

OMAVARAINEN ENERGIATUOTANTO
OMAKOTITALOSSA

Tuomo Tuulas

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka
Insinööri

2015

Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka

Tekijä	Tuomo Tuulas	Vuosi	2015
Ohjaaja	Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Tiina Vakkala		
Työn nimi	Omavarainen energiatuotanto omakotitalossa		
Sivu- ja liitemäärä	73 + 4		

Opinnäytetyössä tutkittiin toimeksiantajan omakotitalon energiajärjestelmää ja etsittiin ratkaisuja sen toiminnan parantamiseksi. Taloa ei ole liitetty sähköverkkoon ja sähköenergia tuotetaan itse aggregaatilla, sekä aurinkopaneeleilla ja varastoidaan akkuihin. Lämmitysenergiaa tuotetaan puukattilalla ja aurinkokehäimillä. Työssä luotiin tarkka kuvaus järjestelmästä, jotta toimeksiantajan on helppo ymmärtää sen laitteiden toiminta. Omakotitalo sijaitsee noin 20 kilometrin päässä Kemi-Tornion lentoasemasta.

Työssä selvitettiin yleisesti eri lämmitysjärjestelmiä, lämmitysenergian tarvetta ja vaihtoehtoja omavaraisille energialähteille. Omavaraisessa sähköenergian tuotannossa käsiteltiin aurinkopaneeleita ja tuulivoimaloita. Akkutekniikka on hyvin tärkeä osa järjestelmää, jota ei ole liitetty sähköverkkoon, joten siitä on oma lukunsa. Akkujärjestelmissä on suuret virrat, joten työssä on asiaa myös johtimien mitoituksesta.

Opinnäytetyössä saatiin kohteen omakotitalon järjestelmä toimimaan hyvin, kun alkuperäiset vioittuneet akut poistettiin ja tilalle asennettiin teollisuustehtaasta poistetut varajärjestelmän akut. Kohteen sähköenergian kulutusta vuorokautta kohti saatiin pienennettyä paljon ja sen seuranta helpotettiin. Lopussa on arvioitu tuulivoimalan hankintakustannuksia ja sen sähköenergian vuosituottoa sekä esitetty parannusehdotuksia tulevaisuutta varten.

Technology
 Mechanical and
 Production Engineering

Author	Tuomo Tuulas	Year	2015
Supervisor(s)	Ari Pikkarainen		
Commissioned by	Tiina Vakkala		
Subject of thesis	Energy production in an off-grid house		
Number of pages	73 + 4		

The purpose of this thesis was to explore the commissioner's house and its energy system and to find solutions to improve it. The house is in an off-grid system and the batteries are charged by a diesel generator and solar panels. Heating water and hot water are produced by a firewood boiler and solar thermal collectors. The thesis gives a clear description about the house's energy system. There is also diagrams of devices, electrical wiring and heating system. The house is located near Kemi-Tornio Airport.

The thesis studies self-sufficient energy production and how to produce heating energy by using renewable sources. It also studies renewable sources for electricity. In an off-grid system batteries are important so there is a separate chapter for that.

Original batteries were in a very bad condition so they had to be removed. New batteries came from some factory's UPS system. Another great improvement was achieved by smaller power consumption. At the end of the thesis there is an estimate about wind energy costs and benefits. There are also suggestions for future improvements.

Key words

Alternative energy, off-grid, renewable energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA TEORIA	9
2.1	Vaihtoehdot.....	9
2.2	Lämpöenergian siirtyminen.....	10
2.3	Lämmitysenergian tarve.....	11
3	OMAVARAINEN ENERGIATUOTANTO	15
3.1	Aurinkoenergia.....	15
3.1.1	Säteily määrä Suomessa	15
3.1.2	Aurinkopaneelit.....	17
3.1.3	Aurinkokeräimet	21
3.2	Tuulienergia	24
3.2.1	Toiminta ja rakenne.....	24
3.2.2	Tuuliolosuhteiden hyödyntäminen	29
3.3	Lämpöpumput.....	31
3.4	Puukattilat	33
4	AKKUTEKNIikka	35
4.1	Lyijyakku	35
4.1.1	Toimintaperiaate.....	36
4.1.2	Avoin rakenne	38
4.1.3	Suljettu rakenne	39
4.2	Kapasiteetti ja kulutus	41
4.3	Lataaminen	43
5	OMAVARAINEN OMAKOTITALO	45
5.1	Järjestelmä ja laitteet	45
5.2	Kulutus ja tuotto	46
6	TOIMEKSIANTAJAN OMAKOTITALO	48
6.1	Laitteet ja toiminta.....	48
6.2	Järjestelmän tuotto ja todellinen kulutus	54
7	PARANNUSTOIMENPITEET	57
7.1	Akkuongelmien syyt.....	57
7.2	AGM-akkujen asennus.....	58
7.3	Sähköenergian kulutuksen vähennys	60

7.4	BMV-monitorin uudelleen sijoitus.....	61
8	TUULIENERGIA VAIHTOEHTONA.....	63
8.1	Nykyinen kulutus ja aurinkopaneelien tuotto.....	63
8.2	Tuulivoimalaehdotukset	64
9	EHDOTUKSIA TULEVAISUUTTA VARTEN.....	68
10	POHDINTA.....	70
	LÄHTEET	71
	LIITTEET	73

ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaa mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta, sekä työn ohjaamisesta haluan kiittää Ari Pikkaraista. Haluan kiittää myös henkilöitä, jotka ovat antaneet informaatiota liittyen laitteisiin tai muuhun dataan.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AGM	Absorbed Glass Mat
COP	Coefficient Of Performance
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PWM	Pulse Width Modulation
UPS	Uninterruptible Power Supply
VRLA	Valve Regulated Lead Acid

1 JOHDANTO

Aihe käsittelee omavaraista energiatuotantoa omakotitalossa, jota ei ole kytketty yleiseen sähköverkkoon. Omakotitalon sähköistys hoidetaan akustoilla ja invertterijärjestelmällä. Akkuja ladataan aurinkopaneeleilla ja aggregaatilla. Lämmintä vettä tuotetaan aurinkokeräimillä ja puilla. Talossa on lisäksi varaava uuni. Opinnäytetyössä tutkitaan omakotitalojen eri lämmitysjärjestelmiä, lämmitysenergian tarvetta, omavaraista energiatuotantoa sekä kohteen energiajärjestelmää. Olemassa olevat laitteet ja komponentit kartoitetaan sekä luodaan laite- ja toimintakaaviot, jotta toimeksiantaja saa selkeän kuvan järjestelmästä. Työssä arvioidaan nykyisen järjestelmän sähköenergian kulutusta ja etsitään ratkaisua akkuongelmille. Akkutekniikka on hyvin tärkeä osa kohteen energiajärjestelmää, ja sitä käsitellään erillisessä luvussa. Parannustoimenpiteissä kuvataan järjestelmään tehtyjä muutoksia. Aurinkosähköenergian ongelmana Suomessa on pitkä talvi ja vähäiset säteet, joten työssä arvioidaan tuulivoimalan vaihtoehtoja, tekniikkaa ja kustannusarviota.

Työn tavoitteena on syntyä tietopaketti omavaraiseen energiatuotantoon sekä tutkia olemassa olevaa omakotitalon energiajärjestelmää. Valmis työ tulee palvelemaan yksityistä omakotitalon omistajaa ja kaikkia aiheesta kiinnostuneita. Aurinkopaneelien hinnat ovat tulleet alaspäin, mikä on osaltaan kasvattanut kuluttajien mielenkiintoa aurinkojärjestelmiä kohtaan. Tämä työ antaa hyvää tietoa tästä tekniikasta.

2 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA TEORIA

Suuri osa energiatarpeesta menee Suomen oloissa lämmitykseen. Markkinoilla on suuri valikoima erilaisia lämmitysjärjestelmiä. Kaikilla lämmitysjärjestelmillä on hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Omavaraisista lämmitysjärjestelmistä puhuttaessa vaihtoehdot ovat paljon pienemmät.

Parhaimmassa tapauksessa lämmitysjärjestelmän raaka-aine on saatavissa omalta maalta. Polttopuu on uusiutuvaa, kuuluu bioenergiaan ja se on hiilidioksidineutraalia. Biomassaan sitoutuu enemmän hiilidioksidia, kuin siitä vapautuu ilmakehään sen palaessa. Muita bioenergiaan kuuluvia ovat peltobiomassa, biokaasu ja muut puuperäiset polttoaineet. Lämpöpumpputekniikkaan perustuvat lämmitystavat ovat uusiutuvia osaltaan. Lämpöpumpuilla lämmitetään rakennuksia ja käyttövettä lämpöenergialla, joka on varastoitunut auringosta maahan, kalliioon, veteen tai ilmaan. (Rantala 2014, 33–35.)

2.1 Vaihtoehdot

Eri vaihtoehtoja lämmitysjärjestelmälle on paljon, jos korkea omavaraisuusaste ei ole tarkoituksena. Alla on listattuna eri järjestelmiä ja niistä voi muodostaa edelleen hybridijärjestelmiä: (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 34.)

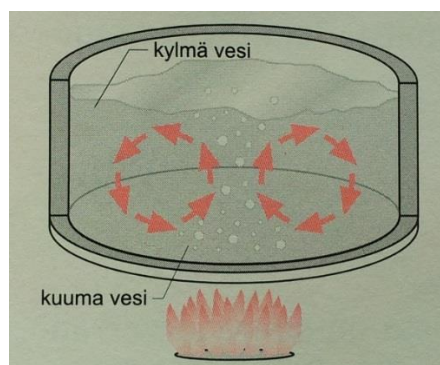
- puulämmitys
- aurinko
- maalämpö
- muut lämpöpumpputekniikat
- kaukolämpö
- varaava sähkö
- suora sähkö
- pelletti
- öljy
- maakaasu. (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 34.)

Omavaraisuusaste voi vaihdella paljon, ja lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa pitäisi kiinnittää erityisesti huomiota siihen, että voidaanko lämmitysenergiatarvetta vähentää. Talon paremmalla eristyksellä ja tiivydellä on suuri merkitys vuotaiseen lämmitysenergiaan. (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 4.)

2.2 Lämpöenergian siirtyminen

Materiaalit jaetaan lämmönjohteisiin ja lämmöneristeisiin ja rakennuksissa pyritään käyttämään materiaaleja ja rakenneratkaisuja, joilla estetään lämpöenergian siirtymistä rakenteiden ulkopuolelle. Lämpöenergian siirtymisen kolme keskeisintä tapaa ovat: kuljetus eli konvektio, johtuminen ja lämpösäteily. (Inkinen & Tuohi 2011, 407.)

Konvektiossa nesteet ja kaasut voivat kuljettaa lämpöenergiaa nopeasti. Prosessi vaatii siis aineen, joka voi virrata. Aine laajenee lämmitessään, joten sen tiheys pienenee ja sen seurauksena nousee ylöspäin. Konvektio on luonnollista, kun ainevirtaus tapahtuu tiheyserojen seurauksena. Tilanteesta käytetään nimityksenä myös vapaata konvektiota. Vastaava tilanne on asunnon lämmityspatterien toiminnassa. Lämmennyt ilma nousee lämmityspatterin yläpuolella ja kylmää ilmaa virtaa vastaavasti tilalle ja kierto jatkuu. Samanlaista tilannetta kuvaa hyvin kuvion 1 vesikattilan konvektiovirrat. (Inkinen & Tuohi 2011, 407.)



Kuvio 1. Vesikattilan konvektiovirrat (Inkinen & Tuohi 2011, 407.)

Vapaa konvektio mahdollistaa myös lämminvesivaraajan lämmityksen, vaikka lämmityskattilan ja varaajan välisissä putkissa ei olisikaan siirtopumppua. Ra-

kennusten vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä käytetään kuitenkin siirtopumppua, jolloin kyseessä on pakotettu konvektio. (Inkinen & Tuohi 2011, 407.)

Lämpöenergian johtuminen aineessa on molekyylien liikkeen seurausta. Aineen kuumennus saa molekyylit värähtelemään. Metalleilla on paljon vapaita elektroneja, jotka voivat johtaa lämpöenergiaa etäälle. Tällöin johtuminen on seurausta molekyylien värähtelyistä ja vapaiden elektronien liikkumisesta. Tämä tekee niistä hyviä lämmönjohteita. Monet rakennusmateriaalit ovat taas hyviä lämmöneristeitä. Lämmönjohtumisen edellytyksenä on lämpötilaero, ja koska Suomen oloissa rakennuksen ja ulkoilman lämpötilaero voi olla hyvinkin suuri, niin rakenteen eristävyydellä on suuri merkitys. (Inkinen & Tuohi 2011, 409–411.)

Kolmas lämpöenergian siirtymistapa on säteily. Kaikki kappaleet lähettävät pinnaltaan jatkuvasti energiaa sähkömagneettisena säteilynä. Kappaleet emittoivat energiaa, joka on peräisin atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä. Leivän paahdin on tuttu laite, joka hyödyntää lämpösäteilyä. Säteily ei tarvitse siirtymiseen väliainetta. Tavallinen ikkuna päästää parhaiten auringon lyhytaaltoiset näkyvän valon säteet läpi, joka absorboituu rakennuksen sisällä oleviin kohteisiin. Rakennuksen sisälämpötila nousee, koska kohteiden pitkäaaltoinen lämpösäteily heijastuu takaisin sisälle ikkunan lasista tai absorboituu siihen. Kasvihuoneet toimivat tällä periaatteella. (Inkinen & Tuohi 2011, 418–426.)

