen. Lisäksi niiltä vaaditaan vaarallisten aineiden sopimus. [24, s. 2, 4, 11.]

3.1 Lyijyakut

Lyijyakut ovat aurinkosähköjärjestelmissä yleisiä. Ne ovat edullisia ja niissä on suuri lataus- ja purkuvirta. Lyijyakulla on hyvä pakkasenkesto ominaisuus. Täyteen ladattu akku kestää $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja puolillaan oleva $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aurinkosähköjärjestelmissä olisi suositeltavaa käyttää AGM- ja lyijyhyytelöakkuja. Ne ovat hieman kalliimpia, mutta niiden tekninen käyttöikä on pidempi. [11, s.51.]

Lyijyakussa positiivisena elektrodina toimii lyijydioksidi (PbO_2) ja negatiivisena elektrodina puhdas lyijy. Elektrolyytinä käytetään veteen liuennutta rikkihappoa (H_2SO_4). Akkuneste sisältää siis vapaita vetyioneja (H^+) ja sulfaatti-ioneja (SO_4^{2-}). Tällainen akku on siis avoin lyijyakku. Lyijyakut voivat olla myös AGM-akkuja tai lyijyhyytelöakkuja. Lyijyakkujen energiatiheys on noin 30 Wh/kg . [22, s. 166; 25, s. 23.6; 26.]

3.2 Litium-ioniakut

Litium-ioniakkujen toinen elektrodi on valmistettu litiumoksidista. Toinen elektrodi voi olla mangaani- tai kobolttioksidia, alumiinia, nikkeliä, titanaattia, polymeeriä tai näiden aineiden seoksia. Elektrolyytinä toimii etyleenikarbonaatti. Litiumakkukennolla on muihin akkutyyppihin verrattuna suurempi nimellisjännite ja suuri kapasiteetti painoonsa nähden. Litiumioniakulla on siis suuri energiatiheys. Litiumioniakku on herkkä syväpurkaukselle ja ylilataukselle. Erityisesti ylilatautuminen voi olla vaarallista, koska akun sisälle muodostuu lämpöä ja painetta. Litiumioniakkujen katodimateriaalina käytetään yleensä kobolttia tai jotain muuta oksidia, joka ylilatautumisen seurauksena muuttuu epävakaaaksi vapauttaen happea, mikä johtaa akkumateriaalien hapettumiseen. Hapettumisessa syntyy lämpöenergiaa. Ylilatautunut akku voi räjähtää. Myös mekaaninen vahingoittuminen tai valmistusvirhe voivat aiheuttaa akun syttymisen tai räjähtämisen. [26; 27, s. 17.]

3.3 Nikkeli-kadmiumakut

Nikkeli-kadmiumakkujen elektrodit ovat kadmiumia ja nikkelihydroksidia. Elektrolyytinä toimii vahva emäksinen kaliumhydroksiliuos. Nikkeli-kadmiumakuilla energiatiheys on 50 Wh/kg. Näiden akkujen hyviä puolia on pitkä käyttöikä, suuri virranantokyky ja se, että ne toivat laajalla lämpötila-alueella. Huonoja puolia on kapasiteettiä pienentävä muisti-ilmiö, jota esiintyy jossain akkutyypeissä. Lisäksi akkujen sisältämä kadmium on erittäin myrkyllistä ja käsitellään ongelmajätteenä. [26.]

3.4 Nikkeli-metallihybridiakut

Nikkeli-metallihybridiakuissa eli NiMH-akuissa elektrodit ovat nimensä mukaisesti valmistettu nikkelihydroksidista ja metallihybridistä. Elektrolyyttiliuksena on kaliumhydroksidi. Nikkeli-metallihybridiakkujen energiatiheys on 60 Wh/kg eli suurempi kuin lyijyakuilla. NiMH-akkujen kapasiteetti on suuri, mutta niiden käyttöikä on lyhyempi ja lämpötilaherkkyys suurempi kuin nikkeli-kadmiumakuilla. Lisäksi NiMH-akkujen virranantokyky on matalampi. [26.]

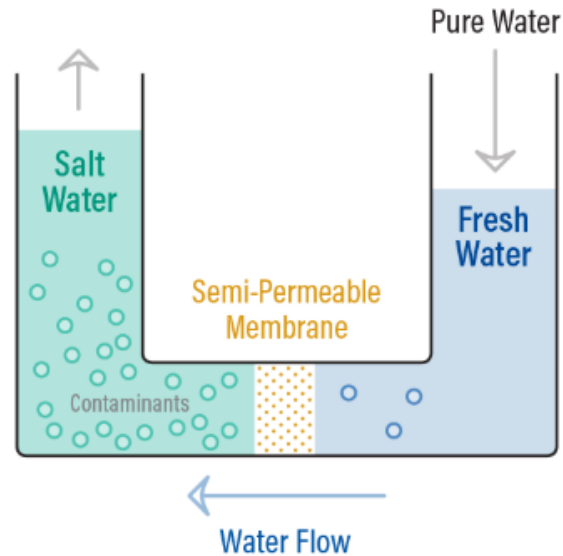
4 Vedenkäsittely

Puhdas vesi on ihmisille elinehto. Ihmisen vedentarve on 1-4 litraa päivässä, ja tästä puolet tulee juomavedestä ja puolet ruoasta. Toisin sanoen ihminen tarvitsee noin 2 litraa puhdasta juomavettä päivässä. Vettä tarvitaan myös peseytymiseen. UNICEF:in antamien suositusten mukaan jokaisella ihmisellä tulisi olla vuorokaudessa käytössään 15-20 litraa vettä pysyäkseen terveenä ja elossa. Kehitysmaissa vedenkulutus jää kuitenkin alle suositusten eli noin 10-15 litraan henkilöä kohden. Maailmassa 1,1 miljardia ihmistä on vailla kunnollista juomavettä. Likainen juomavesi onkin suurin terveysriski kehitysmaissa. Tässä opinnäytetyössä merikontin käänteisosmoosilaitteisto ja sen vedentuotto mitoitetaan täyttämään ihmisen päivittäinen juomaveden tarve. [28.]

Vedenkäsittelyllä tarkoitetaan pinta- tai pohjaveden puhdistamista juomakelpoiseksi. Myös merivettä voidaan puhdistaa juomavedeksi. Vedenkäsittelymenetelmät voidaan jakaa kemiallisiin, biologisiin ja mekaanisiin puhdistusmenetelmiin. Esimerkkejä vedenpuhdistusmenetelmistä ovat mekaaniset ja kemialliset suodattimet, ultravioletidesinfiointi, suolanpoisto ja kemikaalit. Vedenkäsittelymenetelmä valitaan veden laadun ja li-kaisuuden perusteella. Tässä opinnäytetyössä keskitytään käänteisosmoosiin vedenkäsittelymenetelmänä. Pohja- ja pintavesien puhdistuksessa menetelmät eroavat toisistaan. Juomaveden tulee täyttää tietyt kemialliset, mikrobiologiset ja aistinvaraiset kriteerit. Tällaisia tekijöitä ovat alkaliteetti, fluoridi, haju, maku, koliformiset bakteerit, kovuus, pH, rauta ja sameus sekä sähkönjohtavuus. [29; 30.]

4.1 Käänteisosmoosi

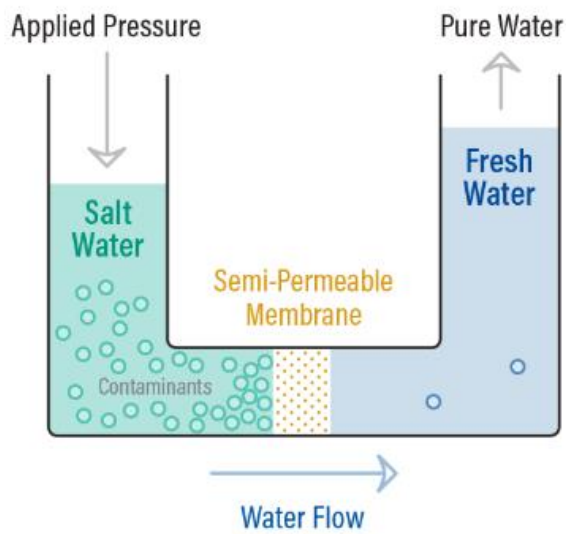
Ymmärtääkseen käänteisosmoosin toimintaperiaatteen on hyvä tietää, miten osmoosi toimii. Osmoosi on täysin fysikaalinen prosessi, jossa vähäsuolaiset nesteet pyrkivät sekoittumaan runsassuolaisen nesteen kanssa, jotta suolapitoisuus olisi sama. Jos kaksi eripitoista nestettä erotetaan puoliläpäisevällä kalvolla toisistaan, niin laimeampi neste siirtyy kohti väkevämpää nestettä. Kahden nesteen välistä suolapitoisuuden eroa sanotaan osmoottiseksi paineeksi. Kuvassa 11 on esitetty veden kulkusuunta osmoosissa. [31; 32.]



Kuva 11. Veden virtaus osmoosissa. [31].

Käänteisosmoosi (RO, Reverse osmosis) on osmoosin päinvastainen prosessi. Osmoosi tapahtuu luonnollisesti eikä siihen tarvita energiaa, kun puolestaan käänteisosmoosin tapahtumiseksi vaaditaan energiaa. Käänteisosmoosissa suolainen ja epäpuhtauksia sisältävä vesi johdetaan korkeammassa paineessa suodattavalle puoliläpäisevälle kalvolle. Puoliläpäisevästä kalvosta vesimolekyylit (H_2O) pääsevät kulkeutumaan sen toiselle puolelle, mutta liuenneet suolat, raskasmetallit, virukset, kemikaalit, bakteerit ja orgaaniset aineet jäävät kalvoon. Myös veden sisältämä happi (O_2) ja hiilidioksidi (CO_2) läpäisevät kalvon, minkä takia veden happipitoisuus säilyy. Suodattunutta nestettä kutsutaan permeaatiksi ja jäljelle jäänyt tiivistynyt nestettä konsentraatiksi. 1–2 % veteen liuenneista aineista kuitenkin läpäisee kalvon. Jotta jäännöskonsentraatti saataisiin mahdollisimman pieneksi, voidaan asentaa esimerkiksi useampia käänteisosmoosilaitteita peräkkäin. Kuvassa 12 näkyy veden kulkusuunta käänteisosmoosissa. [31; 32.]

Puoliläpäisevä kalvo sallii atomien tai molekyylien läpäisyn. Teollisessa käytössä puoliläpäisevät kalvot valmistetaan yleensä polyamidista tai polysulfonista. Kalvot toimivat nesteen pH:n ollessa 2–12. [31; 32.]