2.3 Lämmitysenergian tarve

Talon lämmitysenergiaa kuluu tilojen, käyttöveden ja tuloilman lämmitykseen. Pientalossa energiaa kuluu näiden lämmitykseen noin 10000–20000 kWh vuodessa. Lämmitysenergian vuosikulutus tavallisessa pientalossa on noin 100–120 kWh/m². Matalaenergiatalon kulutus on tästä noin puolet, ja passiivitalot kuluttavat lämmitykseen vain 20–30 kWh/m². Tavallisessa pientalossa käyttöveden lämmityksen osuus koko lämmitysenergiasta on noin 20–30 %. Asukasta kohden energiaa kuluu lämmitettävään käyttöveteen noin 1000–1500 kWh. Käyttöveden kulutusta voi pienentää pelkästään käyttötottumuksia muuttamalla,

ja sillä onkin suuri merkitys vuosittaisiin lämmityskustannuksiin, eikä rakenteellisia muutoksia tarvita. (Pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 6–7.)

Lämmitystehon tarve muodostuu rakennuksen häviöistä ja lämpimästä käyttövedestä. Kokonaislämpöteho koostuu seuraavista häviöistä: (Seppänen 1995, 102.)

- ulkovaipan johtuminen
- maahan johtuminen
- ilmanvaihdon lämmitystarve
- vuotoilman lämmitystarve
- käyttöveden lämmittäminen. (Seppänen 1995, 102.)

Lämmitystehon tarve määritetään huonekohtaisesti lämmönluovuttimien koon valitsemiseksi. Rakennuksen kokonaislämpötarve määrittää lämmöntuotto- ja siirtolaitteiston mitoituksen. Lämmitystarve muodostuu pääasiassa vaipan läpi johtumisesta, vuotoilmasta ja ilmanvaihdosta. Koska lämpimän käyttöveden käyttö ei ole jatkuvaa, ja yleensä se on vain hetkellistä, ei se välttämättä nostata rakennuksen lämmöntuottolaitteiston tehoa. Lämpimän käyttöveden tarpeen ollessa $< 0,2 \times$ lämmitysteho, voidaan se jättää huomioimatta kokonaislämpötehoa laskiessa. (Seppänen 1995, 102.)

Veden ominaislämpökapasiteetti, kun lämpötilariippuvuutta ei oteta huomioon, on keskimäärin $4190 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, ja sen avulla voidaan laskea lämminvesivaraajan lämmittämiseen tarvitsema lämpömäärä Q . (Inkinen & Tuohi 2011, 381.)

$$Q = mc\Delta t \tag{1}$$

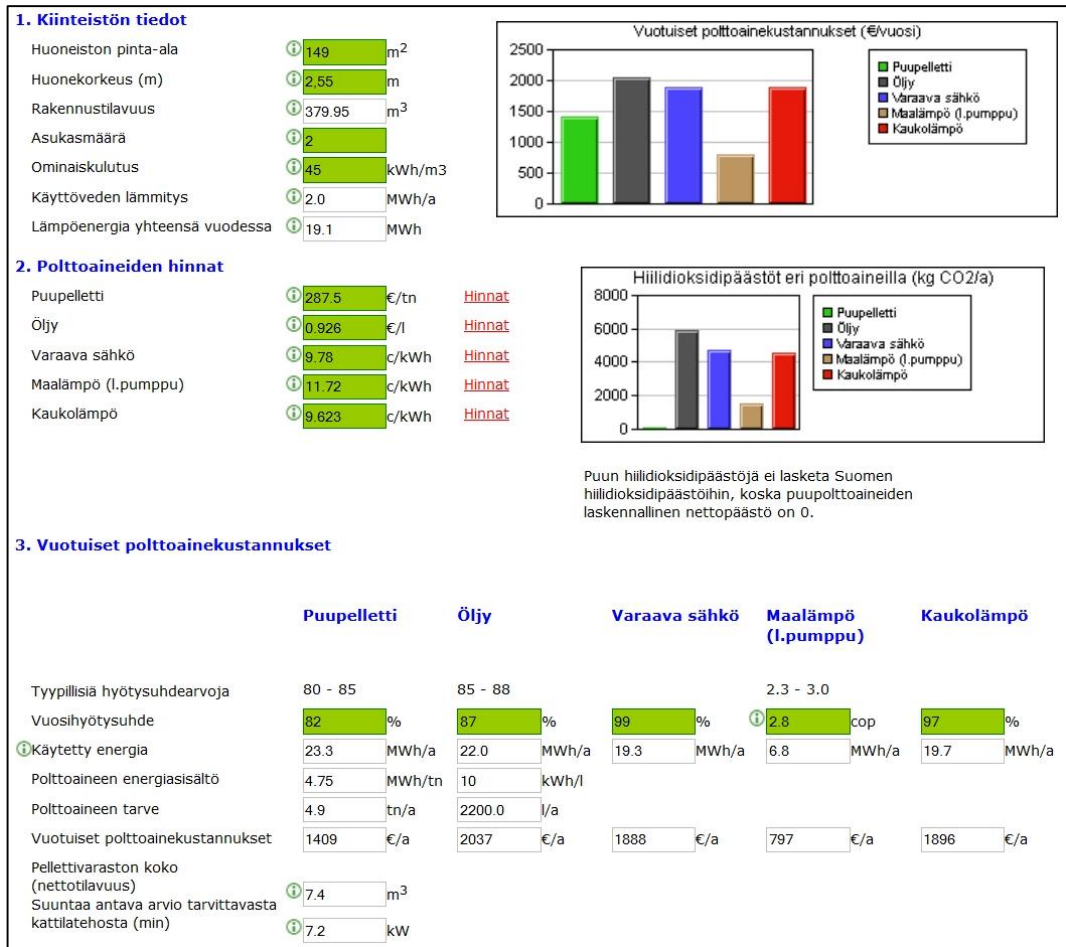
missä

Q	on	lämpömäärä [J]
m	on	massa [kg]
c	on	veden ominaislämpökapasiteetti [$\text{J/kg}\cdot\text{C}$]
Δt	on	lämpötilaero [K]

Omavaraisessa lämmitysenergian hyödyntämisessä lämmitysvaraajan koko tulisi olla suurehko. Sen avulla voidaan varastoida suuri määrä lämmitysenergiaa kerralla, eikä vettä tarvitse lämmittää niin tiheään.

Esimerkkinä 500 litran varaajan vesi lämmitetään 30 °C:sta 75 °C:een käyttäen puukattilaa. Kaavan 1 mukaan lämpömäärä $Q = 500\text{kg} * 4190 \text{ J}/(\text{kg} * \text{K}) * (75 \text{ °C} - 35 \text{ °C}) = 94.275\text{MJ}$. $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$, jolloin veden lämmittämiseen tarvittava energia on $94.275\text{MJ}/3600 = 26.188\text{kWh}$. Kuivan puun tehollinen lämpöarvo on noin 18 MJ/kg, jolloin puita tarvittaisiin noin 5.24 kg. Tähän vaikuttaa kuitenkin puukattilan hyötysuhde sekä muut lämpöhäviöt eristyksissä. Puukattilan hyötysuhteen ollessa esimerkiksi 80 %, puita tarvittaisiin noin 6.5–7 kg. Jos sama määrä energiaa tuotettaisiin 6 kW sähkövastuksella (11c/kWh), aikaa kuluisi noin 4.5 tuntia ja hinnaksi tulisi noin 3 euroa. (Inkinen & Tuohi 2011, 137, 394; Alakangas 2000, 73.)

Kuviossa 2 on käytetty energialaskuria, jonka kehityksessä on ollut mukana Jyväskylän ammattikorkeakoulu, VTT, Jyväskylä Innovation Oy ja Atlantis Consulting Oy. Laskurissa on käytetty vastaavan kokoista omakotitaloa kuin tämän työn kohde. Laskurissa on otettu huomioon huonekorkeus, joten lämmitysenergian ominaiskulutus vuodessa $45 \text{ kWh}/\text{m}^3$ vastaa samaa kuin $115 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Hinnat ovat kesältä 2014, mutta polttoöljyn hinta on päivitetty 15.2.2015. Osiossa kolme on arvio vuotuisista polttoainekustannuksista. Puupelletin ja normaalin klapipuun tehollinen lämpöarvo on hyvin lähellä toisiaan, joten ne ovat verrattavissa toisiinsa, olettaen, että puukattila on hyötysuhteeltaan hyvä.



Kuvio 2. Energialaskuri (Biohousing heating tool 2008.)

3 OMAVARAINEN ENERGIATUOTANTO

Omavaraiseen energiatuotantoon on neljä päälähdettä: aurinko, tuuli, puutuotteet ja lämpöpumpputekniikat. Nämä kaikki hyödyntävät uusiutuvia energialähteitä, ja niillä voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. Yksityiskäytössä puilla ja puutuotteilla tuotetaan pääasiassa vain lämpöä. Auringolla ja tuulella tuotettu sähkö voidaan varastoida akkuihin tai syöttää suoraan verkkoon, jos kohde on sähköverkossa. Tuotettu lämpöenergia voidaan varastoida vesivaraajaan tai rakenteisiin. (Rantala 2014, 31.)

Aurinkoenergian käyttö voi olla passiivista tai aktiivista. Aktiivisessa hyödyntämisessä tuotetaan lämpöä tai sähköä ja passiivisessa vain lämpöä. Tuulienergia on laajemmin hyödynnettävissä yksityisillä kuin vesienenergia. Sähkötuotantoa ajatellen aurinko- ja tuulienergia ovat yksityiselle potentiaaliset vaihtoehdot. (Rantala 2014, 33.)

3.1 Aurinkoenergia

Aurinkopaneeleita sähkötuotannossa on ollut käytössä Suomessa jo pitkän aikaa, mutta käyttö on rajoittunut lähinnä mökkikäyttöön. Asuintalokäytössä suuremmat järjestelmät ovat vielä kovin harvinaisia, vaikka kennoja on kehitetty jo usean vuosikymmenen ajan. Suurempien järjestelmien yhtenä esteenä on ollut korkea hinta sekä myös asenteilla on suuri merkityksensä. Aurinkopaneelien hinnat ovat kuitenkin laskeneet viime vuosina. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 120.)

3.1.1 Säteilymäärä Suomessa

Vuoden aikana säteilymäärä vaihtelee eri maissa ja kokonaissäteily koostuu auringosta suoraan tulevasta ja hajasäteilystä. Kirkkaalla ilmalla maahan tuleva energiamäärä on noin 1 kW/m^2 . Suomessa hajasäteilyn osuus on merkittävä. Hajasäteilyä syntyy ilmakehän, pilvien ja maan heijastamana. Suomessa erityisesti keväällä lumi heijastaa hajasäteilyä. Aurinkopaneelien sijoituksella ja kal-

listuskulmalla on merkitystä säteilyn määrään. Esimerkiksi pystyyn asennettu paneeli saa hajasäteilyä paremmin lumesta, vesistöistä ja kiiltävästä kattopin-
nasta, mutta taas kesällä kallistuskulman tulisi olla loivempi. (Erat, Erkkilä, Ny-
man, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 11.)

Helsingin vuosittainen säteily määrä vaakasuuralle pinnalle on noin 938 kWh/m²,
Jyväskylässä 870 kWh/m² ja Sodankylässä noin 800 kWh/m². Suuntaamalla
paneelit esimerkiksi 30–45 ° kulmassa etelään päin, voidaan säteilyn määrää
lisätä. Etelä-Suomen säteilymäärät ovat Pohjois-Saksan tasolla. Kuviossa 3 on
Suomen vuosittainen säteily määrä (kWh/m²) optimaalisesti asennetuille ken-
noille. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 13–16.)



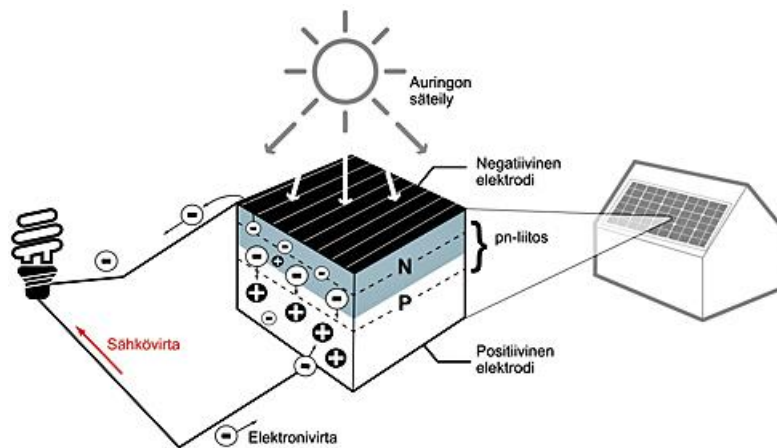
Kuvio 3. Vuosittainen säteily määrä suomessa (Suri, Huld, Dunlop & Ossenbrink
2007.)

Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan maksimitehona (Wp tai Pmax), joka
on määritelty laboratoriossa standardiolosuhteissa (Standard Test Condition,

STC) standardin IEC 60904 mukaan. Siinä auringon säteily määrä on 1 kW/m^2 ja lämpötila $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.1.2 Aurinkopaneelit

Sähköä voidaan tuottaa aurinkopaneeleilla, jotka koostuvat useista pienemmistä aurinkokennoista. Kennot valmistetaan tavallisesti puolijohdteesta piistä (Si) PN-liitoksella. PN-liitos koostuu kahdesta lähes samanlaisesta puolijohdemateriaalista (p-materiaali ja n-materiaali), joihin seostetaan erityyppisiä vieraita atomeja. Näin ollen n-materiaalissa on ylimääräisiä elektroneja ja p-materiaalissa on elektronialijäämä. Tällä seoksella saadaan kennoon sähkökenttä. Kun auringonsäteilyn fotonit osuvat kennoon, se vapauttaa sen elektroneja, jolloin aurinkokennon sähkökenttä ajaa n-materiaalissa syntyneet aukot p-materiaaliin ja p-materiaalissa vapautuneet elektronit n-materiaaliin. N-materiaalista elektronit voidaan syöttää kuvion 4 mukaisesti ulkoiseen virtapiiriin. (Helsinki University of Technologies 2015.)



Kuvio 4. Aurinkokenno (Motiva 2014.)

Kennoteknologiat voidaan jakaa kolmeen sukupolveen. Kaupallisessa käytössä on eniten yksi- (Crystalline silicon, c-Si) ja monikiteisiä (Multicrystalline silicon, mc-Si) piikkennoja. Nämä kuuluvat ensimmäiseen sukupolveen. Yksikiteisen kennon hyötysuhde voi olla parhaimmillaan 25 prosenttia, kun taas monikiteisen 20 prosentin luokkaa. Monikiteinen on valmistusprosessiltaan helpompi ja näin edullisempi. Kaupallisessa käytössä olevat kennot ovat hyötysuhteeltaan 12–17

prosenttia. Toiseen sukupolveen kuuluvat ohutkalvokennot, jotka myöskin perustuvat valosähköiseen ilmiöön ja puolijosteiden pn-liitoksen sähkökenttään. Nanokidekennot ovat tutkimusasteella ja kuuluvat kolmanteen sukupolveen. Niissä elektronien liike saadaan aikaan kemiallisella reaktiolla. (Helsinki University of Technologies 2015.)

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään kaavalla 2 käyttäen standardiolosuhteen säteilymäärää, paneelin nimellisteho (W_p) ja pinta-alaa.

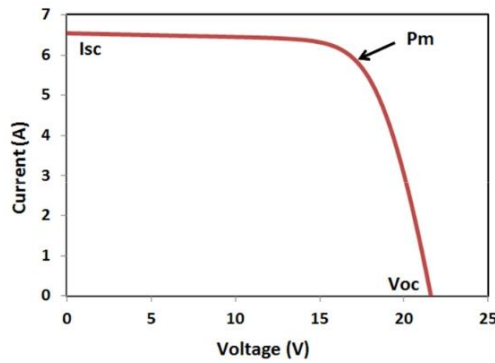
$$\eta = \frac{W_p}{A \cdot I_{ref}} \quad (2)$$

missä

η	on	Hyötysuhde [-]
W_p	on	Paneelin nimellisteho [W]
A	on	Paneelinpinta-ala [m ²]
I_{ref}	on	Auringon säteilyvoimakkuus [1000W/m ²]

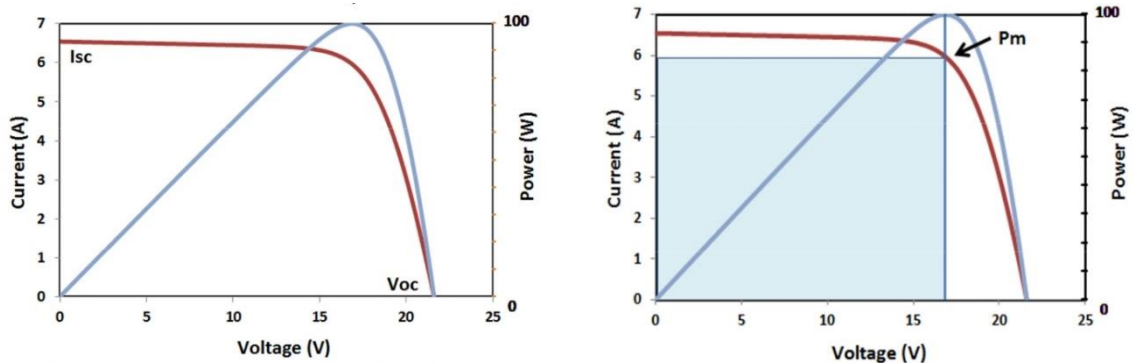
Tuottoon vaikuttavat monet asiat, kuten lämpötila, suuntauskulma ja paneelien puhtaus. Lisäksi suuressa merkityksessä ovat myös järjestelmän muiden laitteiden hyötysuhde ja kunto. Lataussäätimissä on myös omat häviönsä. Jos aurinkopaneeleilla ladataan akkuja, niin niiden kunnolla on suuri merkitys.

Aurinkopaneelien ja akkujen väliin tarvitaan aina lataussäädin ohjaamaan latausta sekä estämään akkujen yllilataus. Markkinoilla on hyvin saatavilla PWM- ja MPPT-tekniikkaan perustuvia lataussäätimiä. PWM-säädin toimii yksinkertaistettuna suorana kytkimenä akkujen ja paneelien välissä. PWM-lataussäätimen käytössä paneelien jännite putoaa ladattavien akkujen tasolle latauksessa, vaikka paneelien avoimen piirin jännite olisikin selvästi korkeampi. Kuviossa 5 on erään 100W paneelin jännite-virta-kuvaaja lämpötilassa 25 °C ja säteilymäärä 1000W/m². (REPS 2013, 3.)



Kuvio 5. 100Wp aurinkopaneeli jännite-virta kuvaaja (Victron Energy 2014, 1.)

Kuviossa 6 kuvaajaan on lisätty vielä teho-jännite-kuvaaja, niin voidaan lukea helposti maksimi teho P_m , joka saadaan virran arvolla 5.9A ja jännitteen arvolla 17V.



Kuvio 6. Jännite-virta-teho-kuvaaja (Victron Energy 2014, 2.)

Akun nimellisjännitteen ollessa 12V PWM-säädin ei pysty kokonaan hyödyntämään aurinkopaneelin maksimitehoa, koska jännite jää latauksessa noin 14.4V:iin. PWM-säädin jakaa aurinkopaneelin antaman virran osiin, kun akku alkaa olla täynnä. Pulssimaisella virran syötöllä jännite pysyy 14.4V:ssa, eikä ylitä sitä. Kun pulssit ovat lopulta hyvin lyhyitä, lataussäädin tunnistaa, että akku on täynnä ja antaa jännitteen laskea ylläpitojännitteeseen. Ylläpitojännitteessä sama pulssimainen virtasyöttö jatkuu, pitäen jännitteen noin 13.6V:ssa. (REPS 2013, 3.)

MPPT-lataussäätimissä aurinkopaneelien jännite ei putoa akun jännitteen tasolle. Lataussäädin voi hyväksyä esimerkiksi nimellisjännitteeltään 12V:n akun

latauspuolelle ja 36V:n aurinkopaneelin tulo puolelle. Lataussäädin käyttää hyväksi koko aurinkopaneelin jännite-virta käyrän ja laskee sen perusteella maksimi tehon P_m . Lataussäädin syöttää akulle asetetulla latausjännitteellä maksimivirran. MPPT-tekniikka mahdollistaa aurinkokennon paremman hyödyntämisen ja edun siirtojohtimissa, koska aurinkopaneelien syöttämä teho voidaan siirtää suuremmalla jännitteellä. Tämä mahdollistaa suuremman tehon siirtämisen poikkipinta-alaltaan pienemmillä johtimilla. (Victron Energy 2014, 3.)

Sähköverkkoon kytketyssä kohteessa aurinkopaneelien tuotto syötetään verkkoinvertterin kautta verkon rinnalle. Verkkoinvertteri tunnistaa verkon taajuuden ja tahdistuu sen mukaiseksi. Pienemmissä järjestelmissä aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia syötetään vain yhteen vaiheeseen, kun taas suuremmat järjestelmät tuottavat jokaiseen kolmeen vaiheeseen.

Aurinkopaneelijärjestelmän vuosituoton voi laskea kaavalla 3 standardin EN 15316-4-6 mukaan.

$$E = \frac{E_{sol} \times P_{pk} \times f_{perf}}{I_{ref}} \quad (3)$$

missä

E	on	Vuosituotto [kWh/a]
E_{sol}	on	Vuotuinen auringonsäteily [(kWh/m ²)/a]
P_{pk}	on	Huipputeho [kW]
f_{perf}	on	Tehokkuuskerroin [-]
I_{ref}	on	Auringon säteilyvoimakkuus [1kW/m ²]

Tehokkuuskerroin f_{perf} ottaa huomioon järjestelmän häviöt laturissa/invertterissä, sekä aurinkopaneelien tuuletustavan. Tuuletustapaa arvioidaan erityisesti silloin, kun aurinkopaneelit on integroitu rakennuselementteihin. Aurinkopaneelit tuottavat paremmin viileässä ilmassa. Tämä on etu Suomen oloissa keväisin, kun säteily tehostuu hangesta heijastuen ja lämpötila on alhainen. E_{sol} laskeaan kaavalla 4, jossa käytetään alueen aurinkosäteilymäärää vaakapinnalle ja kertoimena kallistuskulmaa ja suuntausta. Suuntaamalla aurinkopaneelit etelää kohti ja kallistus kulman ollessa noin 30 °, voi kerroin olla yli 1.

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \times f_{tit} \quad (4)$$

missä

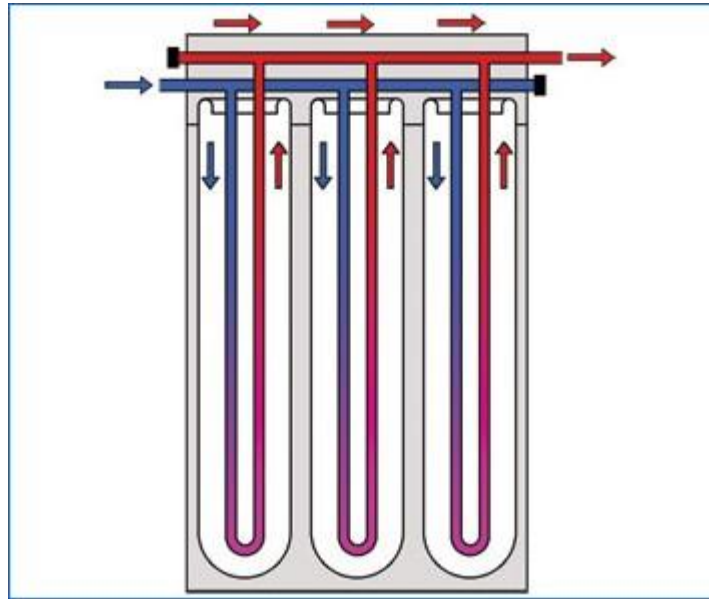
$E_{sol,hor}$ on Vuotuinen auringonsäteily vaakapinnalle [(kWh/m²)/a]

f_{tit} on Suuntauksen ja kallistuksen muuntokerroin [-]

3.1.3 Aurinkokeräimet

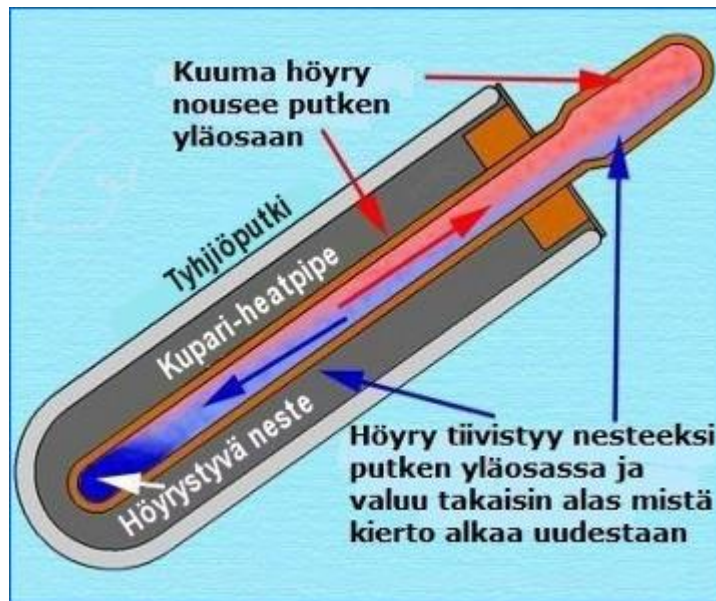
Aurinkokeräimet ja aurinkopaneelit sekoittuvat herkästi keskenään keskusteluissa. Aurinkokeräimiä käytetään esimerkiksi lämmittämään käyttö- ja lämmitysvettä. Kiertopiirissä käytetään vesi-glykoliseosta, jotta talven aikana putket eivät jäätyisi. Aurinkokeräimillä voidaan lämmittää myös suoraan ilmaa, jota kierrätetään lämmitettävässä kohteessa.