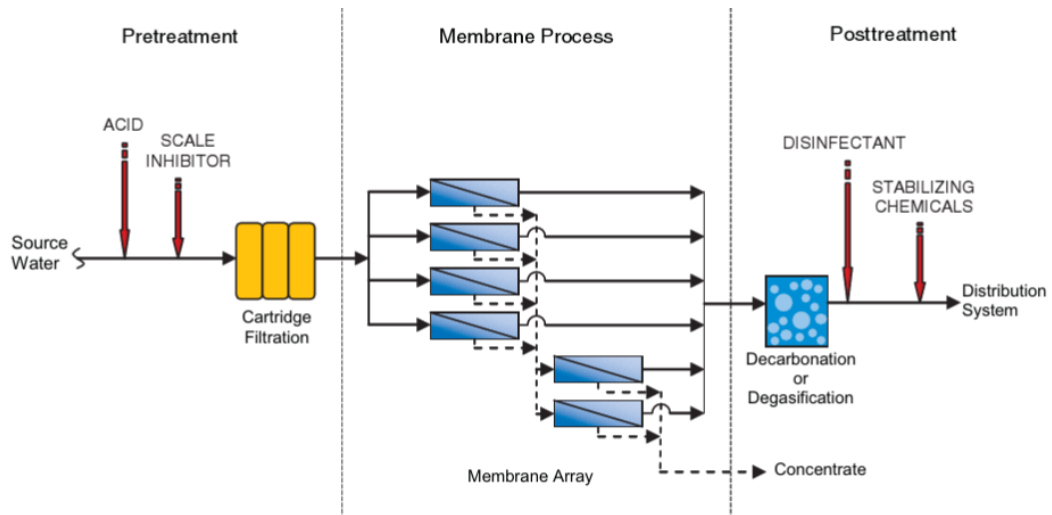


Kuva 12. Veden virtaus käänteisosmoosissa [31].

Ennen kuin vesi johdetaan käänteisosmoosilaitteeseen, on vedestä suodatettava suurimmat hiukkaset mekaanisen suodattimen avulla. Näin ehkäistään käänteisosmoosikalvon tukkeutuminen. Myös veden pehennys voi olla tarpeen, etteivät kalkkisaostumat tuki kalvoa. [32.]

4.2 Käänteisosmoosijärjestelmä

Tässä kappaleessa käsitellään käänteisosmoosijärjestelmään kuuluvia vaiheita ja komponentteja. Kuvassa 13 on tyypillinen käänteisosmoosijärjestelmä, joka koostuu kolmesta erillisestä osajärjestelmästä: esikäsittelystä, kalvoprosessista ja jälkikäsittelystä. [33, s. 6.]



Kuva 13. Käänteisosmoosijärjestelmä [33, s. 7.]

4.2.1 Esikäsittely

Veden esikäsittely on tärkeää käänteisosmoosikalvojen tehokkuuden ja pitkäikäisyyden säilyttämiseksi. Veden esikäsittelyn merkittävänä osana ovat suodattimet. Suodattimet estävät korkeapainepumpun ja käänteisosmoosikalvojen tukkeutumisen poistamalla suurimmat partikkelit ja epäpuhtaudet raakavedestä. Suodattimet sijaitsevat ennen korkeapainepumppua ja kalvoelementtejä. Suodattimia on monen tyyppisiä, kuten hiekkasuodattimet, membraani- eli kalvosuodattimet ja aktiivihiiisuodattimet. Hiekkasuodattimissa vesi johdetaan paineistetussa säiliössä kolmikerroksisen hiekkapatjan läpi. Membraanisuodattimet voidaan luokitella huokoskoonsa perusteella eri luokkiin. Mikro-suodatuksessa hiukkaskoko on $<1,0 \mu\text{m}$, ultrasuodatuksessa $<0,01 \mu\text{m}$ ja nanosuodatuksessa $<0,001 \mu\text{m}$. Aktiivihiiisuodattimien toiminta perustuu adsorptioon eli ne sitovat esimerkiksi orgaanisia yhdisteitä. Aktiivihiiisuodattimia käytetään ultrasuodatuksen kanssa. [32; 33, s. 26, 28; 34, s. 22–23.]

Esikäsittelyprosessiin saattaa kuulua koagulaatio ja flokkulaatio. Koagulanttia syötetään veteen poistamaan suurimpia epäpuhtauksia, ja niiden toiminta perustuu varausten neutraloimiseen. Kun negatiivisesti varautuneet epäpuhtaat partikkelit neutraloituvat, ne pääsevät toistensa lähelle muodostaen flokkeja, jotka on helppo erotella vedestä esimerkiksi suodattimien avulla. Koagulantti syötetään yleensä ennen hiekkasuodatinta.

Koagulantti on epäorgaaninen molekyyli kuten FeCl_3 tai kationinen orgaaninen polymeeri kuten polyamiini. Flokkulantit toimivat samalla tavalla kuin koagulantit. [34, s. 21.]

Desinfiointi on yksi esikäsitteilymenetelmä. Veteen voidaan syöttää vahvaa oksidanttia esimerkiksi klooria, joka tuhoaa veden mikrobeja ja biologista kasvustoa, josta voi olla haittaa käänteisosmoosikalvoille. Veteen lisätty kloori on kuitenkin haitallista polyamidisille käänteisosmoosikalvoille, joten kloori tulee poistaa vedestä aktiivihiihisuodattimien avulla ennen kalvoprosessia. [34, s. 23.]

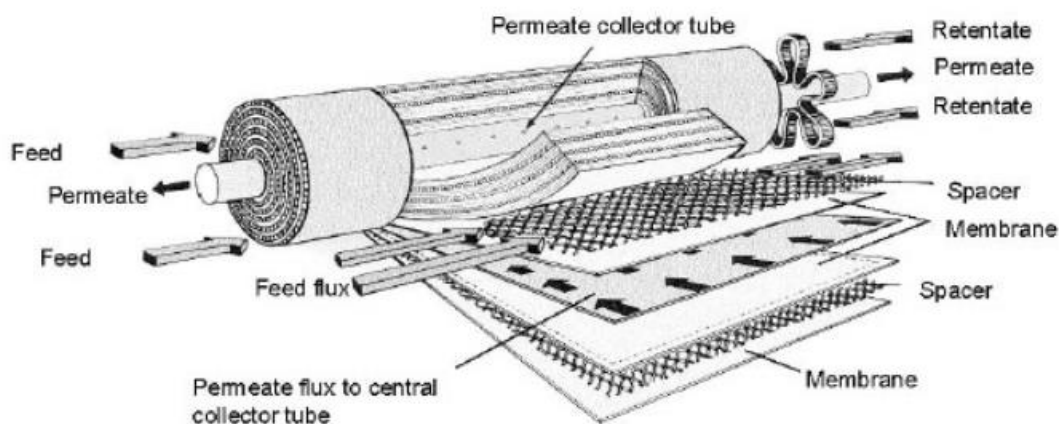
Raakaveden pH:ta voidaan muuttaa käänteisosmoosille optimaaliseksi hapon tai emäksen avulla. pH:n laskeminen estää kalsiumkarbonaatin kiteytymisen ja puolestaan pH:n nostolla voidaan alentaa metallien liukoisuutta veteen. pH:n säädössä käytettyjä kemikaaleja ovat suolahappo (HCl) ja rikkihappo (H_2SO_4). [34, s. 23–24.]

4.2.2 Käänteisosmoosikalvoprosessi

Korkeapumppu on käänteisosmoosijärjestelmän peruskomponentti. Korkeapainepumpun tehtävä on nostaa vedenpaine osmoottista painetta korkeammaksi. Korkeapainepumpulla suolapitoinen vesi pumpataan käänteisosmoosikalvoelementeille. Korkeapainepumpun on toimittava keskeytymättömästi, ja sen aiheuttaman veden virtauksen kohti käänteisosmoosikalvoa on oltava tasainen. Korkeapainepumppu on siis tärkeä mitoittaa tuottamaan tarvittava virtausnopeus halutussa paineessa erilaisissa käyttöolosuhteissa käänteisosmoosikalvon käyttöiän ajan. Korkeapainepumppu on käänteisosmoosijärjestelmässä eniten energiaa kuluttava ja näin ollen myös käyttökustannuksia eniten aiheuttava komponentti, joten energiatehokkuus on olennaisen tärkeää koko käänteisosmoosijärjestelmälle. Korkeapainepumput ovat yleensä keskipakopumppuja. [35, s. 86.]

Käänteisosmoosikalvot sijaitsevat paineputkien sisällä, ja kalvoelementti muodostuu kolmesta erilaisesta päällekkäin spiraalimaisesti kierretystä kalvosta. Kuvassa 14 on spiraalirakenteinen kalvoelementti. Kalvoelementin kolme kalvoa ovat suodatinkalvo, spacer- ja permeaatin kantajakalvo. Suodatinkalvossa tapahtuu epäpuhtauksien erotus permeaatista. Suodatinkalvot valmistetaan selluloosa-asetaatista, polyamidista tai polysulfonista. Spacer-kalvon tehtävä on luoda tilaa, ja se on rakenteeltaan verkkomainen.

Suodattunut vesi eli permeaatti kulkee kantajakalvoa pitkin ja päättyy lopulta spiraalin keskellä olevaan keräysputkeen. [35, s.41–47; 34, s. 11.]



Kuva 14. Spiraalirakenteinen käänteisosmoosikalvoelementti [34, s. 12].

Käänteisosmoosikalvojen puhdistusta varten on CIP-laitteisto, joka sijaitsee kalvoelementtien vieressä. CIP-laitteisto (Clean In Place) kierrättää kalvoilla kemikaaleja sisältävää pesuliuosta. Käytetty kemikaali on yleensä suolahappo (HCl) tai natriumhydroksidi (NaOH). Laitteistoon kuuluu pesuliuossäiliö, syöttöpumppu, putkisto, venttiilit ja kertakäyttöiset panossuodattimet. Laitteistoon kuuluu myös mittareita, jotka mittaavat pesuliuoksen lämpötilaa, pH:ta, virtausta ja painetta. [34, s. 17.]

4.2.3 Jälkikäsittely

Käänteisosmoosijärjestelmässä permeaatti yleensä jälkikäsitellään, jotta varmistetaan riittävä desinfiointi juomavesidirektiivin mukaisesti ja korroosion estämiseksi veden jakelujärjestelmissä. Jälkikäsittely voi sisältää tavanomaisen juomaveden käsittelyyn liittyviä vaiheita kuten ilmanpoistoa, kaasun poistoa, pH:n säätöä, korroosionestoaineiden lisäämistä ja fluorointia sekä desinfiointia. Puhdistettu vesi voidaan pumpata siirtopumpulla suoraan käyttö kohteeseen tai säilöä puhtasvesisäiliössä. [33, s. 6, 59–60.]

4.2.4 Ohjaus- ja mittausjärjestelmä

Käänteisosmoosiprosessin valvonta ja hallinta tapahtuu ohjaus- ja mittausjärjestelmän avulla. Prosessin valvonnalla voidaan estää laitteiston likaantumista ja tunnistaa mahdolliset ongelmat aikaisessa vaiheessa. Oikeanlaisella järjestelmän ylläpidolla ja valvonnalla voidaan maksimoida käänteisosmoosikalvojen käyttöikä. Käänteisosmoosilaitteet on yleensä valmistettu täysin automaattisiksi. Ohjausyksiköllä voidaan muuttaa asetuksia ja käsitellä virhetilanteita. Ohjausyksikössä sijaitsee myös pääkytkin. Kuvassa 15 on esimerkkinä Aquanovan käänteisosmoosilaitteiston ohjausyksikkö. Kyseiseen ohjausyksikköön on kytketty veden varastosäiliön pintakytkin, joka kontrolloi veden määrää. Veden pinnan laskiessa laitteisto alkaa tuottamaan lisää puhdasta vettä. [33, s. 168; 36.]