Aurinkoenergian passiivisessa hyödyntämisessä lämmitysenergia saadaan taan ikkunoiden kautta ja seinien lämpiämisen kautta. Aktiivisessa järjestelmässä hyödynnetään lisälaitteita, kuten aurinkokeräimiä. Aurinkokeräimiä, joita kutsutaan myös aurinkoabsorbaattoreiksi, on tekniikaltaan monenlaisia. Yksityiskäytössä yleisimpiä ovat tyhjiöputkikeräimet, tasokeräimet ja ilmakeräin. Tyhjiöputkikeräimiä on kahdenlaisia, toisessa käytetään märkäliitäntää ja toisessa kuivaliitäntää. Märkäliitännässä (kuvio 7) kiertopiirin neste virtaa vakumiputken sisällä olevan kupariputken sisällä. (Lindström 2008, 4-7.)



Kuvio 7. Tyhjiöputkikeräimen märkäliitäntä (Energia auringosta 2015.)

Kuivaliitännässä ns. heat pipe-tekniikassa kiertopiirin neste ei kierrä vakumiputken sisällä, vaan absorbaattorissa on oma lämmönsiirtoneste (kuvio 8). Vakumiputki höyrystää nesteen, joka nousee ylös. Ylhäällä tiivistyessään se luovuttaa lämpöä kiertopiiriin. Nesteet eivät ole suoraan kosketuksissa toisiinsa. Kuivaliitännän yksi etu on se, että tyhjiöputkia voidaan irrottaa yksitellen ilman, että kiertopiiriä tarvitsisi tyhjentää. Esimerkkinä on tilanne, jossa yksi tyhjiöputki särkyisi, jolloin uusi voidaan asentaa tilalle häiritsemättä kiertopiiriä. Tyhjiöputkitekniikka on hyötysuhteeltaan 30–60 %. Suomen oloissa sitä voidaan etenkin hyödyntää paremmin keväällä ja syksyllä, koska kylmemmälläkin ilmalla tyhjiöputki eristää hyvin ja auringon lämpö saadaan talteen. (Lindström, 2008, 4–7; Rantala 2014, 39.)



Kuvio 8. Tyhjiöputkikeräimen kuivaliitântä (Energia auringosta 2015.)

Tasokeräimet koostuvat hyvin eristetyistä laatikosta, jonka sisällä on absorboiva levy, jonka lomassa kulkevat kupariputket. Tasokeräin on halvempi valmistaa mutta sen hyötysuhde on hieman huonompi verrattuna tyhjiöputkikeräimiin. Hyötysuhde on 25–50 % luokkaa. Tasokeräimiä voi valmistaa myös itse. Ilma-keräin muistuttaa tasokeräimen rakennetta. Nimensä mukaisesti sillä lämmitetään ilmaa ja se johdetaan lämmitettävään tilaan. (Lindström, 2008, 4–7; Rantala 2014, 38.)

Aurinkokeräimien tuotto määräytyy paljon sen mukaan, millainen järjestelmä on. Tarkan vuosituoton määrittäminen on haastavampaa kuin aurinkopaneeleilla. Järjestelmällä, jossa aurinkokeräimiä käytetään esilämmittämään lämminvesivaraajan vettä, voi tuottaa vuoden aikana enemmän lämpöenergiaa, kuin järjestelmällä jolla lämmitetään käyttövettä. Suomen oloissa rakennukset tarvitsevat muitakin lämmönlähteitä, koska talvella kylmimpään aikaan auringon säteilyä on vähiten saatavilla. Aurinkokeräimet toimivat lisälämmönlähteenä, ja ne voidaan liittää minkä tahansa lämmitysjärjestelmän rinnalle. Lämmintä käyttövettä tarvitaan myös kesällä, joten sen tuottaminen on kohtuullisen helposti toteutettavissa, ja se onkin monesti ensimmäinen askel kohti aktiivista aurinkolämmön hyödyntämistä. (Rantala 2014, 40–41.)

3.2 Tuulienergia

Tuulivoimalalla muutetaan ilman virtauksen liike-energiaa generaattorin avulla sähköenergiaksi. Liike-energiaa voidaan käyttää myös suoraan esimerkiksi veden pumppaamiseen mutta tässä luvussa keskitytään vain sähköenergian pientuotantoon. Yksityiskäytössä energia varastoidaan akkuihin tai syötetään verkkoon. Sähköenergia voidaan muuttaa suoraan myös lämmöksi. Tyypillisin rakenne on vaaka-akselinen tuuliturbiini, jossa roottori on yleensä 3 lapainen. Generaattori on kytketty joko suoraan roottoriin, tai välissä käytetään vaihdelaatikkoa. Tuotettu sähköenergia siirretään säätimen avulla kohteeseen. Tuulivoimalaan kuuluu paljon komponentteja ja se nostaa hankintakuluja. Liikkuvat osat myös kuluvat ja aiheuttavat melua. Tuuliturbiinin sijoituksella on suuri merkitys tuotannon kannalta. (Suomen tuulivoimayhdistys 2015.)

Pientuulivoimala määritetään siten, että roottorin pinta-ala on alle 200 m² ja nimellisteho alle 50 kW. Pientuulivoimaloita on maataloudessa, mökeissä, laitoksissa, kotitalouksissa ja purjeveneissä. Näissä nimellisteho on määritelmää selvästi pienempi. Yksityiskäytössä nimellistehot liikkuvat 0,1–10 kW välillä. Kesämökeillä käytettävät voimalat ovat muutaman 100 W:in tehoisia ja lapojen halkaisija noin 2 m, kun sähkön käyttö rajoittuu pieneen kulutukseen. Led-tekniikka mahdollistaa nykyään pienen kulutuksen valaistuksessa. Verkkoon liitettyjen tai lämmityskäytössä olevien voimaloiden nimellisteho on yli 2 kW ja lapojen halkaisija 4 metristä ylöspäin. Maston korkeus on 5–30 m. (Suomen tuulivoimayhdistys 2015.)

3.2.1 Toiminta ja rakenne

Tuulivoimala perustuu kahteen toimintaperiaatteeseen. Kun tuulivoimalassa on potkuri, se perustuu aerodynaamiseen voimaan. Ilman virtaus muodostaa nosteen potkurin lapaan, joka saa sen pyörimään. Vastaava noste on myös lentokoneen siivissä. Potkurivoimalat ovat vaaka-akselisia. Pystyakselinen voimalan toiminta perustuu työntävään vaikutukseen, aerodynaamiseen voimaan tai näiden yhdistelmiin. Suuret tuulivoimalat ovat yleensä vaaka-akselisia ja kolmila-

paisia. Savonius- ja Darrieusvoimalat ovat pystyakselisia, joista Savoniusvoimala on suomalainen keksintö 1920-luvulta. Vaaka-akselisen potkurivoimalan etuna on vähemmällä materiaalilla saavutettava suurempi tuulta hyödyntävä pinta-ala ja mitä suurempi pinta-ala, sitä paremmin tuulta voidaan hyödyntää. Pysty-akselinen voimala taas toimii paremmin turbulentsilla tuulella ja ei välttämättä tarvitse erillistä myrskysuojausta. (Eklund 2011, 4.) Suomalainen Windside valmistaa pitkälle kehitettyjä ruuvimaisia pystyakselisia tuulivoimaloita, joiden myrskytuulien kesto on hyvin korkea. Windside-turbiinit ”sulautuvat” myös hyvin kaupunkiympäristöön. Kuvassa 1 on Raision Mylly-kauppakeskuksen mainostorniin asennettuna kaksi Windside WS-12 tuuliturbiinia. Yhden tuuliturbiinin pyyhkäisyypinta-ala on 12m^2 . Samanlainen pyyhkäisyypinta-ala saadaan vaaka-akseliselällä turbiinilla, jos siiven pituus on noin 1,95m. Vaaka-akselisen pyyhkäisyypinta-ala ja säde saadaan kaavoilla 5 ja 6.

$$A = \pi \times r^2 \tag{5}$$

missä

A	on	pyyhkäisyypinta-ala [m^2]
r	on	siiven/lavan pituus [m]

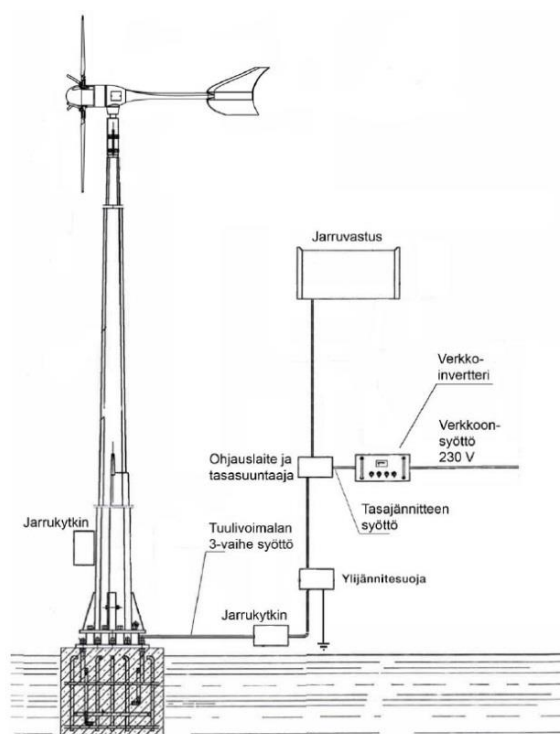
Kaavasta voidaan johtaa seuraavasti.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{6}$$



Kuva 1. Kaksi Windside WS-12 tuuliturbiinia

Pientuulivoimaloissa ei tavallisesti ole vaihteistoa. Tämä yksinkertaistaa ja keventää rakennetta. Generaattorilla tuotettu vaihtosähkö tasasuunnataan ja syötetään joko yleiseen sähköverkkoon verkkoinvertterillä tai akkuihin lataussäätimellä. On myös mahdollista, että tuulivoimalalla syötetään sähkö pelkästään lämmitysvastuksiin. Kuviossa 9 on verkkoon syöttävän järjestelmän rakenne. Generaattorin rakenteen ja monipuolisten invertterien sekä lataussäätimien avulla tuulivoimalassa ei välttämättä tarvita vaihteistoa. Verkkoinvertterit tunnistavat yleisen verkon jännitteen ja taajuuden, jolloin niillä voi syöttää rinnalle tuulivoimalalla tuotetun sähköä. Verkkoinverttereitä on yksivaiheisia ja kolmivaiheisia. Jos vaihetta kohden tuotettua sähköä ei itse kuluta, se syötetään yleiseen verkkoon, minkä vuoksi sähköverkon omistajalta tarvitaan lupa verkkoinvertterin asentamiseen. Turvallisuuden vuoksi verkkoinvertterit eivät syötä sähköä verkkoon, jos yleinen sähköverkko on tullut alas. Ne eivät toimi varajärjestelmänä, ellei käytetä erillisiä katkaisijoita, joilla erotetaan talo ja yleinen sähköverkko. (Eklund 2011, 13.)



Kuvio 9. Tuulivoimalajärjestelmän rakenne (Eklund 2011, 12.)

Vapaa-ajan asunnoissa tuulivoimaa hyödynnetään monesti akkujen latauksessa. Akkujen ja tuulivoimalan generaattorin välillä toimii lataussäädin, johon on ohjelmoitu latausohjelmia. Monipuolinen lataussäädin seuraa akkujen latausta ja ohjaa tarvittaessa ylimääräisen sähköenergian hukkuormalle. Hukkakuormitusta tarvitaan, ettei tuulivoimalan kierrosnopeus kasva liian suureksi. Tällöin akkujen ollessa täynnä, hukkuormituksen energia muutetaan lämmöksi ja se kannattaa varastoida lämminvesivaraajaan. Käyttämällä koteloituja seinälle asennettavia jarruvastuksia sähköenergia muuttuu myös lämmöksi, mutta sen varastointi on vaikeampaa, jolloin kokonaishyöty on silloin pienempi.

Pientuulivoimaloiden valmistajia on sadoittain, joten markkinoilla on tarjolla myös vähemmän laadukkaita tuotteita. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio IEC on standardoinut pientuulivoimaloille tekniset vaatimukset. Standardin IEC 61400-2 mukaan suunniteltua tuulivoimalaa voidaan pitää luotettavana, mutta varsinainen todiste luotettavuudesta on tyyppihyväksyntä. Tyyppihyväksynnän suorittaa jokin kansainvälinen katsastuslaitos. Tyyppihy-

väksytyjä pientuulivoimaloita on toistaiseksi kuitenkin vähän suhteessa valmistettuihin, koska testauksen toteuttaminen on kallista. (Eklund 2011, 6–7.)

On selvää, että tuulivoimalan teho kasvaa sen myötä, mitä kovemmin tuulee, mutta erittäin kovilla tuulilla on myös ongelmansa. Myrskysuojausta tarvitaan, jotta laitteisto ei särkyisi. Tuuliturbiinin kierrosnopeutta voidaan rajoittaa kääntämällä sitä pois päin tuulen tulosuunnasta tai sitten lapojen kulmaa säätämällä. Finnwind Oy:n Tuule E200-tuulivoimalan myrskysuojaus on sähköjärjestelmistä riippumaton ja perustuu tuulivoimalan peräsimen toimintaa. Peräsin ohjaa normaalisti kiinteälapaista potkuria tuulta kohti, mutta tuulenpaineen kasvaessa liikaa se kääntää potkuria sivuttain tuulta vasten, jolloin tuulipinta-ala pienenee ja teho rajoittuu. Tässä tilanteessa voimala tuottaa edelleen energiaa, mutta hetkellinen teho vaihtelee voimakkaasti. (Finnwind 2015.)

Sonkyo Energyn Winspot tuulivoimalassa käytetään passiivista lapakulmasäättöä. Lapojen tyveen on asennettu vääntövivut, jotka toimivat keskipakovoiman avulla, kun tuulen nopeus kasvaa riittävästi. Kääntömekanismi kääntää lapojen etureunoja tuulta kohti, mitä enemmän tuulee. Tämä mekanismi tuottaa tasaisempaa tehoa, vaikka pyörimisnopeutta pyrkiikin rajoittamaan. Kuvassa 2 on esillä näiden tuulivoimaloiden rakennetta. Myrskysuojaus, joka perustuu peräsimen toimintaa, on rakenteeltaan yksinkertaisempi ja kevyempi. Hyötysuhde on taas suurempi lavankääntömekanismilla, mutta sen toimivuudessa on otettava huomioon talviolosuhteet ja jäätyminen. Pientuulivoimaloissa ei yleensä ole aktiivista lavankääntömekanismia, koska se monimutkaistaa rakennetta ja kasvattaa valmistuskustannuksia. (Windspot 2015.)



Kuva 2. Windspot ja Tuule E200 tuulivoimala

3.2.2 Tuuliolosuhteiden hyödyntäminen

Ennen tuulivoimalan hankintaa tulisi selvittää, minkä verran alueella tuulee. Varmin tapa on mitata pitkällä aikavälillä käyttäen tuulimittaria, joka tallentaa tiedot myöhempää tarkastelua varten. Mittausdataa olisi hyvä kerätä useita kuukausia ja mielellään ainakin yksi vuosi. Tällä tavalla voidaan laskea keskimääräinen tuulen nopeus. Tuulitietoja voi tiedustella myös kaupungilta. Lentokentillä on myös omat mittausasemat. Ilmatieteenlaitoksen web-pohjainen Tuuliatlas tarjoaa laskennallisia arvioita tuulista. Ohjelma on kuitenkin tarkoitettu suurtuulivoimaloita varten, joten ilmoitetut keskimääräiset tuulet ovat laskettu 50m ja sitä korkeammilla alueilla. Pientuulivoimalat ovat yleensä matalammalla, joten Tuuliatlaksen tiedot ovat vain suuntaa antavia.

Tuulivoimalan sijoituspaikkaan tulee kiinnittää huomiota, ja sen sijoituksella on myös otettava naapurit huomioon. Mökkikäytössä tuulivoimaloita on sijoitettu rakennuksen katolle, jolloin maston ei tarvitse olla niin korkea. Tuulivoimalan kiinnitys rakennukseen vaatii hyvän vaimennuksen, muuten se aiheuttaa rakenteisiin johtuvaa melua. Nämä ovat kuitenkin yleensä aika pieniä tuulivoimaloita ja kulutus muutenkin pienempää. Omakotitalon kulutus on suurempaa ja tuulivoimalan koko pitää olla jo merkittävästi isompi, jotta siitä olisi hyötyä. Esimerkiksi Windspotin vaaka-akselinen 1.5 kW:n tuulivoimalan roottorin halkaisija on 4.05m. Nimellisteho 1.5 kW saavutetaan 12 m/s tuulella ja tuulivoimala käynnistyy 3 m/s tuulella. Tuulivoimalan valinnassa on tärkeää kiinnittää huomiota tuot-

tokäyrään eri tuulen nopeuksilla ja siihen, että valmistajan ilmoittamat tuottokäyrä on luotettava.

Tuulivoimalan tuotanto on verrannollinen tuulen nopeuden kuutioon, joten vähänkin tuulisempi sijoituspaikka voi lisätä merkittävästi vuosittaista tuotantoa. Tuulivoimalasta saatava teoreettinen teho saadaan kaavalla 7. (Bossanyi, Burton, Jenkins & Sharpe 2011, 4.)

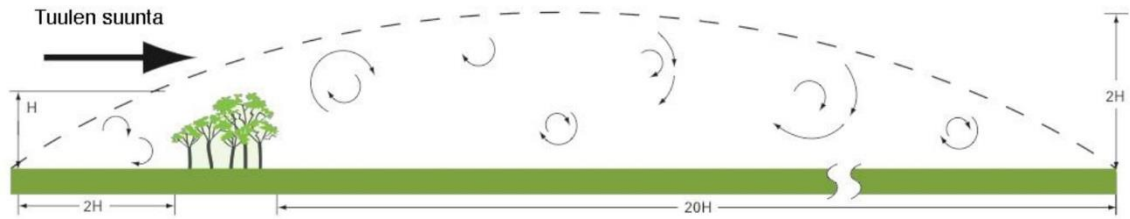
$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (7)$$

missä

P	on	teho [W]
C_p	on	teoriallinen hyötysuhde
ρ	on	ilman tiheys [kg/m^3]
A	on	roottorin pyyhkäisypinta-ala [m^2]
v	on	tuulen nopeus [m/s]

C_p on Albert Betzin osoittama teoriallinen hyötysuhde tuulesta saatavasta tehosta. C_p arvo on $\frac{16}{27}$, eli noin 59 %. Yhtälö pätee paremmin vain suuriin tuulivoimaloihin, joissa säätöautomaatti ohjaa siipiä optimaalisiin kulmiin tuoton kannalta. (Bossanyi, Burton, Jenkins & Sharpe 2011, 43.)

Tuulivoimala toimii paremmin, mitä vähemmän tuulen tiellä on turbulenssia aiheuttavia esteitä. Tuulen pyörteet heikentävät tuulivoimalasta saatavaa tehoa ja myös rasittaa voimalan rakenteita. Hyviä asennuspaikkoja ovat rannikko, saaristot, peltoaukiot ja kukkulat. Tonttialueella monesti on monenlaista estettä ja ohjeistus sijoitukselle on, että etäisyyden tulisi olla vähintään 10 kertaa korkeimman esteen korkeuden verran, jotta pyörteily olisi vähäistä. Jos tuulivoimala on lähellä estettä, tulisi sen olla mielellään kaksi kertaa esteen korkeudella. Kuvio 10 selventää tilannetta. (Eklund 2011, 5.)



Kuvio 10. Esteiden aiheuttama turbulenssi (Eklund 2011, 6.)

Tuulivoimaloiden tuottokäyrät ovat merkittävässä osassa, kun suunnitellaan hankintaa ja siksi keskimääräinen tuulennopeus sijoituspaikalla tulisi olla tarkasti tiedossa. Sisämaassa, jossa tuulet ovat vähäisempiä, tuulivoimalan tuotto tulisi käynnistyä ja nimellisteho saavutettua mahdollisimman pienellä tuulella. Pientuulivoimaloiden nimellisteho saavutetaan 9 – 14 m/s tuulella.

3.3 Lämpöpumput

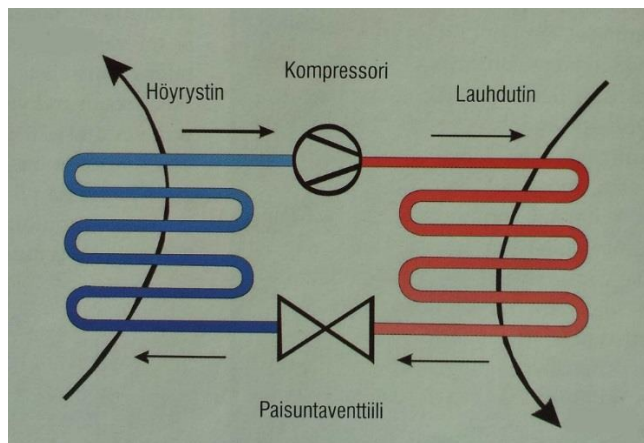
Lämpöpumpuilla tuotetaan lämpöenergiaa ympäristöä hyödyntäen. Auringosta peräisin oleva energia on varastoituneena maaperään, vesistöön ja ilmaan. Hyöty perustuu siihen, että ne tuottavat enemmän lämpöenergiaa, mitä kuluttavat sähköenergiaa. Lämpöpumppujen tuottama lämpöenergia on uusiutuvaa ja parhaimpaan lopputulokseen päästään silloin, jos lämpöpumppujen vaatima sähkö tuotetaan uusiutuvilla tuotantotavoilla. Tekniikoita on useampia ja järjestelmät luokitellaan lämpöenergian ottotavan mukaan. (Rantala 2014, 49.)

- ilmalämpöpumppu (ILP)
- maalämpöpumppu (MLP)
- poistoilmalämpöpumppu (PILP)
- ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP). (Rantala 2014, 49.)

Ilmalämpöpumppu ja ulkoilma-vesilämpöpumppu ottavat lämpöä ulkoilmasta. Suosittu ilmalämpöpumppu on hankintakustannuksiltaan pienin ja tuottaa lämmintä ilmaa rakennukseen suoraan puhalluksella. Ulkoilma-vesilämpöpumppu lämmittää tuotetulla lämmöllä lämminvesivaraajaa ja tuotettua lämpöä voidaan käyttää rakennuksen lämmityksessä mutta myös lämpimän käyttöveden tuottamisessa. (Rantala 2014, 49–52.)

Maalämpöpumpuilla hyödynnetään maaperään, kallioperään tai vesistöön varastoitunutta lämpöä. Maalämpöpumpuilla on suurin COP-arvo, mutta sen hankintakustannukset ovat myös suurimmat, koska energiakaivo joudutaan yleensä poraamaan kallioperään. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa rakennuksen poistoilmasta. Lämpöpumpulla tuotettua lämpöä voidaan käyttää tuloilman, käyttöveden ja lämmitysveden lämmittämiseen. (Rantala 2014, 50–51.)

Kuviossa 11 on yksinkertaistettu kaavio lämpöpumpun toiminnasta. Höyrystimessä lämpöenergia siirtyy kylmäainepiiriin. Nestemäinen kylmäaine kaasuuntuu, kun höyrystimeen tuodaan lämpöenergiaa. Kompressorin puristaa kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin sen lämpötila kasvaa. Lauhduttimessa kaasu luovuttaa lämpöenergiaa rakennuksen lämmityskäyttöön ja nesteytyy. Nestemäinen kylmäaine jäähtyy edelleen paisuntaventtiin jälkeen, josta se virtaa höyrystimeen ja kierto alkaa uudelleen. (Rantala 2014, 50.)



Kuvio 11. Lämpöpumppu (Perälä 2013, 28.)

Lämpöpumppujen lämpökerroin COP kuvaa sitä, kuinka paljon ne tuottavat lämpöenergiaa verrattuna niiden sähkön kulutukseen. Esimerkiksi lämpöpumpun toimiessa COP-arvolla 3, se tuottaa 1kW sähköteholla 3kW lämpöenergiaa. Tämä riippuu sähkön tuotantotavasta, mutta ainakin 2/3 lämpöenergiasta on siis uusiutuvaa. Teoreettisen lämpökerroin voidaan laskea kaavalla 8.

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (8)$$

missä

COP	on	lämpötilakerroin [-]
T2	on	luovutuslämpötila [K]
T1	on	kohteen lämpötila [K]

T1 kuvaa lämpötilaa kelvineissä, josta lämpöä kerätään ja T2 mihin se luovutetaan. Kaava antaa kuitenkin vain häviöttömän systeemin lämpökertoimen mutta siitä on helposti havaittavissa, että mitä pienempi on näiden kahden lämpötilan ero, sitä suurempi lämpökertoimesta saadaan. Ulkoilman ja maan lämpötilaa ei voi muuttaa, mutta luovutuslämpötilaan voi vaikuttaa, ja se tulisi pitää mahdollisimman alhaisena. COP-arvo kertoo lämpökertoimen tietyllä hetkellä ja sen hetkellä olosuhteissa, joten vuosilämpökerroin kuvaa tarkemmin todellista arvoa lämmityskaudella. Tyypillisiä vuosilämpökertoimia ovat maalämpöpumpulla 3 – 3.5, ilmalämpöpumpulla 2 – 2.5 ja ilma-vesilämpöpumpulla 2 – 2.4. (Perälä 2013, 30–32.)

3.4 Puukattilat

Kiinteän polttoaineen kattilatyypit jaetaan kolmeen ryhmään, joissa polttotapa eroaa toisistaan: (Motiva 2015.)

- alapalokattila
- yläpalokattila
- käänteispalokattila. (Motiva 2015.)