Kuva 15. Aquanovan käänteisosmoosilaitteiston ohjausyksikkö [36].

Ohjausyksiköllä voidaan seurata veden esikäsittely- ja käänteisosmoosikalvoprosesseja, biologisia prosesseja sekä laitteiston kalibrointia. Mittausjärjestelmän avulla saadaan selville esikäsittelyprosessissa syöttöveden hiukkasten määrä ja veteen liuenneiden aineiden pitoisuuksia. Käänteisosmoosikalvoprosessista järjestelmä mittaa esimerkiksi veden virtausta, painetta, sähkönjohtavuutta, lämpötilaa ja pH:ta. Biologisista tekijöistä mitataan esimerkiksi klooripitoisuutta. Mittausjärjestelmälle ja laitteistolle on suoritettava kalibrointi säännöllisin väliajoin. [33, s. 170.]

5 Olemassa olevia aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä

Maailmalla on kehitetty erilaisia aurinkovoimalla toimivia käänteisosmoosijärjestelmiä pienistä liikkuvista yksiköistä aina suuriin merikonttijärjestelmiin asti. Tässä työssä keskitytään erityisesti merikontteihin rakennettuihin järjestelmiin ja tässä luvussa esitellään eri yritysten valmistamia ratkaisuja. Siirrettäviä aurinkovoimalla toimivia käänteisosmoosijärjestelmiä on suunniteltu monenlaisiin käyttökohteisiin kuten kriisi- ja luonnonkatastrofialueille, armeijakäyttöön, syrjäisille seuduille, joissa ei ole sähköverkkoa esimerkiksi saariin, teollisuuden käyttöön sekä siirrettäville kenttäsaaraloille. [37.]

Siirrettävien aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmien ominaisuuksiin ja etuihin kuuluu niiden monipuolinen soveltuvuus monenlaisiin käyttökohteisiin. Niitä voidaan siirtää ja kuljettaa paikasta toiseen junalla, laivalla tai lentokoneella. Merikontteihin rakennetut järjestelmät ovat kestäviä ja komponentit ovat hyvin suojassa kuljetuksen aikana. Etuihin kuuluu myös niiden nopea käyttöönotto. Kun konttijärjestelmä on sijoitettu halutulle paikalle, voidaan aurinkopaneelit asentaa heti, jolloin järjestelmä saadaan käyttöön muutamassa tunnissa. Tärkeä ominaisuus konttiratkaisuilla on uusiutuvan energian hyödyntäminen. Aurinkovoiman lisäksi järjestelmissä voidaan käyttää myös tuulivoimaa. [38.]

5.1 Ecosphere Technologies

Ecosphere Technologies on innovatiivinen amerikkalainen yritys, joka valmistaa ympäristöratkaisuja globaaleille markkinoille. Yrityksen tavoitteena on auttaa puhtaan energiantuottajia parantamaan vesivarojensa, laadun ja valmistuskustannusten hallintaa tarjoamalla tehokkaita vesivarojen kierrätysjärjestelmiä. Yritys auttaa teollisuutta lisäämään tuotantoa, vähentämään kustannuksia ja suojelemaan ympäristöä. Ecosphere Technologies on kehittänyt patentoidun Ecos PowerCube -järjestelmän. Ecos PowerCube on maailman suurin siirrettävä aurinkovoimalla toimiva generaattori, joka tuottaa energiaa sähköverkon ulkopuolella olevissa kaikkein syrjäisimmissä paikoissa. PowerCube toimii suuritehoisilla aurinkopaneeleilla ja energia varastoidaan kontissa oleviin akkuihin. PowerCubeen voidaan yhdistää myös tuulivoimaa. Kuvassa 16 on Ecos PowerCube. [38; 39.]



Kuva 16. Ecos PowerCube [38].

PowerCube on itsenäinen omavarainen voimalaitos, joka soveltuu erityisesti sotilas- ja katastrofialueille. Se on sijoitettu tavalliseen merikonttiin, jonka takia sen kuljetus on helppoa maalla, meressä ja ilmassa. PowerCube on heti käyttövalmis, ja sillä saadaan tuotettua jopa 15 kW sähköä. Aurinkopaneelit avautuvat ulos kontista automatisoidulla hydraulisella toimilaittejärjestelmällä. Tuotettua sähköä voidaan hyödyntää viestintäjärjestelmiin, vedenpuhdistukseen ja -jakeluun. Sähköä voidaan hyödyntää myös ulkoisissa järjestelmissä kuten sairaaloissa ja kouluissa. [38.]

5.2 Elemental Water Makers

Elemental Water Makers on vuonna 2012 perustettu hollantilainen start-up-yritys, joka pyrkii ratkaisemaan makean veden niukkuutta hyödyntämällä vain uusiutuvaa energiaa. Yrityksen tavoitteena on tarjota uusiutuvalla energialla toimivia suolanpoistoratkaisuja makean veden tuotannolle. Tarkoituksena on saada pitkän aikavälin kestävä ratkaisu vesihuollolle. [40.]

Elemental Water Makers on kehittänyt aurinkoenergialla toimivan käänteisosmoosijärjestelmän, jota tukemassa on akut. Ratkaisussa on yhdistetty huippuluokan aurinkopaneelit ja akkuteknologia, mikä mahdollistaa tehokkaan käänteisosmoosin samalla mini-moiden akkujen koon. Järjestelmässä käytetyt akut eivät vaadi kunnossapitoa ja niillä on pitkä käyttöikä. Kuvassa 17 on Elemental Water Makersin plug & play off-grid -ratkaisu. [41.]



Kuva 17. Elemental Water Makersin Plug & Play -konttijärjestelmä [41].

Myös Plug & play off-grid -ratkaisu on konttiin rakennettu, ja se voidaan ottaa käyttöön muutamassa päivässä. Aurinkopaneelit asennetaan kontin päälle. Järjestelmä on varustettu kauko-ohjausvalvonnalla ja suunniteltu yksinkertaiseen käyttöön. Järjestelmän kaikki komponentit on suunniteltu kestäämään syövyttäviä ympäristöolosuhteita, mikä takaa järjestelmän pitkän iän. Päivisin järjestelmä käyttää suoraan aurinkopaneelien tuottamaa energiaa ja öisin akkuihin varastoitua energiaa. [41.]

| | | | |
|---|--|--|--|
| Footprint indication | 5 m ³ /day 1,320 gallon/day | 50 m ³ /day 13,200 gallon/day | 200 m ³ /day 52,840 gallon/day |
| Solar panels m ² (ft ²) | 19 m ² (205 ft ²) | 190 m ² (2,050 ft ²) | 760 m ² (8,180 ft ²) |
| Battery capacity kWh | 9 | 90 | 360 |
| Option 1: Container type ft | 10 ft | 40 ft | 2 x 40 ft |
| Option 2: Desalination footprint m ² (ft ²) | 5 m ² (54 ft ²) | 17 m ² (183 ft ²) | 34 m ² (366 ft ²) |

Kuva 18. Makean veden tuottamiseen aiheuttama ekologinen jalanjälki eri kokoisilla konteilla [41].

Kuvassa 18 on vertailtu makean veden tuottamisen takia muodostuvaa ekologista jalanjälkeä erikokoisilla konttityypeillä sekä vaihtelevalla akkukapasiteetilla ja aurinkopaneelien pinta-alalla. Ekologinen jalanjälki on eri kuin hiilijalanjälki. Ekologisella jalanjäljellä tarkoitetaan, kuinka paljon maa-alaa tarvitaan tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen sekä niiden aiheuttamien jätteiden ja päästöjen käsittelyyn sekä metsäalaa hiilidioksidin sitomiseen. Ekologista jalanjälkeä mitataan yleensä hehtaareina, mutta myös muillakin pinta-alan yksiköillä. Hiilijalanjäljellä puolestaan mitataan ilmastokuormaa, joka syntyy tuotteen, toiminnan tai palvelun takia. Toisin sanoen se kertoo, kuinka paljon kasvihuonekaasuja syntyy tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana. Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään massaa ja yksikkö ilmoitetaan kohteesta riippuen joko grammoina, kiloina tai tonneina. Yleisesti käytetään hiilidioksidiekvivalenttia eli kasvihuonekaasupäästöjen yhteismittaa. Hiilidioksidiekvivalentin avulla voidaan laskea kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. [41; 42; 43; 44.]

5.3 Trunz Water Systems (TWS)

Trunz Water Systems on sveitsiläinen yritys, jonka tavoitteena on tarjota tehokkaita ratkaisuja juomaveden toimittamiseen haastavissa olosuhteissa. Lisäksi yritys jakaa tietoa ja antaa teknistä tukea ja asennusapua. Yrityksen vedenpuhdistus- ja suolanpoistoyksiköitä on asennettu yli 1000 maailmanlaajuisesti. [45.]



Kuva 19. TBC [46].

Trunz Water Systemsin vedenpuhdistus- ja suolanpoistoyksiköistä suurimpiin kuuluu malli TBC. TBC:llä voidaan tuottaa puhdasta vettä jopa 1 200 litraa tunnissa. Tuotteella voidaan puhdistaa vettä lähteistä, joista, järvistä ja meristä. TBC on CE-merkitty ja täyttää standardit 9001:2008 ja 14001. TBC on esitetty kuvassa 19. [46.]

TWS:n tuote TBC 100 asennettiin Arabiemiraateissa sijaitsevalle syrjäiselle maatilalle tuottamaan kasteluvettä murtovedestä, joka ei sellaisenaan sovellu kasteluun. TBC 100:lla on murtovedenyksikkö, joka pystyy käsittelemään murtovettä jopa 1 400 l/h. TBC:ssä on energian talteenottopumppu, jonka ansiosta käänteisosmoosijärjestelmä pystyy tuottamaan puhdasta vettä alhaisella 2,7 kWh:n energiankulutuksella. Kohteessa raakaveden lähde sijaitsi 20 metrin päässä ja vesi pumpattiin puhdistusyksikölle syöttöpumpun avulla. [47.]

5.4 AMI Applied Membranes Inc

Applied Membranes Inc on amerikkalainen yritys, joka valmistaa erilaisia vedenpuhdistus järjestelmiä kuten käänteisosmoosi- ja meriveden suolanpoistolaitteita, ultrasuodattimia ja muita veden kalvokäsittelytekniikoita. Yrityksen laitteita on asennettu yli 20 000 maailmalaajuisesti. [48.]



Kuva 20. Aurinkovoimalla toimiva käänteisosmoosijärjestelmä [49].