Nimensä mukaisesti alapalokattilassa palaminen tapahtuu kattilan alaosassa. Polttoaine ladataan säiliöön, jonka pohjalla on arina. Polttoilmaa imetään savupiipun muodostamalla imulla tai savukaasupuhaltimen avulla arinan ja sekundäärisuuttimien läpi. Polttoainekasan alle muodostuu voimakas hiillos, ja kaasut palavat palotilassa sekundäärisuuttimien avulla. Alapalokattilassa hyötynä on polttoaineen esilämmitys sekä kuivuminen ja etenkin savukaasuimurilla aikaan saatu tehokas palaminen. Käänteispalokattilan muistuttaa paljon alapalokattilaa ja siinä on kaasujen jälkipoltto vielä hallitumpaa, sekä lämpötilat korkeammat.

Tarkka palaminen mahdollistetaan savukaasupuhaltimella ja ilman säädön avulla. Alapalokattilat ja käänteispalokattilan ovat hankintahinnaltaan kalliimpia. Yläpalokattila on edullisempi vaihtoehto mutta hyötysuhde hieman huonompi. Palaminen tapahtuu polttoainekasan päällä, jolloin palamiselle on varattava tilaa yläosaan. Yläpalokattilaan ei voi ladata niin suurta polttoainemäärää kuin ala- ja käänteispalokattilaan, joten palotilanne häiriintyy enemmän puita lisättäessä, kun viileää ilmaa virtaa palotilaan. Tämä heikentää alempien puiden kaasujen palamista. (Motiva 2015.)

Savukaasupuhaltimen kuluttama sähköenergia tulee ottaa huomioon, jos tarvittava energia tuotetaan itse ja syötetään akkujen kautta. Verkkoon kytketyssä talossa tätä ei tarvitse niinkään huomioida, koska savukaasupuhaltimen sekä mahdollisen latauspumpun tarvitsema energia on hyvin pieni verrattuna kattilan tuottamaan lämpöenergiaan.

4 AKKUTEKNIikka

Omavaraisessa sähköntuotannossa ilman yleistä sähköverkkoa energia on varastoitava akkuihin, jotta sitä voidaan käyttää silloin, kun tuotantoa ei ole saatavilla. Yleisimmin käytetään lyijyakkuja, koska niiden hankintahinta on pienempi muihin verrattuna. Lyijyakulla on hyvin pitkä historia aina 1850-luvulle saakka ja niitä käytetään laajasti nykyäänkin esimerkiksi autojen starttiakkuina. Suuret akkujärjestelmät maksavat kuitenkin paljon vaikka käytettäisiinkin lyijyakkuja, joten niitä hankittaessa on tiedettävä, minkä tyyppinen lyijyakku soveltuu parhaiten käyttöön. Akun ikään vaikuttaa paljon se, miten sitä ladataan ja puretaan. (Hämeenoja 1993, 8.)

Litium-akuilla on korkeampi energiatiheys, mutta niiden valmistus maksaa vielä aika paljon verrattuna lyijyakkuihin. Kulutuselektronikassa akkutekniikka on kuitenkin laajasti käytössä.

4.1 Lyijyakku

Akun toiminnallisiin rakenteisiin kuuluvat positiivinen elektrodi, negatiivinen elektrodi sekä elektrolyytti. Elektrolyytinä lyijyakussa käytetään rikkihappoa. Elektrodit voivat luovuttaa tai sitoa elektroneja riippuen siitä, ladataanko akkua vai puretaan. Akkuun voidaan siis varastoida sähköenergiaa kemiallisessa muodossa. Sähköparin, eli yhden kennon jännite on noin 2V. Yleensä lyijyakuissa on 6 kennoa sarjaan kytkettynä, jolloin saadaan jännitteeksi 12V. Samanlaisia akkuja voidaan edelleen kytkeä sarjaan tai rinnan. (Hämeenoja 1993, 7.)

Lyijyakun rakenteesta riippuen sillä on eri käyttökohteita. Paksumpia lyijyelektrodeja käytetään kohteissa, joissa kulutus on kohtuullisen tasaista ja varaus puretaan alhaiselle tasolle. Kun tarvitaan hetkellistä suurta virtaa, käytetään ohuempia lyijyelektrodeja. Esimerkkikohteena auton starttiakku, josta otetaan hetkellisesti paljon virtaa käynnistäessä, mutta käytännössä akku on ladattuna täyteen lähes koko ajan. (Hämeenoja 1993, 1–3.)

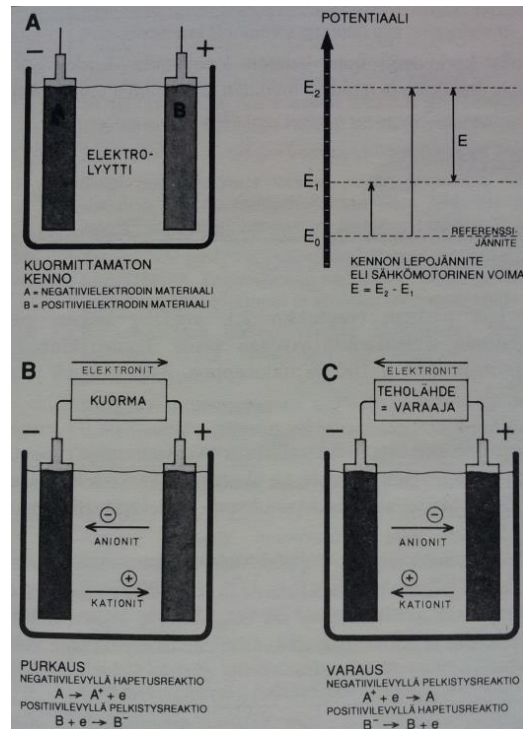
Akkuja hankittaessa sähkön varastointiin on tärkeä tietää, millaiseen käyttöön akut tulevat. Asuintalossa sähköenergian käyttö on yleensä tasaista, eikä akusta/akuista tarvitse hetkellisesti suurta virtaa suhteessa kapasiteettiin. Akkuja myös käytetään monesti alhaisille varaustasoille. Akkuvalmistajat ilmoittavat akuille purkaussykliden kestävyysajan. Yhdeksi sykliksi lasketaan, kun akku puretaan alhaiselle varaustasolle ja ladataan täyteen. Starttiakut eivät kestä syklisiä käyttöä, ja niiden syklieliniikki on vain alle sadan luokkaa. Starttiakut ovat käytännössä aina täyteen varattu, ja siksi ne voivat kestää käytössä jopa kymmenen vuotta. Akut, joissa käytetään paksuja elektrodeja, voivat kestää useita satoja purkaussyklejä. Eniten purkaussyklejä kestävä lyijyakku on ns. ajovoimakkuusakku, jonka rakenne on avoin. Niitä käytetään esimerkiksi sähkötrukeissa. Ajovoimakkuus-akuissa käytetään paksuja ja tiheitä elektrodeja. Käytössä on myös monesti positiivisena elektrodina putkimainen rakenne, joka vähentää aktiivimateriaalin varisemista. (Vader 2011, 17; Hämeenoja 1993, 13.)

4.1.1 Toimintaperiaate

Akun varausta purettaessa negatiivinen elektrodi luovuttaa elektroneja ulkoiseen piiriin ja hapettuu. Vastaavasti positiivinen elektrodi ottaa vastaan elektroneja ja pelkistyy. Elektrolyytissä sähkö kulkee ionien kuljettamana. Ionit ovat atomeita, joiden elektronien ja protonien lukumäärä ei ole sama. Jos atomista poistuu elektroni, se vaikuttaa ulospäin positiivisesti varautuneelta. Tätä kutsutaan positiiviseksi ioniksi. Negatiiviseksi ioniksi kutsutaan atomia, jonka elektronien lukumäärä on enemmän kuin protonien ja se vaikuttaa ulospäin negatiivisesti varautuneelta. Akkua purkaessa negatiiviset ionit eli anionit kulkeutuvat negatiiviselle elektrodille ja positiiviset eli kationit positiiviselle elektrodille. (Hämeenoja 1993, 3.)

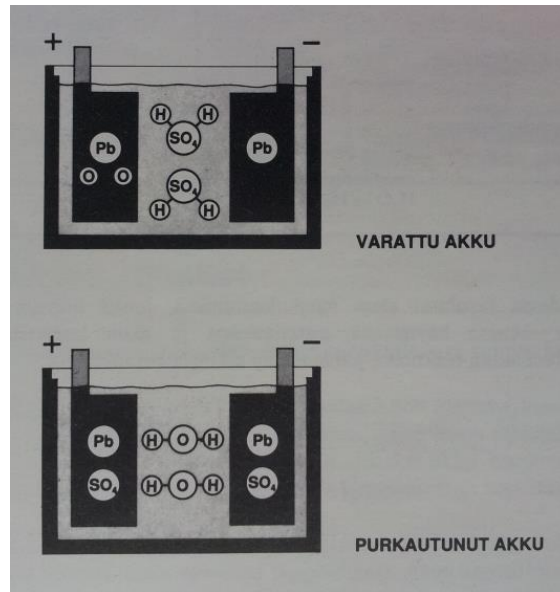
Akkua varattaessa sähkökemialliseen kennoon syötetään virtaa ulkoisesta virtalähteestä. Silloin positiivisella elektrodilla tapahtuu hapetusreaktio ja elektrodi luovuttaa elektroneja ulkoiseen virtapiiriin. Negatiivisen elektrodin ottaessa vastaan elektroneja se pelkistyy. Kuviossa 12 on selvemmin kuvattuna yksinkertai-

sen akun reaktiot. Elektrolyytissä olevilla elektrodeilla on eri jännite riippuen siitä, mikä materiaali on kyseessä. Kennon ollessa lepotilassa elektrodien välinen jännite on $E = E_2 - E_1$. (Hämeenoja 1993, 3–6.)



Kuvio 12. Sähkökemiallinen kenno (Hämeenoja 1993, 3.)

Lyijyakun elektrodien valmistusmateriaali on nimensä mukaisesti lyijy, joka on suhteellisen halpa verrattuna muihin elektrodimateriaaleihin. Lyijyä voidaan myös kierrättää. Täyteen ladatun lyijyakun negatiivinen elektrodi on huokoista lyijyä ja positiivinen elektrodi huokoista lyijydioksidia. Kuvio 13 kuvaa, miten akua purkaessa negatiivisen elektrodin lyijy (Pb) ja positiivisen elektrodin lyijydioksidi (PbO_2) reagoivat rikkihapon (H_2SO_4) muodostaen lyisulfaattia ($PbSO_4$) ja vettä (H_2O). (Hämeenoja 1993, 9.)

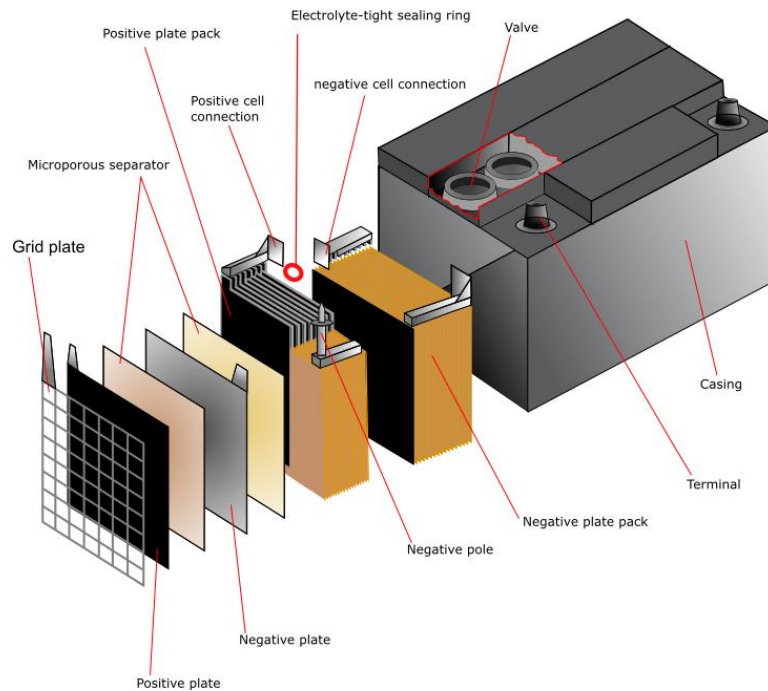


Kuvio 13. Lyijyakun kemialliset reaktiot (Hämeenoja 1993, 9.)

Akkua varattaessa negatiivinen elektrodi pelkistyy lyijysulfaatista takaisin metalliseksi lyijyksi ja positiivinen elektrodi hapettuu lyijysulfaatista takaisin lyijydioksidiksi. Kun akku on täynnä, se ei enää kykene ottamaan vastaan varausta, vaan akkuun syötetty virta alkaa hajottamaan elektrolyytin vettä. Tällöin akussa tapahtuu kaasuuntumista. Pientä kaasuuntumista tapahtuu myös muutenkin latauksessa, mutta sitä enemmän mitä täydempänä akku on. Kaasuuntumisessa negatiivisella elektrodilla syntyy vetyä (H₂) ja positiivisella elektrodilla happea (O₂). (Hämeenoja 1993, 7-8)

4.1.2 Avoin rakenne

Lyijyakun pääkomponentteihin kuuluu negatiiviset elektrodilevyt, positiiviset elektrodilevyt, erottimet, elektrolyytti, kotelo ja navat. Levypaketissa on monta levyä, jotta pinta-ala saadaan suureksi. Akut ovat joko suljettuja tai avoimia.



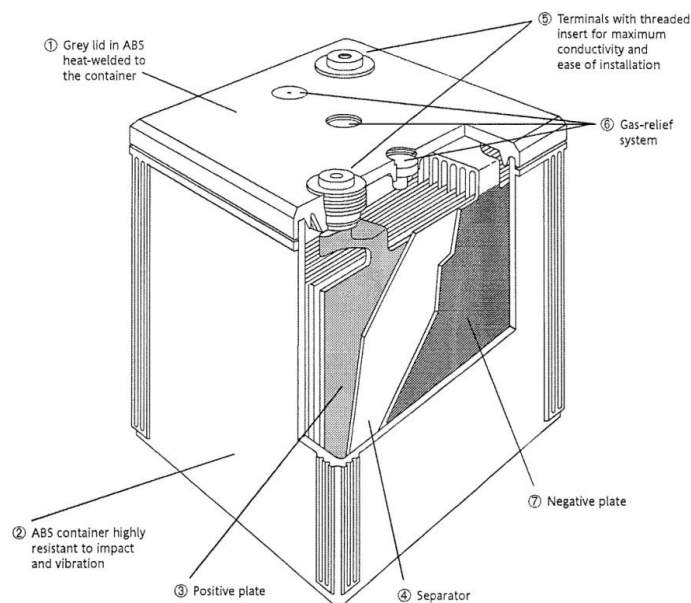
Kuvio 14. Lyijyakun rakenne (Weal & Vasant Kumar 2015)

Avoimessa lyijyakussa (kuvio 14) päällä ovat korkit, joista akun vapaa elektrolyttineste voidaan tarkistaa. Vapaa elektrolyytti tarkoittaa sitä, että sitä ei ole sidottu mihinkään materiaaliin. Silmämääräisesti pinta on helppo tarkistaa ja tarvittaessa tislattua vettä voidaan lisätä. Elektrolyttineste voidaan mitata myös ominaispainomittarilla. Yleisimmin tunnettu jännitteeltään 12V akku koostuu kuudesta kennosta. Kennot ovat kytketty sarjaan, mutta niiden elektrolyttineste eristetään toisistaan. Eri kennojen elektrolyytin ominaispainoa voidaan siis mitata erikseen. Eristyksellä estetään myös kennojen väliset purkausreaktiot. Huoltovapaat akut ovat myös avoimia akkuja, vaikka päällepäin näyttävätkin suljetulta rakenteelta. Niiden elektrolyytti on myös vapaata. Rakenne on suunniteltu siten, että latauksessa syntyy vähän kaasuja. Syntyneet happi ja vety pääsevät ulos akusta, toisin kuin suljetussa rakenteessa. Huoltovapaisiin akkuihin ei ole tarkoitus lisätä vettä sen käytön aikana. (Hämeenoja 1993, 17–26.)

4.1.3 Suljettu rakenne

Suljetut lyijyakut ovat varustettu ylipaineventtiileillä (VRLA = Valve Regulated Lead Acid). Ne eivät sisällä vapaata elektrolyyttiä, vaan elektrolyytti on imeytetty lasivillamattoerottimiin (AGM = Absorbed Glass Mat) tai elektrolyytistä on tehty

geeli piioksidin avulla (GEL-battery). Tällöin rakenteessa ei ole, eikä tarvita huoltoa mahdollistavia korkkeja. Suljettuja lyijyakkuja kutsutaan myös rekombinaatio-akuiksi, koska latauksen aikana ja mahdollisessa ylläautauksessa muodostunut happi kulkeutuu rakenteen vuoksi negatiiviselle elektrodille ja reagoi vedeksi. Negatiivisen elektrodin hieman suurempi koko mahdollistaa tämän reaktion. Rekombinaatio-reaktio purkaa hieman negatiivista elektrodia, jolloin vetyä ei pääse muodostumaan. Täydellistä rekombinaatiota ei saada aikaan mutta periaatteessa akusta ei poistu happea eikä vetyä, jolloin vettä ei kulu akusta. Ylipaineventtiili kuitenkin päästää kaasuja ulos, jos akun sisällä paine kasvaa liian suureksi. Siinä tilanteessa akussa on jotain vikaa tai sitä ladataan liian suurella teholla. Kuviossa 15 on Hawkerin valmistama PowerSafe AGM-akku jännitteeltään 2V. Akkuja käytetään yleensä UPS-järjestelmissä. (Hämeenoja 1993, 27–29.)



Kuvio 15. AGM-akku

Suljettujen akkujen rakenteen etuna on, että ne voidaan sijoittaa myös kyljelleen, ja ne kestävät tärinää. Tästä on suuri hyöty esimerkiksi moottoripyöräkäytössä. Akuista ei myöskään kehity juurikaan kaasuja ympäristöön, joten käyttöympäristön ei välttämättä tarvitse olla tuuletettu. Optiman valmistamissa akuissa käytetään myös lasivillamattoeristimiä, mutta rakenne poikkeaa siinä, että sen kennot ovat kierretty spiraalille. Rakenne mahdollistaa mekaanisesti

jäykemmän rakenteen ja alhaisen sisäisen vastuksen. Optiman akut ovat tunnettuja myös Suomessa. (Hämeenoja 1993, 29; Vader 2011, 13.)

4.2 Kapasiteetti ja kulutus

Akun kapasiteetti ilmoitetaan ampeeritunteina (Ah) ja se vaihtelee eri purkausnopeuksilla. Mitä nopeampi purkaus on, eli mitä suuremmalla virralla akku puretaan, sitä pienempi on ulos saatu ampeerituntimäärä. Tämä johtuu siitä, ettei elektrodien koko pinta-ala ehdi reagoida elektrolyytin kanssa. Yleensä akkujen kapasiteetti ilmoitetaan 20 tunnin purkausajalla, jolloin purkausvirta on kapasiteetti jaettuna purkausajalla ($I = C/20h$). Näin ollen esimerkiksi 200 Ah akkua voidaan purkaa 10 ampeerin virralla 20 tunnin ajan ($200Ah/20h = 10A$). Tasajännitepiirissä teho voidaan laskea helposti kaavalla 9.

$$P = UI \tag{9}$$

missä

P	on	Teho [W]
U	on	Jännite [V]
I	on	Virta [A]

Jännitteeltään 12V akussa tämä tarkoittaisi, että tehoa saataisiin 120 wattia 20 tunnin ajan ($12V \times 10A = 120W$). Jos akku purettaisiin aivan loppuun, niin teoriassa energiaa saataisiin yhteensä $20h \times 120W$, eli $2400Wh = 2.4kWh$. Purkauksen aikana jännitetaso laskee, joten saatu teho ei vastaa täysin sitä, mitä edellä laskettiin. Käytännössä akkuja ei haluta purkaa aivan tyhjiksi, koska se lyhentää niiden käyttöikää. Sen vuoksi hyvänä ohjeena pidetään, että akkukapasiteetti olisi ainakin kaksinkertainen verrattuna siihen, paljon energiaa kulutetaan päivän aikana. (Vader 2011, 15; Boylestad 2000, 107.)

Akkujärjestelmissä jännitteet ovat pieniä mutta virrat suuria, joten käytettävillä johtimilla on erittäin suuri merkitys. Mitä paremmin materiaali johtaa sähköä, sitä pienempi on sen resistiivisyys. Resisttiivisyyden suuretunnus on ρ . Tässä käsitellään johtimissa käytettäviä materiaaleja; kuparia ja alumiinia. Näiden resistiivisyyden arvot $20\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa ovat $\rho_{Cu} = 0.0175\Omega(\text{mm}^2/\text{m})$ ja $\rho_{Al} =$

0.028Ω(mm²/m). Johtimen resistanssi voidaan laskea kaavalla 10. (Ahoranta 2009, 36–40.)

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (10)$$

missä

R	on	Resistanssi [Ω]
ρ	on	Resistiivisyys [Ω*(mm ² /m)]
l	on	Johtimen pituus [m]
A	on	Johtimen poikkipinta-ala [m ²]

Kaavasta 10 voidaan päätellä, että johtimen pituuden kaksikertaistessa myös johtimen resistanssi kaksinkertaistuu, eli pituus on suoraan verrannollinen resistanssiin. Poikkipinta-alan kaksinkertaistessa resistanssi puolittuu, eli se on kääntäen verrannollinen resistanssiin. (Ahoranta 2009, 40.)

Tarvitaan vielä Ohmin lain mukainen kaava 11, jotta voidaan laskea kaapeleiden sopivat poikkipinta-alat tasajännitepiireille. (Ahoranta 2009, 46.)

$$U = IR \quad (11)$$

missä

U	on	Jännite [V]
I	on	Virta [A]
R	on	Resistanssi [Ω]

Kaavasta 9 huomataan, että tehon ollessa suuri ja jännitteen pieni, sähkövirran täytyy olla suuri. Esimerkiksi 1500W tehon tuottamiseen 12V jännitteellä virta on 125A. Näin ollen mitä suurempi johtimen resistanssi, sitä suurempi on jännitehäviö ja tehohäviö, joka muuttuu lämmöksi. Näillä kaavoilla saadaan riittävän tarkat tulokset jännitehäviöille ja tehohäviöille, joita on laskettu taulukkoon 1 erilaisilla johtimilla. Vertailun vuoksi viimeiseksi on listattu 24V ja 48V akkujärjestelmän johtimet noin 10-12W tehohäviöllä. Arvot on laskettu käyttäen 20 °C lämpötilaa ja johtimien pituus on kummankin johtimen yhteenlaskettu pituus.

Taulukko 1. Häviöt eri järjestelmissä

Akkujännite	Tehokuorma	Johtimen pituus	Johtimen poikkipinta-ala	Jännitehäviö	Tehohäviö
12V	1500W	3m	16mm ²	0.41V	51W
12V	1500W	1.5m	16mm ²	0.2V	26W
12V	1500W	1.5m	35mm ²	0.1V	12W
24V	1500W	1.5m	10mm ²	0.17V	10.3W
48V	1500W	1.5m	2.5mm ²	0.33V	10.3W

Taulukosta 1 huomataan, että tarvitaan lyhyet ja poikkipinta-alaltaan suuret johtimet, että häviöt olisivat pienet 12V järjestelmässä. 24V ja 48V järjestelmissä voidaan käyttää poikkipinta-alaltaan selvästi pienempiä johtimia tehohäviön pysyessä samana.

4.3 Lataaminen

Akkujen lataamiseen ei ole yhtä ainoaa ohjetta, vaan lataustapa riippuu paljon akkutyypistä. Pelkästään lyijyakuissa on montaa erilaista rakennetta, ja eri valmistajilla on vielä omat rakenteensa. Tässä osiossa keskitytään vain lyijyakkujen lataustekniikoihin.

Lyijyakkua voidaan ladata alussa suuremmalla virralla noin 80 prosentin varaus-tilaan. Loppuvaiheessa virtaa täytyy pienentää, jotta kaasuuntumista ei tapahdu liikaa ja kemiallinen reaktio saadaan aikaiseksi myös elektrodimateriaalin sisällä huokosissa. Suositus on, että latausvirta olisi enimmillään 10–20 % akun kapasiteetista. Esimerkiksi 200Ah akun maksimilatausvirta olisi $0.1 \times 200\text{Ah} = 20\text{A}$. Ominaispainomittaria käytettäessä on huomioitava, että väkevän rikkihapon ominaispaino on raskaampi kuin laimeamman, joten pinnalta mitattaessa mittari ei välttämättä näytä todellista kokonaislukemaa. Latauksen aikana syntynyt kaasuuntuminen auttaa elektrolyytinesteeseen sekoittumista. Tärinällä on myös edesauttava vaikutus esimerkiksi auto käytössä. (Vader 2011, 20.)

Erilaisista rakenteista huolimatta lyijyakuille on yleispätevät latausohjeet, mutta aina on huomioitava akkuvalmistajan omat ohjeet. Latauksessa on yleensä kolme vaihetta: nopea (bulk), absorptio (absorption) ja ylläpitolataus (float).

Bulk-latauksessa laturi nostaa jännitteen kennoa kohden noin 2.1V, jolloin 12V järjestelmässä jännite on noin 12.6V ja 24V järjestelmässä noin 25.2V. Laturi syöttää bulk-vaiheessa asetetun maksimi virran ja jännite nousee hiljalleen asetettuun absorptiojännitteeseen, joka monelle lyijyakulle on noin 2.4V/kenno. Tällöin järjestelmien jännitteet ovat 14.4V ja 28.8V. (Vader 2011, 24–26.)

Kun absorptiojännite saavutetaan, akku on noin 80 prosentin varauksessa ja latausvirta alkaa hiljalleen pienentymään jännitteen pysyessä samassa. Mitä enemmän akkua on purettu pitkän käytön aikana, sitä kauemmin absorptiolataus kestää. Kemiallinen reaktio pitää saada tapahtumaan myös huokoisten elektrodien sisällä. Nopea lataus aktivoi vain elektrodien pinnan. Starttiakuissa käytetään ohuempia elektrodilevyjä, joten niiden absorptio-aika on lyhempi. Absorptio-vaihe kestää niin kauan, kunnes akku on täynnä ja saavuttaa Float-tilan. (Vader 2011, 24–26.)