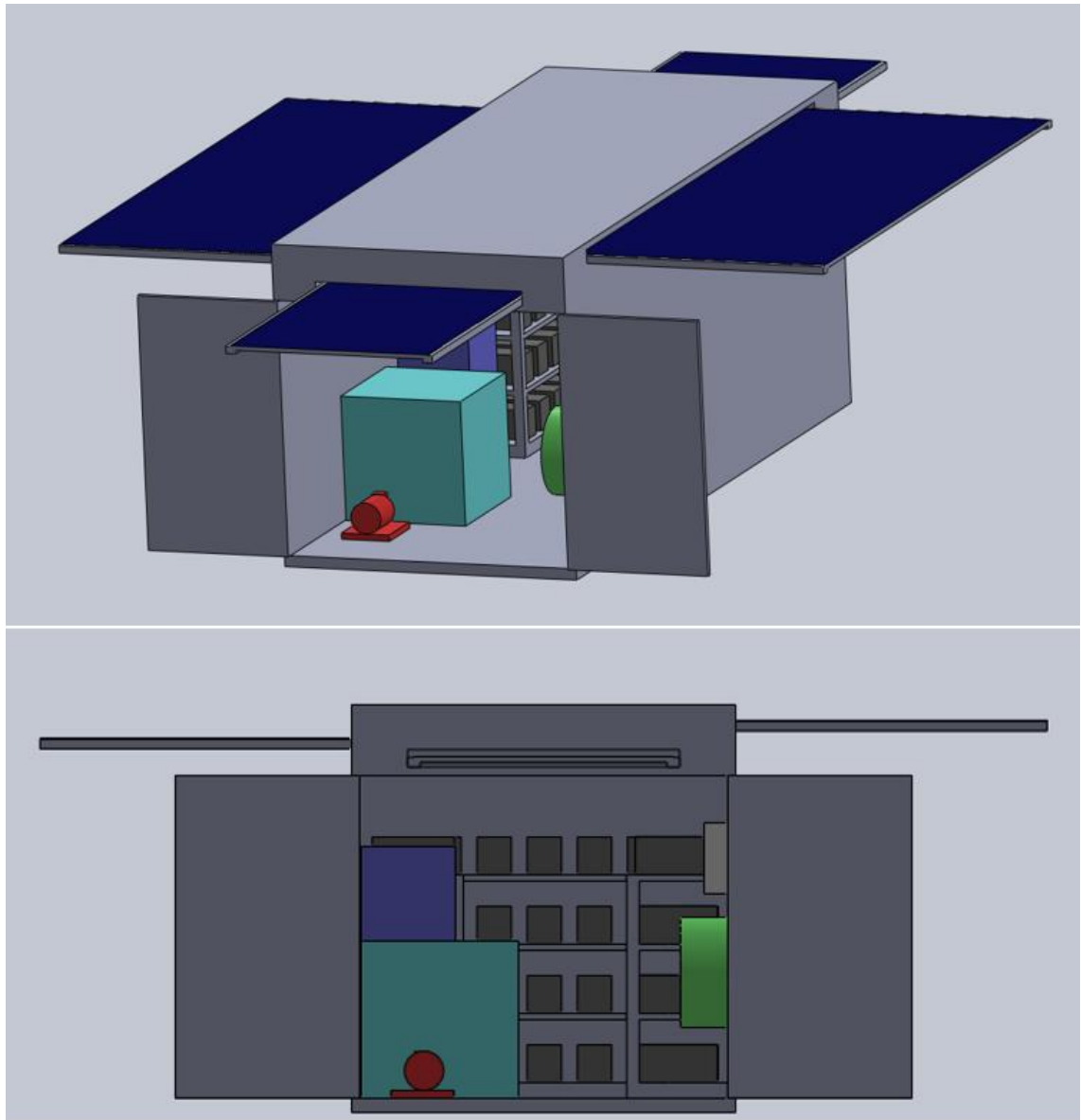
Applied Membranes valmistaa myös aurinkovoimalla toimivia käänteisosmoosijärjestelmiä, joista yksi on kuvassa 20. Aurinkovoimalla toimivalla käänteisosmoosijärjestelmällä voidaan tuottaa jopa 500 kuutiometriä puhdasta vettä vuorokaudessa. Laitteet on suunniteltu tuottamaan mahdollisimman paljon alhaisella energiamäärällä. Aurinkopaneeleista voidaan saada tehoa jopa 60 kW. [49.]

6 Aurinkovoimalla toimiva käänteisosmoosijärjestelmä merikonttiratkaisuissa

Seuraavaksi esitellään neljä erilaista itse suunniteltua mallia aurinkovoimalla toimivalle merikonttiin rakennetulle käänteisosmoosijärjestelmälle. Jokaisesta merikontista löytyy varustuksena aurinkopaneelit erilaisilla kiinnitysmekanismeilla, akusto ja aurinkopaneelien sähköjärjestelmä, invertteri, korkeapainepumppu ja käänteisosmoosilaitteisto, siirtopumppu puhtaan veden siirtämiseksi ihmisille, säiliö puhdistetulle vedelle, veden esisuodattimet ja sähkölähdöt sekä letkut veden siirtoa varten. Konttien käänteisosmoosilaitteella tuotettu puhdas vesi on suunniteltu vain juomavedeksi. Konttien aurinkopaneelien tuottamia tehoja on laskettu päiväntasaajan ja Keski-Euroopan keskimääräisiin vuorokautisiin auringonpaistetunteihin perustuen. Auringonpaistetunneilla tarkoitetaan sitä, kuinka monta tuntia päivässä aurinko paistaa kirkkaalta taivaalta. Päiväntasaajalla aurinko paistaa keskimäärin noin 8 tuntia päivässä ja Keski-Euroopassa noin 4,7 tuntia päivässä. Laskelmat on tehty olettaen, että auringon säteilyteho vastaa 1000 W/m^2 . Järjestelmät on rakennettu 20-jalkaisiin merikontteihin, joiden ulkomitat ovat pituus 6050 mm, leveys 2440 mm ja korkeus 2590 mm. Sisämitat ovat pituus 5898 mm, leveys 2340 mm ja korkeus 2370 mm. [19; 50.]

6.1 Malli 1

Mallissa 1 (kuva 21) aurinkopaneelit on sijoitettu kolmessa eri tasossa oleville kiskoille, joiden avulla ne voidaan helposti vetää ulos kontista myös yhden henkilön voimin. Paneelit ovat suojassa kontin sisällä kuljetuksen aikana ja kontin käyttöönotto on nopeaa, koska aurinkopaneeleita ei tarvitse erikseen asentaa esimerkiksi kontin katolle. Kontin aurinkopaneelien nimellisteho on yhteensä 4,56 kW. Päiväntasaajalla aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa energiaa keskimäärin 36,5 kWh vuorokaudessa ja Keski-Euroopassa 21,4 kWh (ks. liite 1). Käänteisosmoosilaitteiston ja siirtopumpun vuorokautinen energiankulutus on noin 11,4 kWh. Konttiin mahtuu 68 kappaletta 220 Ah:n akkuja, jotka on sijoitettu kontin perällä olevalle hyllylle neljään eri tasoon.

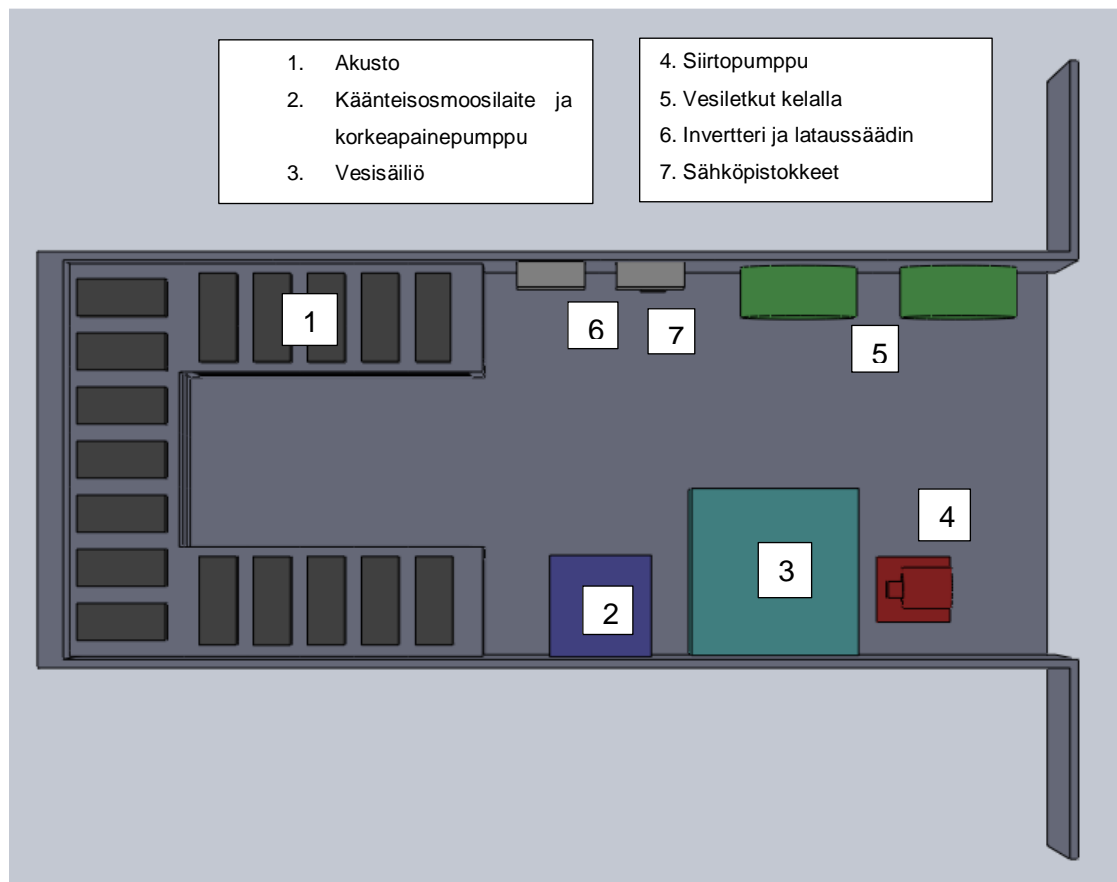


Kuva 21. Malli 1

Kontin komponentit:

- 16 kpl monikideaurinkopaneeli: teho 285 W, jännite 24 V. Mitat: pituus 1648 mm, leveys 990 mm, korkeus 35 mm. [51.]
- vesisäiliö: tilavuus 1000 l
- käänteisosmoosilaitteisto: teho 350 W, jännite 230 V. Mitat: pituus 600 mm, leveys 600 mm, korkeus 1600 mm. Vedentuotto max. 500 l/h. [52.]

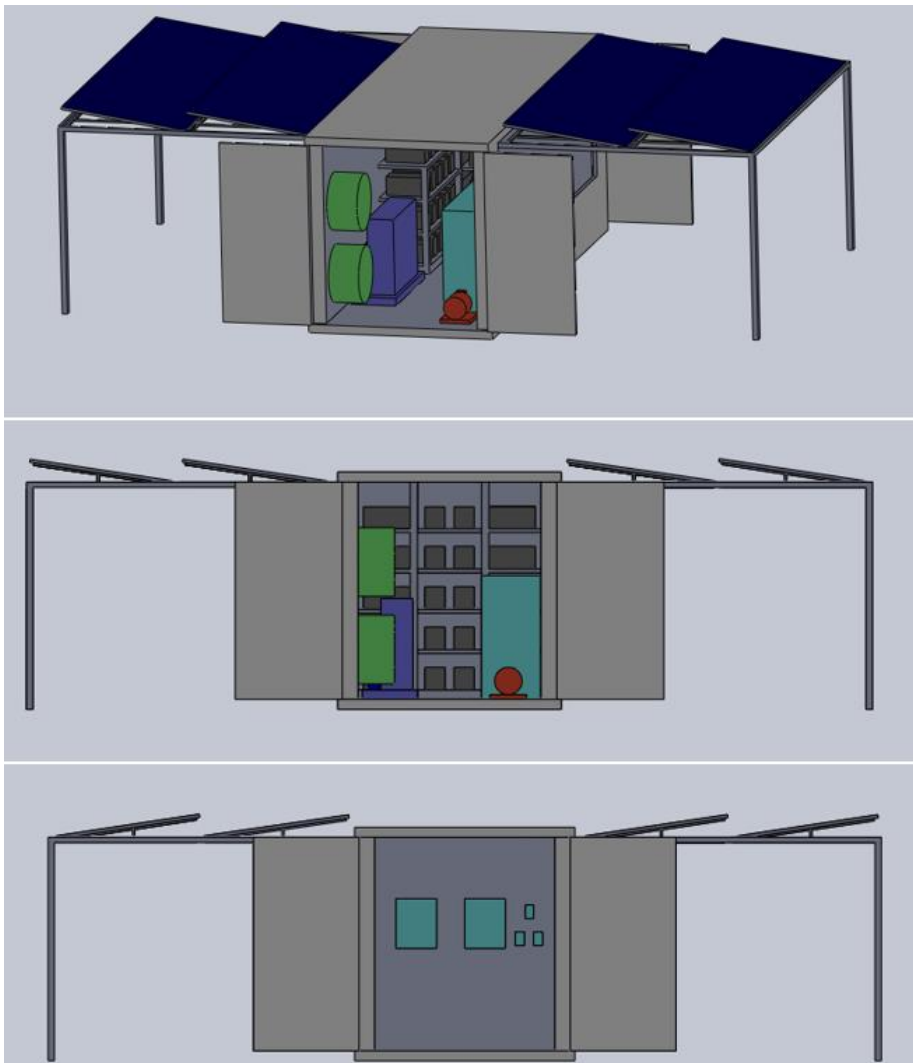
- siirtopumppu: teho 600 W, jännite 230 V. Veden pumppausteho max. 2400 l/h. [53.]
- invertteri
- MPPT-lataussäädin
- 68 kpl AGM-akku: 220 Ah, 12 V. Mitat: pituus 522 mm, leveys 219 mm, korkeus 240 mm. [54.]



Kuva 22. Pohjakuva

6.2 Malli 2

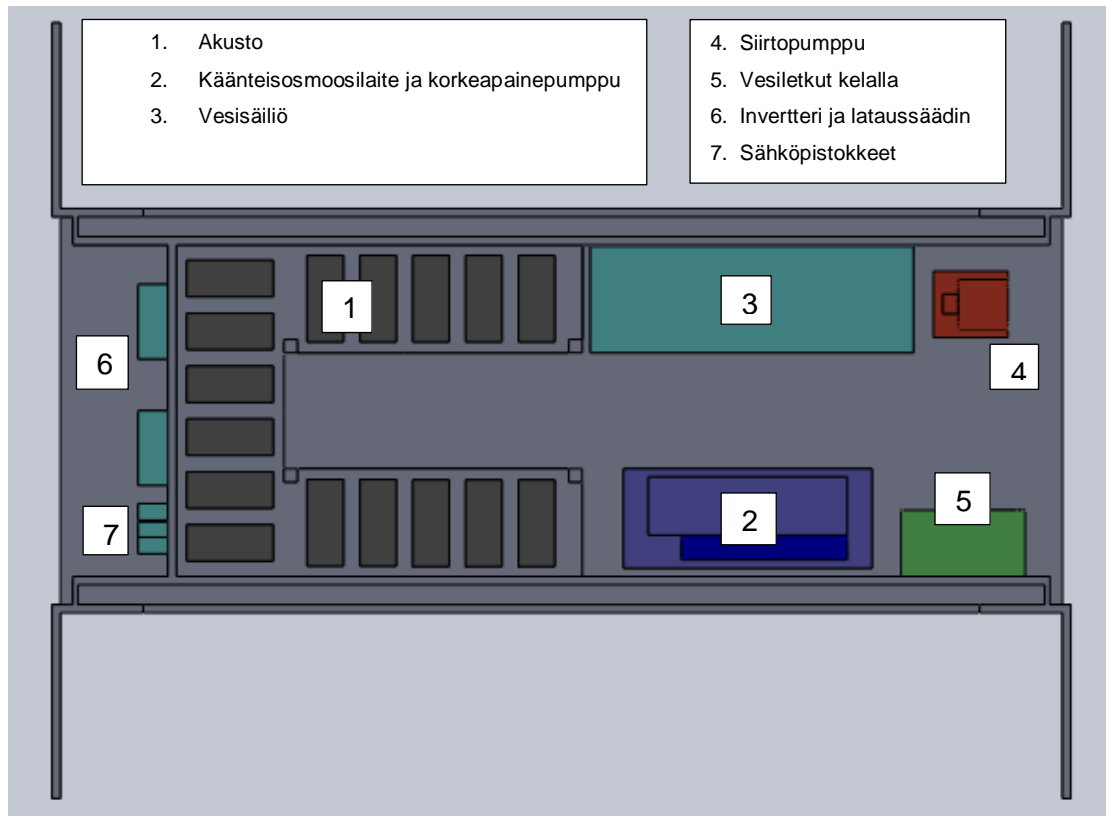
Mallissa 2 (kuva 23) kaksin kerroin olevat aurinkopaneelirivit avautuvat merikontin molemmista kyljistä ja ne tuetaan jalkojen avulla paikoilleen. Aurinkopaneelien kallistuskulmaa pystytään säätämään tukirakenteen avulla. Kontissa on yhteensä 20 kappaletta 285 W:n monikideaurinkopaneeleita. Paneelien nimellisteho on yhteensä 5,7 kW. Päiväntasaajalla paneelien keskimääräinen vuorokaudessa tuottama energia on 45,6 kWh ja Keski-Euroopassa 26,8 kWh (ks. liite 2). Käänteisosmoosilaitteiston ja siirtopumpun vuorokautinen energiankulutus on noin 21,7 kWh. Konttiin mahtuu 80 kappaletta 220 Ah:n akkuja. Merikontissa on ovet molemmissa päissä ja konttiin on rakennettu väliseinä, jonka avulla on saatu lisää seinäpinta-alaa ja sähköjärjestelmä erotettua muista laitteista.



Kuva 23. Malli 2

Kontin komponentit:

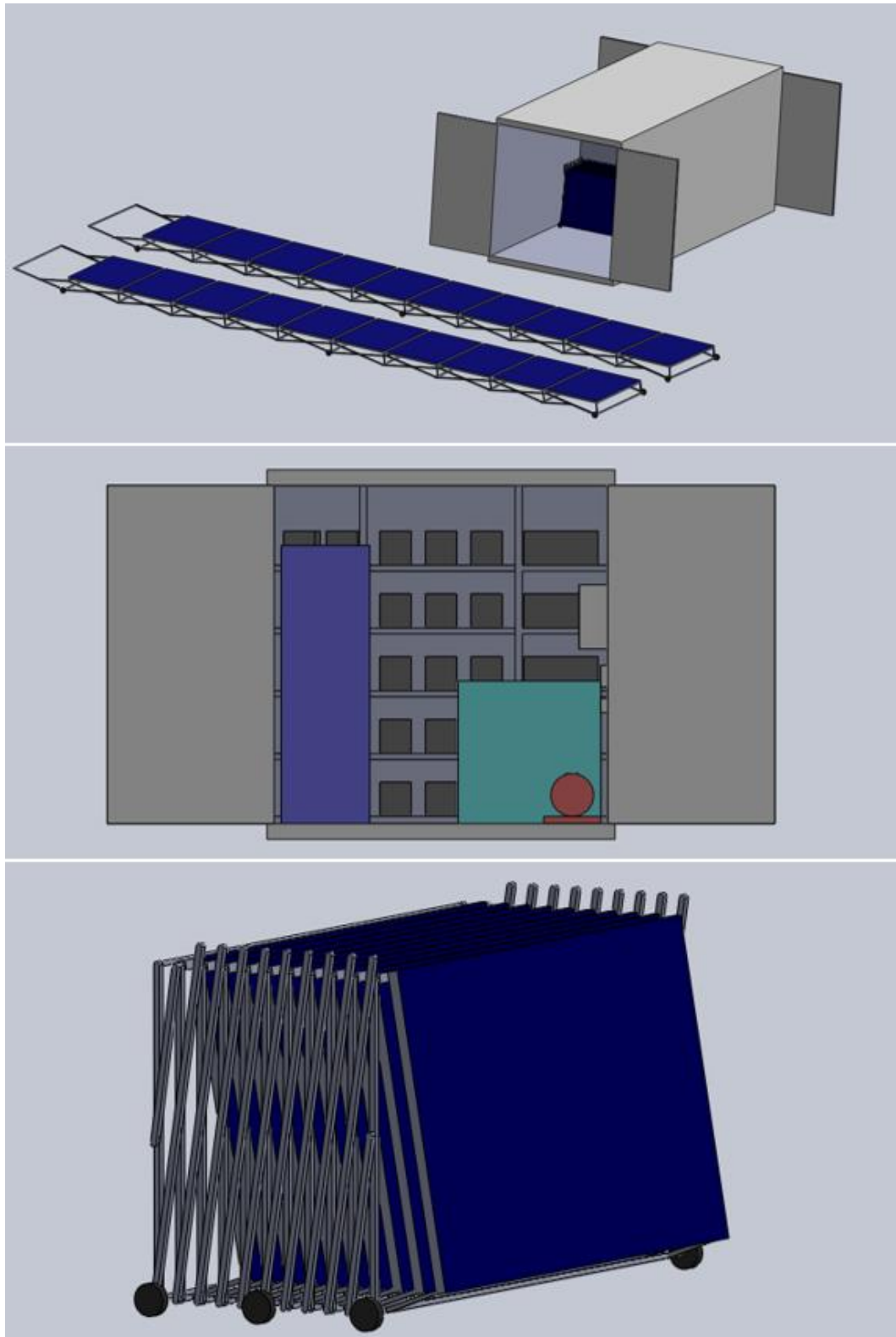
- 20 kpl monikideaurinkopaneeli: teho 285 W, jännite 24 V. Mitat: pituus 1648 mm, leveys 990 mm, korkeus 35 mm. [51.]
- vesisäiliö: tilavuus 1000 l. Mitat: pituus 1950 mm, leveys 640 mm, korkeus 1350 mm. [55.]
- käänteisosmoosilaitteisto: teho 750 W, jännite 230 V. Mitat: pituus 1500 mm, leveys 600 mm, korkeus 1400 mm. Max. vedentuotto 440-660 l/h. [56.]
- siirtopumppu: teho 600 W, jännite 230 V. Veden pumppausteho max. 2400 l/h. [53.]
- invertteri
- MPPT-lataussäädin
- 80 kpl AGM-akku: 220 Ah, 12 V. Mitat: pituus 522 mm, leveys 219 mm, korkeus 240 mm. [54.]



Kuva 24. Pohjakuva

6.3 Malli 3

Mallissa 3 (kuva 25) aurinkopaneelit on kiinnitetty metallisiin kehikkoihin, jotka ovat kiinni toisissaan ns. haitarimekanismilla. Näin aurinkopaneelit saadaan nopeasti käyttöön ja ne mahtuvat myös mahdollisimman pieneen tilaan. Metallikehikoissa on renkaat, jotka helpottavat aurinkopaneelien siirtämistä ja asettamista käyttöasentoon maastossa. Kontissa on kolme haitarimekanismilla toimivaa aurinkopaneelikokonaisuutta. Jokaisessa kokonaisuudessa on 10 kappaletta 285 W:n aurinkopaneelia. Paneelien nimellisteho on yhteensä 8,55 kW. Päiväntasaajalla keskimääräinen vuorokautinen energian tuotto paneeleille on 68,4 kWh ja Keski-Euroopassa 40,2 kWh (ks. liite 3). Käänteisosmoosilaitteiston ja siirtopumpun vuorokautinen energiankulutus on noin 40,5 kWh. Kontissa on 50 kappaletta 220 Ah:n akkuja.



Kuva 25. Malli 3

Kontin komponentit:

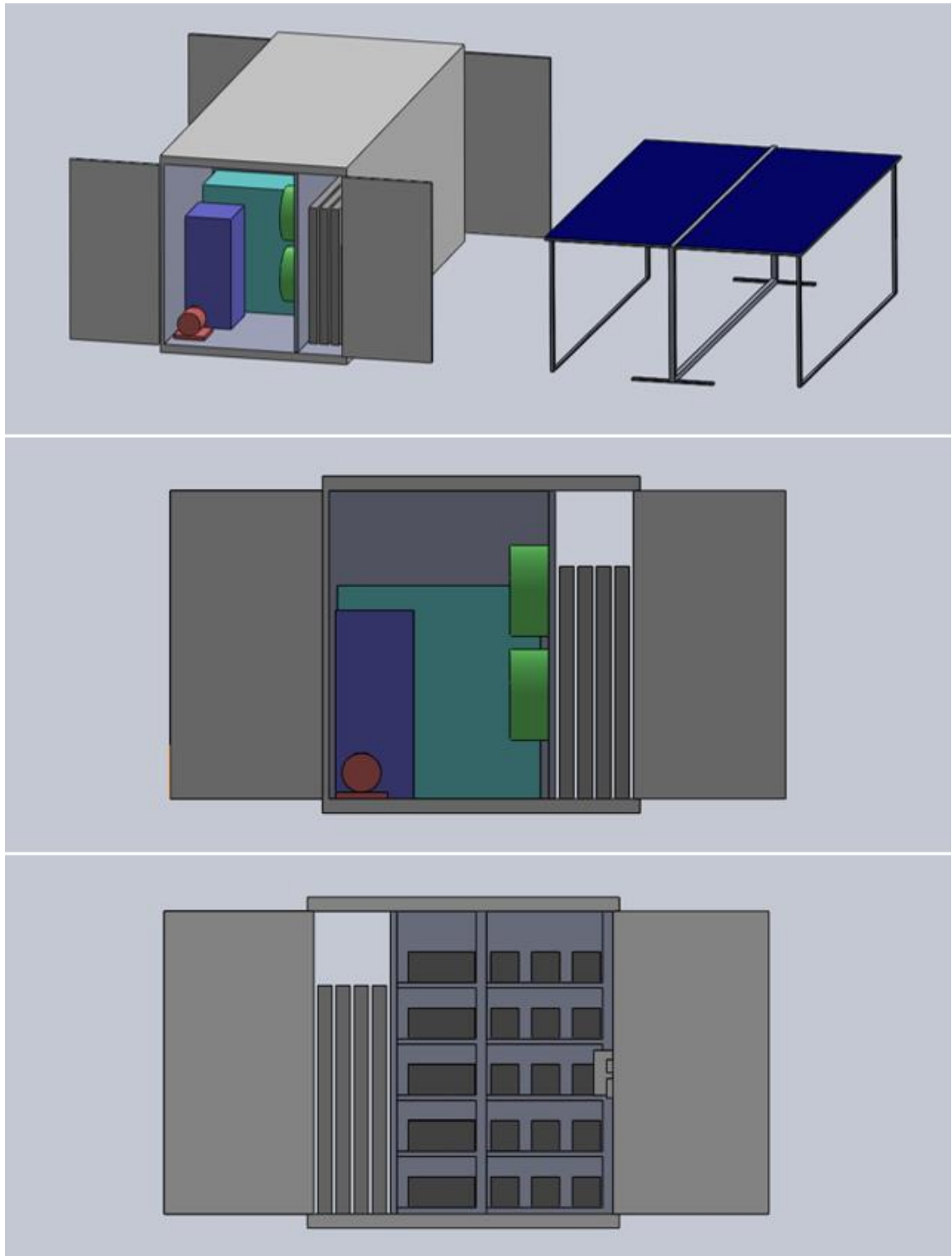
- 30 kpl monikideaurinkopaneeli: teho 285 W, jännite 24 V. Mitat: pituus 1648 mm, leveys 990 mm, korkeus 35 mm. [51.]
- vesisäiliö: tilavuus 1000 l
- käänteisosmoosilaitteisto: teho 1,5 kW, jännite V. Mitat: pituus 1410 mm, leveys 620 mm, korkeus 1950 mm. Max. vedentuotto 750 l/h. [57.]
- siirtopumppu: teho 600 W, jännite 230 V. Veden pumppausteho max. 2400 l/h. [53.]
- invertteri
- MPPT-lataussäädin
- 50 kpl AGM-akku: 220 Ah. 12V. Mitat: pituus 522 mm, leveys 219 mm, korkeus 240 mm. [54.]



Kuva 26. Pohjakuva

6.4 Malli 4

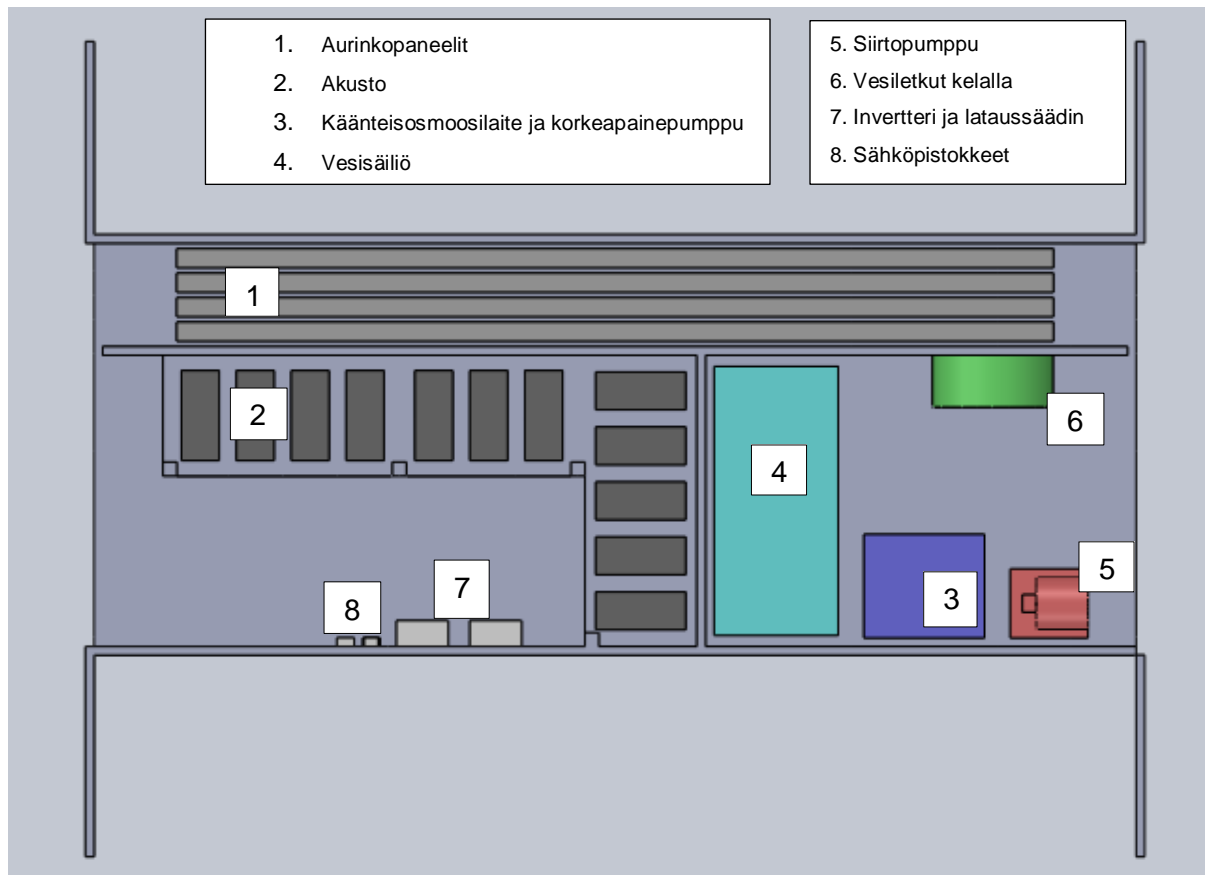
Mallissa 4 (kuva 27) aurinkopaneelit on kiinnitetty metalliseen siirreltävään tukirakenteseen, jota vasten aurinkopaneelit saadaan painettua nippuun kuljetuksen ajaksi. Aurinkopaneelikokonaisuuksia on yhteensä neljä ja kontissa niille oma erillinen tila, jossa ne ovat suojassa kuljetuksen aikana. 285 W:n aurinkopaneeleita on yhteensä 40 kappaletta, ja koko järjestelmän nimellisteho on 11,4 kW. Päiväntasaajalla keskimääräinen vuorokautinen energian tuotto paneeleille on 91,2 kWh ja Keski-Euroopassa 53,4 kWh (ks. liite 4). Käänteisosmoosilaitteiston ja siirtopumpun vuorokautinen energiankulutus on noin 51,6 kWh. Kontissa on 60 kappaletta 220 Ah:n akkuja.



Kuva 27. Malli 4

Kontin komponenttien tiedot:

- 40 kpl monikideaurinkopaneeli: teho 285 W, Jännite 24 V. Mitat: pituus 1648 mm, leveys 990 mm, korkeus 35 mm. [51.]
- vesisäiliö: 1500 l. Mitat: pituus 1560 mm, leveys 720 mm, korkeus 1640 mm. [58.]
- käänteisosmoosilaitteisto: teho 1,9 kW, jännite 230 V. Mitat: pituus 700 mm, leveys 600 mm, korkeus 1500 mm. Max vedentuotto 1000 l/h. [59.]
- siirtopumppu: teho 600 W, jännite 230 V. Veden pumppausteho max. 2400 l/h. [53.]
- invertteri
- MPPT-lataussäädin
- 60 kpl AGM-akku: 220 Ah. 12 V. Mitat: pituus 522 mm, leveys 219 mm, korkeus 240 mm. [54.]



Kuva 28. Pohjakuva

7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli selvittää, millaisia merikonttiin rakennettuja aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä on olemassa. Lisäksi tarkoituksena oli suunnitella olemassa olevien ratkaisujen pohjalta erilaisia aurinkovoimalla toimivia käänteisosmoosijärjestelmiä 20-jalkaiseen merikonttiin.

Työn teoreettisessa osuudessa käsiteltiin aurinkopaneelien toimintaa, vertailtiin erilaisia akkutyyppejä ja tutustuttiin vedenpuhdistukseen käänteisosmoosin avulla. Teoriaosuudessa on käytetty runsaasti kotimaisia ja ulkomaisia lähteitä.

Selvitystyö olemassa olevista ratkaisuista tehtiin etsimällä tietoa internetistä. Tiedon haku osoittautui haasteelliseksi. Merikonttiin rakennettuja aurinkoenergia- ja käänteisosmoosijärjestelmiä valmistavia yrityksiä löytyi jonkin verran, mutta merikonttiratkaisuista löytyi melko vähän teknistä tietoa ja konttien sisältämiä laitteita ei juurikaan esitelty. Kävi kuitenkin ilmi, että kontteja on suunniteltu erityisesti armeijakäyttöön. Olemassa olevista ratkaisuista sai kuitenkin ideoita omien mallien suunnitteluun.

Opinnäytetyö täyttää sille asetetut tavoitteet. Työn tuloksena syntyi neljä erilaista merikonttiin suunniteltua aurinkovoimalla toimivaa vedenpuhdistuslaitosta kuvahahmoteltuihin ja tehoineen. Merikontit, joihin kokonaisuudet on suunniteltu, ovat pituudeltaan 20 jalkaa (sisäpituus 5,9 m). Konttien sisäleveys on 2,34 m ja sisäkorkeus 2,37 m. Aurinkovoimalla- ja vedenpuhdistuslaitoskokonaisuus sisältää aurinkopaneelit mekanismilla, aurinkopaneelien sähköjärjestelmän, akuston, invertterin ja sähkölähdöt kontista. Lisäksi konteissa on käänteisosmoosilaitteet vedenpuhdistukseen, puhdasvesisäiliö, korkeapainepumppu, veden esisuodattimet, vesiletkut ja siirtopumppu puhtaan veden siirtämistä varten. Suunnitelmissa on pyritty huomioimaan, että kuka tahansa pystyy käynnistämään merikonttivoimalan tuotannon.

Suunnitellut merikonttimallit ovat kehityskelpoisia ja niitä voidaan hyödyntää seuraavissa opinnäytetöissä. Tarkoituksena on, että toiset opiskelijat jatkavat opinnäytetyötä samasta aiheesta esimerkiksi mitoittamalla tarkasti edellä mainitut komponentit merikonttikokonaisuuteen sekä suunnittelemalla aurinkopaneelien kiinnitysmekanismien.

Lähteet

- 1 Aurinkovoima. Energiamaailma. 2017. Verkkoaineisto<<http://energiamaailma.fi/mista-virtaa/uusiutuvat-energialahteet/aurinkovoima/>>. Luettu 1.10.2018.
- 2 Aurinkosähkö. Energiateollisuus ry. Verkkoaineisto. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima>. Luettu 1.10.2018.
- 3 Aurinkoenergia – toimintaperiaate. Vattenfall. 2016. Verkkoaineisto. <<https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammontuotanto/aurinkoenergia/aurinkoenergia-toimintaperiaate/>>. Luettu 1.10.2018.
- 4 Aurinkosähköjärjestelmät. Green Connect. Verkkoaineisto. <<http://greenconnect.fi/aurinkoshkjrrjestelmt/#new-page-23>>. Luettu 17.10.2018.
- 5 Nämä 4 asiaa vaikuttavat aurinkopaneelien hyötysuhteeseen. 2018. Halikon Huoltosähkö Oy. Verkkoaineisto. <https://www.huoltosahko.com/aurinkopaneelin_hyotysuhde>. Luettu 17.10.2018.
- 6 Aurinkopaneelit. Suntekno. Verkkoaineisto. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>>. Luettu 2.10.2018.
- 7 Aurinkosähköteknologiat. Motiva. 2017. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 2.10.2018.
- 8 Käpylehto, Janne. 2017. Aurinkosähkön pikakurssi. Verkkoaineisto. <<http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/wordpress/wp-content/uploads/2017/01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6%C3%A4kotiin-K%C3%A4pylehto-2017.pdf>>. Luettu 2.10.2018.
- 9 Kauranen, Joonas. 2012. Valosähköisten aurinkopaneelien hyötysuhteet. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/86886/Kandi_Joonas_Kauranen.pdf?sequence=1>. Luettu 30.30.2018.
- 10 Aurinkopaneelien asentaminen. Eurosolar. Verkkoaineisto. <<https://www.eurosolar.fi/usein-kysyttya/asentaminen>>. Luettu 4.10.2018.
- 11 Käpylehto, Janne. 2014. Mökille sähköt auringosta ja tuulesta. Into Kustannus Oy. Helsinki.

- 12 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Motiva. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma>. Luettu 31.10.2018.
- 13 Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Motiva. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytke-maton_aurinkosahkojarjes-telma>. Luettu 31.10.2018.
- 14 Invertteri. Aurinkovirta. Verkkoaineisto. <<http://www.aurinkovirta.fi/aurin-kosahko/aurinkovoimala/invertteri/>>. Luettu 3.10.2018.
- 15 Huolto ja kunnossapito. 2016. Motiva. Verkkoaineisto. <https://www.mo-tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestel-man_kaytto/huolto_ja_kunnossapito>. Luettu 31.10.2018.
- 16 Aurinkopaneelin toimintaperiaate. The Aspo company. 2015. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/1612662-Aurinkopaneelin-toimintaperiaate.html>>. Luettu 3.10.2018.
- 17 Minne aurinkoenergia soveltuu. Helsinki University of technology. Verkkoai-
neisto. <<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-minne.html>>. Luettu 3.10.2018.
- 18 Solar radiation world map. 2012. Verkkoaineisto. <<http://mcgroup-sas.com/icon/photos/index.php?p=138>>. Luettu 4.10.2018.
- 19 World sunshine map. World Resources Institute. Verkkoaineisto. <<http://earth.rice.edu/mtpe/geo/geosphere/hot/energyfuture/Sunlight.html>>. Lu-
ettu 19.11.2018.
- 20 Ahtela, Jaakko. Hirsimäki, Kari. Pihlgren, Petri. 1998. Toimintaperiaate. Verkko-
aineisto. <<https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>>. Luettu 4.10.2018.
- 21 Kekkonen, Alpo. 2014. Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen. Oulun Ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto. <http://www.oamk.fi/toolbox/fi-leuploads/esitys_asenn.pdf>. Luettu 4.10.2018.
- 22 Teknistä tietoa. Exide. Verkkoaineisto. <http://exide.fi/wp-content/uploads/si-tes/15/2014/11/Exide_fi_Teknisk_info.pdf>. Luettu 4.10.2018.

- 23 Aurinkopaneelijärjestelmän AGM akut. SW Energia. Verkkoaineisto. <<https://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/aurinkopaneelijarjestelman-akut.html>>. Luettu 8.10.2018.
- 24 Akkujen turvallinen pakkaaminen ja lähettäminen. 2017. UPS. Verkkoaineisto. <https://www.ups.com/assets/resources/media/fi_FL/pack_ship_batteries.pdf>. Luettu 30.10.2018.
- 25 Linden, David & Reddy, Thomas B. 2002. Handbook of batteries. 3rd ed. The United States of America: The McGraw-Hill Companies.
- 26 Akut. 2017. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut>. Luettu 8.10.2018.
- 27 Sillanpää, Teemu. 2012. Litium-ioniakun tasapainon hallinta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. <http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/76743/thesis_lutpub.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 30.10.2018.
- 28 Junttila, Kirsi. 2006. Vesi ja terveys. Verkkoaineisto. <<https://www.maa-ilm.net/uutiset/vesi-ja-terveys>>. Luettu 9.10.2018.
- 29 Lipponen, Sami. 2018. Juomavedenkäsittely – tehokkaalla prosessilla ja hyvillä laitteilla juomakelpoista vettä. Verkkoaineisto. <<https://www.promisti.fi/juomavedenkäsittely/>>. Luettu 9.10.2018.
- 30 Veden laadun termejä. 2018. HSY. Verkkoaineisto. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/vedenlaatu/Sivut/Veden-laadun-termeja.aspx>>. Luettu 9.10.2018.
- 31 What is reverse osmosis. Puretec. Verkkoaineisto. <<https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis#understanding-reverse-osmosis>>. Luettu 9.10.2018.
- 32 Käänteisosmoosi. 2018. BWT. Verkkoaineisto. <<https://www.bwtwater.fi/fi/vesiteknologia/vedenkäsittely/kalvoteknologia/Sivut/Kaanteisosmoosi.aspx>>. Luettu 9.10.2018.
- 33 Reverse Osmosis and Nanofiltration - Manual of Water Supply Practices. 2007. 2nd ed. American Water Works Association.
- 34 Karppanen, Hannu. 2017. Käänteisosmoosikalvojen likaantuminen ja puhdistaminen. Kandidaatintyö. Oulun Yliopisto. <<https://docplayer.fi/50849663->

- Kaanteisosmoosikalvojen-likaantumisen-ja-puhdistaminen.html>. Luettu 16.10.2018.
- 35 Byrne, Wes. 2002. Reverse osmosis – A Practical guide for industrial users. 2nd ed. Tall Oaks Publishing Inc. Littleton.
- 36 Aqua RO-4000 sarja Käänteisosmoosilaitteet. Aquanova. Verkkoaineisto. <<https://www.aquanova.fi/assets/pdf/esite-aqua-ro-4000.pdf>>. Luettu 31.10.2018.
- 37 Decentralised and independent water and energy solutions. 2018. Trunz Water Systems. Verkkoaineisto. <<https://www.trunzwatersystems.com/>>. Luettu 5.11.2018.
- 38 Features and benefits. 2018. Ecosphere Technologies inc. Verkkoaineisto. <<https://www.ecospheretech.com/environmental-engineering-technologies/powercube>>. Luettu 5.11.2018.
- 39 Overview. 2018. Ecosphere Technologies Inc. Verkkoaineisto. <<https://www.ecospheretech.com/about-us>>. Luettu 6.11.2018.
- 40 About us. 2018. Elemental Water Makers. Verkkoaineisto. <<https://www.elementalwatermakers.com/about-us/>>. Luettu 6.11.2018.
- 41 Solar RO with batteries. 2018. Elemental Water Makers. Verkkoaineisto. <<https://www.elementalwatermakers.com/solution-battery/>>. Luettu 6.11.2018.
- 42 Hiilijalanjälki. Nuorten elämä. Verkkoaineisto. <<https://www.nuortenelama.fi/elavaa-elamaa/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-kuluttaminen/hiilijalanj%C3%A4lki-807>>. Luettu 6.11.2018.
- 43 Hiilidioksidiekvivalentti. 2018. Tieteen termipankki. <<http://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:hiilidioksidiekvivalentti>>. Luettu 6.11.2018.
- 44 Ympäristövaikutusten mittarit. 2018. Metsähallitus. Verkkoaineisto. <<http://www.luontoon.fi/retkeilynabc/ymparistovinkit/ymparistovaikutustenmittarit>>. Luettu 6.11.2018.
- 45 Company. 2018. Trunz Water Systems. Verkkoaineisto. <<https://www.trunzwatersystems.com/company>>. Luettu 7.11.2018.
- 46 TBC. 2018. Trunz Water Systems. Verkkoaineisto. <<https://www.trunzwatersystems.com/component/advportfoliopros/project/100-products/10-tbc>>. Luettu 7.11.2018.

- 47 Case study United Arab Emirates. Trunz Water Systems. Verkkoaineisto. <https://www.trunzwatersystems.com/images/applications/remote/Case%20Study_UAE_E.pdf>. Luettu 7.11.2018.
- 48 About us. 2018. Applied Membranes Inc. Verkkoaineisto. <<https://www.applied-membranes.com/about-us.html>>. Luettu 7.11.2018.
- 49 Solar powered uf and ro water treatment systems. Applied Membranes Inc. <<https://www.appliedmembranes.com/solar-powered-uf-and-ro-water-treatment-systems.html#features>>. Luettu 7.11.2018.
- 50 List of cities by sunshine duration. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cities_by_sunshine_duration>. Luettu 19.11.2018.
- 51 285 W Aurinkopaneeli monikide. Aurinkosähkö.net. Verkkoaineisto. <<http://www.aurinkosahko.net/product/190/285w-aurinkopaneeli-monikide>>. Luettu 20.11.2018.
- 52 W-PureRO 500. Wetec Finland Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.wetec.fi/tuotteet.html?id=2/363195>>. Luettu 26.11.2018.
- 53 Tyhjennyspumppu. IKH. Verkkoaineisto. <<https://www.ikh.fi/fi/tyhjennyspumppu-akc600-600w---230v-tp010>>. Luettu 20.11.2018.
- 54 Victron AGM akku 220 Ah. Aurinkopaneelikauppa. Verkkoaineisto. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/epages/aurinkopaneelikauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20120903-11092-142553-1/Products/05250>. Luettu 27.11.2018.
- 55 Vesisäiliöt. Infraline. Verkkoaineisto. <http://www.infraline.fi/images/TITAN_Juomavesis%C3%A4ili%C3%B6t_300517.pdf>. Luettu 18.12.2018.
- 56 SolarRO Pro 700. Solar Water Solutions. Verkkoaineisto. <<https://solarwatersolutions.fi/en/shop/solaro-pro-700/>>. Luettu 27.11.2018.
- 57 LennRo Greenline. Lenntech. Verkkoaineisto. <https://www.lenntech.com/Data-sheets/LennRO_LBW_Greenline_EN.PDF>. Luettu 27.11.2018.
- 58 Monipuolinen ja kestävä juomavesisäiliö. LI-trading. Verkkoaineisto. <<http://litrading.fi/dehoust-juomavesisailiot.html>>. Luettu 18.12.2018.
- 59 Wholesale Ecosoft commercial reverse osmosis system MO 24 000. Ecosoft Water Systems GmbH. Verkkoaineisto. <<https://ecosoft.com/ecosoft-commercial-reverse-osmosis-system-mo-24-000/>>. Luettu 27.11.2018.

| Energiantuotanto ja -kulutus | Nimellisteho (W) | Käyttö (h/vrk) | Kulutus (Wh/vrk) | Tarvittavien akkujen lukumäärä | Todellinen akkujen lukumäärä |
|------------------------------|------------------|----------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Laitte | | | | | |
| Käänteiso-moosilaite | 350 | 24 | 8400 | 3,084415584 | 4 |
| Siirtopumppu | 600 | 5 | 3000 | 6,168831169 | 7 |
| Yhteensä | | | 11400 | 12,33766234 | 13 |

| | | | |
|--|------|------------------------------------|-----|
| Veden max. tuotto käänteismoosilaiteella (l/h) | 500 | Kulutus (Ah) 12 V:n järjestelmässä | 950 |
| Siirtopumpun pumppaus-teho max. (l/h) | 2400 | | |
| Aurinkopaneelien määrä | 16 | | |
| Aurinkopaneelin nimellisteho (W) | 285 | | |
| Paneelien teho (W) yht. | 4560 | | |
| Akun koko (Ah) | | | 220 |
| Akun käytössä oleva kapasiteetti (Ah) | | | 154 |

Akkuna käytetään 12 V/220 Ah akkuja. Akun kapasiteettista on suositeltavaa käyttää korkeintaan 70%.

| | | | | | |
|----------------|-----|---|-------|---|-------|
| Päiväntasaaja | 8 | Paneeleilla tuotettu energia vuorokaudessa | 36480 | Käyttöön jäävä energia (Wh) | 25080 |
| Keski-Eurooppa | 4,7 | Auringonpaistettujen paneelien tuotettu energia vuorokaudessa | 21432 | vedenpuhdistuksen ja vedensiirron jälkeen vuorokaudessa | 10032 |

| Energiantuotanto ja -kulutus | | | |
|------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| Laitte | Nimellisteho (W) | Käyttö (h/vrk) | Kulutus (Wh/vrk) |
| Käänteisosmoosilaitte | 750 | 24 | 18000 |
| Siirtopumppu | 600 | 6,6 | 3960 |
| Yhteensä | | | 21960 |

| | | | |
|---|------|-----------------------------------|------|
| Veden max. tuotto käänteisosmoosilaitteella (l/h) | 660 | Kulutus 12V:n järjestelmässä (Ah) | 1830 |
| Siirtopumpun pumppausasteho max. (l/h) | 2400 | | |

| | |
|----------------------------------|------|
| Aurinkopaneelien määrä | 20 |
| Aurinkopaneelin nimellisteho (W) | 285 |
| Paneelien teho (W) yht. | 5700 |

| | | | | | |
|----------------|-----|---|-------|---|-------|
| Päiväntasaaja | 8 | Paneelilla tuotettu energia vuorokaudessa | 45600 | Käyttöön jäävä energia (Wh) vedenpuhdistuksen ja vedensiirron jälkeen vuorokaudessa | 23640 |
| Keski-Eurooppa | 4,7 | Auringonpaistetun- nit/vrk | 26790 | | 4830 |

| Akuilla toteutetun tuotannon kesto (h) | Tarvittavien akkujen lukumäärä | Todellinen akkujen lukumäärä |
|--|--------------------------------|------------------------------|
| 12 | 5,94155844 | 6 |
| 24 | 11,8831169 | 12 |
| 48 | 23,7662338 | 24 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Akun koko (Ah) | 220 |
| Akun käytössä oleva kapasiteetti (Ah) | 154 |

Akkuina käytetään 12 V/ 120 Ah akkuja. Akun kapasiteetti on suositeltavaa käyttää korkeintaan 70%.

| Energiantuotanto ja -kulutus | | | |
|------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| Laitte | Nimellisteho (W) | Käyttö (h/vrk) | Kulutus (Wh/vrk) |
| Käänteisvoimosaite | 1500 | 24 | 36000 |
| Siirtopumppu | 600 | 7,5 | 4500 |
| Yhteensä | | | 40500 |

| | | | |
|--|------|-----------------------------------|------|
| Veden max. tuotto käänteisvoimosaiteella (l/h) | 750 | Kulutus 12V:n järjestelmässä (Ah) | 3375 |
| Siirtopumpun pumppausteho max. (l/h) | 2400 | | |

| | |
|----------------------------------|------|
| Aurinkopaneelien määrä | 30 |
| Aurinkopaneelin nimellisteho (W) | 285 |
| Paneelien teho (W) yht. | 8550 |

| Akuilla toteutetun tuotannon kesto (h) | Tarvittavien akkujen lukumäärä | Todellinen akkujen lukumäärä |
|--|--------------------------------|------------------------------|
| 12 | 10,9577922 | 11 |
| 24 | 21,9155844 | 22 |
| 48 | 43,8311688 | 44 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Akun koko (Ah) | 220 |
| Akun käytössä oleva kapasiteetti (Ah) | 154 |

Akkuna käytetään 12 V/ 220 Ah akkuja. Akun kapasiteettia on suositeltavaa käyttää korkeintaan 70%.

| Auringonpaistettunut/vrk | Paneeleilla tuotettu energia (Wh) vuorokaudessa | Käyttöön jäävä energia (Wh) vedenpuhdistuksen ja vedensiirron jälkeen vuorokaudessa |
|--------------------------|---|---|
| 8 | 68400 | 27900 |
| 4,7 | 40185 | -315 |

| Energiantuotanto ja -kulutus | | | |
|------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| Laitte | Nimellisteho (W) | Käyttö (h/vrk) | Kulutus (Wh/vrk) |
| Käänteisosmoosilaitte | 1900 | 24 | 45600 |
| Siirtopumppu | 600 | 10 | 6000 |
| Yhteensä | | | 51600 |

| | | | |
|---|------|-----------------------------------|------|
| Veden max. tuotto käänteosmoosilaitteella (l/h) | 1000 | Kulutus 12V:n järjestelmässä (Ah) | 4300 |
| Siirtopumpun pumppausteho max. (l/h) | 2400 | | |

| | |
|----------------------------------|-------|
| Aurinkopaneelien määrä | 40 |
| Aurinkopaneelin nimellisteho (W) | 285 |
| Paneelien teho (W) yht. | 11400 |

| | | | | | |
|----------------|-----|---|-------|--|-------|
| Päiväntasaaja | 8 | Paneelilla tuotettu energia vuorokaudessa | 91200 | Käyttöön jäävä energia (Wh) vedenpuhdistuksen ja siirron jälkeen vuorokaudessa | 39600 |
| Keski-Eurooppa | 4,7 | Auringonpaistatun- nit/vrk | 53580 | | 1980 |

| Akuilla toteutetun tuotannon kesto (h) | Tarvittavien akkujen lukumäärä | Todellinen akkujen lukumäärä |
|--|--------------------------------|------------------------------|
| 12 | 13,961039 | 14 |
| 24 | 27,9220779 | 28 |
| 48 | 55,8441558 | 56 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Akun koko (Ah) | 220 |
| Akun käytössä oleva kapasiteetti (Ah) | 154 |

Alkuina käytetään 12 V/ 220 Ah akkuja. Akun kapasiteetit on suositeltavaa käyttää korkeintaan 70%.