Akun ollessa täynnä lataus siirtyy ylläpitolataukseen eli float-tilaan. Tässä tilassa jännite lasketaan tasolle, jossa se on akun normaalin jännitteen yläpuolella ja estää itsepurkautumisen. Ylläpitolatauksen jännitetaso on tarkistettava akkuvalmistajan ohjeista, muuten liian korkea jännite voi aiheuttaa korroosiota positiivisella elektrodilla. (Vader 2011, 24–26.)

5 OMAVARAINEN OMAKOTITALO

Tässä luvussa kuvataan esimerkkinä kuvitteellisen omakotitalon lämmitysjärjestelmää, jossa hyödynnetään uusiutuvia lähienergioita. Lämmitysenergiaa tuotetaan maalämmöllä ja aurinkokeräimillä. Maalämpöpumpun COP-arvo on hyvä ja sen kulutusta sekä muuta sähkön kulutusta kompensoidaan aurinkopaneeleilla. Suomessa on saatavilla auringon säteilyä hyvin maaliskuun ja syyskuun välillä. Erityisesti aurinkopaneelit tuottavat hyvin jo aikaisin keväällä, koska hanki tuottaa hajasäteilyä ja alhainen lämpötila parantaa paneelien hyötysuhdetta. Tähän aikaan tarvitaan myös lämmitysenergiaa taloon. Lämmintä käyttövettä tarvitaan ympäri vuoden.

Omakotitalo on kytketty sähköverkkoon, joten aurinkopaneelien tuotto syötetään verkkoon verkkoinvertterillä. Tuotettu sähkö pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti itse, koska verkkoon syötetystä sähköstä saatu korvaus on vähäinen. Aurinkopaneelien maksimiteho on pienehkö, joten se syötetään vain yhden vaiheen rinnalle. Tässä on huomioitava se, että tämän vaiheen taakse tulisi mahdollisimman paljon laitteita, jotka kuluttavat sähköä myös kesällä. Esimerkkeinä aurinkokeräinpiirin kiertopumppu, lämmitysverkoston kiertovesipumppu, jääkaappi, pakastin, lämpöpumpun kompressori, lämpöpumpun kiertopumput, pesukoneet yms. Lämpöpumpun kompressorin ollessa kolmivaiheinen, pystytään aurinkopaneelien tuottoa käyttämään tässä tapauksessa vain sen yhdessä vaiheessa.

5.1 Järjestelmä ja laitteet

Omakotitalon (120m²) lämmitysenergian kulutus on lämminkäyttövesi mukaan luettuna 80 kWh/m², eli noin 9600 kWh/vuosi. Talouden henkilömäärä on 3 ja lämpimän käyttöveden kulutus on yhteensä noin 3000 kWh/vuosi. Omakotitalossa on lattialämpö ja siinä myös hyödynnetään lämmöntalteenotto, jolla on saatu pienennettyä ilmanvaihdon mukana karkaavaa lämpöä. Lämpöpumpun vuoden COP-keskiarvona käytetään lukua 3. Muu sähkönkulutus on vuodessa

6300kWh, joka perustuu sähkökäyttötutkimuksen (Adato 2011) arvioon nelihenkiselle perheelle.

Järjestelmän aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteen on sijoitettu katolle siten, että niistä saataisiin mahdollisimman paljon tuottoa vuoden aikana. Aurinkokeräimienä käytetään heat pipe -tyhjiöputkitekniikkaa, koska niillä on parempi hyötysuhde keväällä ja syksyllä, kun aurinko paistaa mutta ilma voi olla kylmä. Näin aurinkokeräimien tuottoa voi hyödyntää osittain myös lämmitykseen, vaikka mitoitus on lämpimän käyttöveden mukaan. Lattialämmön kiertopiiriin lämpötila on alhaisempi kuin patteriverkon, joten se hyödyntää paremmin aurinkokeräimien tuottamaa lämpöä. Aurinkokeräimien vuosituotto on puolet lämpimän veden tarpeesta, eli 1500 kWh. Sähkön kulutusta pienentämään omakotitalossa on käytössä puukiuas, sekä varaava takka kattaa 20 prosenttia rakennuksen lämmityskuluista. Varaava takka takaa myös lämpimän sisäilman talvipakkasilla mahdollisen sähkökatkoksen aikana. Maalämpöjärjestelmä ja aurinkokeräinjärjestelmä varastoivat lämmön samaan lämmönvesivaraajaan.

Aurinkopaneelijärjestelmä on huipputeholtaan 2.5 kW ja sen vuosituotto on kaavan 3 mukaan vuodessa noin 1850 kWh. Hyötysuhteena on käytetty 0.85 ja säteily määrä on Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän keskiarvo vaakapintaiselle säteilylle.

5.2 Kulutus ja tuotto

Lämmitysenergian kokonaistarve käyttövesineen on 8100 kWh, kun aurinkokeräimien tuotto on vähennettynä tarvittavasta lämmitysenergiasta. Rakennuksen lämmittämiseen tarvittava energia on $9600\text{kWh} - 3000\text{kWh} = 6600\text{kWh}$. Tästä varaava takka tuottaa $0.2 * 6600\text{kWh} = 1320\text{kWh}$. Maalämpöpumpun COP-arvolla 3 lämmitysenergian sähkön osuus on 2260kWh. Tällöin lopullinen sähkönkulutus on aurinkopaneelien tuotto vähennettynä, $2260\text{kWh} + 6300\text{kWh} - 1850\text{kWh} = 6710\text{kWh}$. Tässä käytetty sähkönkulutusarvio 6300 kWh on nelihenkiselle perheelle, ja se ei sisällä lämmitysenergiatuotantoon kulutettua sähköä. Arvio on suuntaa-antava ja sen lopulliseen määrään on helppo vaikuttaa

pienentävästi käyttötottumuksilla. Sama pätee myös lämpimän käyttöveden kulutukseen.

Aurinkojärjestelmien kokoa ei kannata kasvattaa liian suureksi, ettei tulisi ylituotantoa. Liian suuri aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa kesällä liikaa lämmintä vettä, eikä sitä saada normaalikäytössä kulutettua. Aurinkopaneelijärjestelmän sähköntuotto tulisi hyödyntää itse kokonaan, koska verkkoon tuotetusta sähköstä ei vielä saa kunnollista korvausta. Aurinkopaneelien hinnat tulevat alaspäin koko ajan ja suurempien järjestelmien rakentaminen tulisi houkuttelevammaksi, jos verkkoon tuotetun sähkön voisi vähentää omasta kokonaiskulutuksesta. Tällöin ei tarvitsisi järjestelmää mitoittaa oman päivittäisen kulutuksen mukaan. Tällä saataisiin yksityisten ja taloyhtiöiden ostoenergiaa pienennettyä ja itse tuotettu sähkö olisi uusiutuvasta energiasta.

6 TOIMEKSIANTAJAN OMAKOTITALO

Kohteessa omavaraisuusaste on korkea, sillä omakotitaloa ei ole liitetty sähköverkkoon. Energiayhtiön suuren verkkoon liittymishinnan (70000 €) vuoksi on päädytty tähän järjestelmään. Sähköenergia tuotetaan aurinkopaneeleilla sekä diesel-käyttöisellä aggregaatilla ja varastoidaan akkuihin. Lämpöenergiaa tuotetaan puukattilalla sekä aurinkokennoilla ja varastoidaan suureen lämminvesivaraajaan.

Omakotitalo ja pihapiirin muut rakennukset ovat sähköistetty normaalin tapaan, kuten muissakin omakotitaloissa. Kaikki käytettävä sähkö otetaan akuista invertterien kautta. Kolmen invertterin avulla voidaan käyttää myös 3-vaihejärjestelmiä. Rakennuksissa ei ole erillisiä 12V:n tai 24V:n johdotuksia, kuten monesti mökkirakennuksissa.

6.1 Laitteet ja toiminta

Omakotitalon lisäksi pihapiirissä on iso talli, sekä pienempi rakennus, johon on sijoitettu suurin osa energian tuotantolaitteista. Aurinkopaneelit on sijoitettu tallin katolle (kuva 3) ja aurinkokeräimet laiterakennuksen katolle (kuva 4).



Kuva 3. Aurinkopaneelit tallin katolla



Kuva 4. Aurinkokeräimet

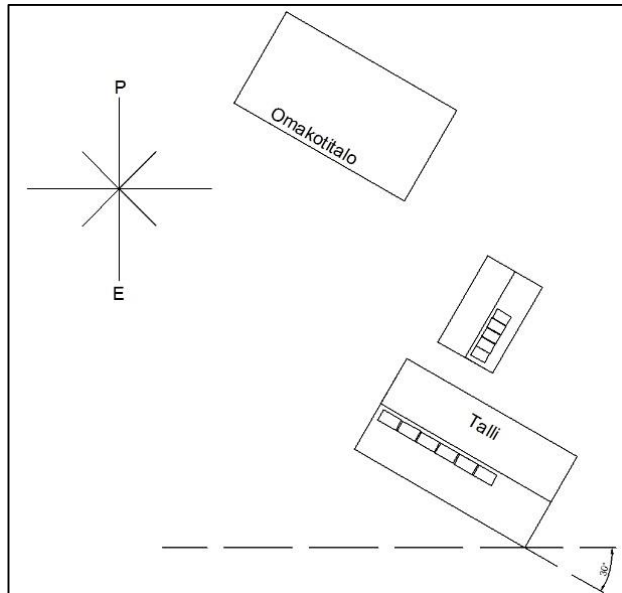
Kuvassa 5 on kuvattuna kaikki rakennukset. Omakotitalon kerrospinta-ala on 149m². Kuvio 16 selventää pihapiiriä, aurinkopaneelien ja -keräimien sijoitusta sekä asemaa ilmansuuntiin nähden.



Kuva 5. Omakotitalo

Kuviosta 16 nähdään rakennusten asema, joka on noin 30 ° etelään verrattuna. Tällöin aurinko paistaa kohtisuoraan aurinkopaneelisiin välillä 13:00–14:00.

Tämän jälkeen auringonsäteet eivät enää osu aurinkokeräimiin, joten lämpimän veden tuottoaika on lyhyt.



Kuvio 16. Pihapiiri ja ilmansuunnat

Järjestelmän on rakennettu laadukkaista laitteista ja ne on hankittu osittain Sun-tekno Oy:n kautta. Sähkökulutuksen pienentämiseksi omakotitaloon on hankittu kaasulla toimivat liesitasot ja jääkaappi. Valaistus on toteutettu pitkälti led-tekniikkaa hyödyntäen. Suurimpia lyhytaikaisia sähkökuluttajia ovat tiskikone ja pyykinpesukone. Taulukossa 2 on listattuna laitteet työn alkutilanteessa, ennen muutoksia.

Taulukko 2. Päälaitteet

Laite	Malli/Tyyppi	Teho/Kapasiteetti	Kpl
Aurinkopaneelit	HJM195M-24	195W/Paneeli	6
Lataussäädin	Tristar TS-60 PWM	60A	1
Aurinkokeräimet	Jäspi Solar SU+VIP	9.36m ²	5
Keräimien ohjausyksikkö	Jäspi SCU 10	KV-pumppu 80W	1
Akut	Exide 225Ah, Varta 225Ah	2025Ah	18
Diesel aggregaatti	Himoinsa HYW-20 T5	16kW	1

Invertterit	Victron Energy MultiPlus 24V/5000VA/120A	4500W	3
Puukattila	Etna Compi		1
Lämminvesivaraaja	Arimax 1850	1850 litraa	1
Kaivopumppu			1
Kiertovesipumppu	Grundfos UPS 25-80 180	140W, 210W, 245W	1
Varaava uuni			1

Auringon paistaessa rinnankytketyt aurinkopaneelit syöttävät tehon lataussäätimelle. Siirtojohtimien materiaali on alumiini ja pituus on yhteensä 36m, sekä poikkipinta-ala $A=35\text{mm}^2$. Liitteessä 1 ja 2 on HJM195M-24 aurinkopaneelien tiedot, sekä piirustus aurinkopaneelien kytkennästä. Lataussäädin on ohjelmoitu lataamaan 24V akkujärjestelmää ja säätää latausvirran tarpeen mukaan. Lataussäädin syöttää latausvirran akkujen ja invertterien väliin, joten akut latautuvat, vaikka invertterit olisivatkin pois päältä. Invertterien ollessa pois päältä akuilta ei purkaannu virtaa mihinkään, koska järjestelmässä ei ole laitteita, jotka käyttävät suoraan 24V jännitettä.

Diesel-aggregaatilla voidaan ladata akkuja ja käyttää myös lämminvesivaraajan 6 kW:n lämmitysvastuksia (kuva 6). Aggregaatilta tulee jokaiselle Multiplus-invertterille yksi vaihe, jonka jännite on 230V. Multiplus toimii myös akkujen lataajana. Suurin latausvirta on 120A/laitte. Victron Energyn monipuolisella konfigurointiohjelmalla voi muuttaa esimerkiksi Multiplus-invertterin latausvirtoja ja latausjännitteitä. Kolmella Multiplus-invertterillä luotu kolmivaihejärjestelmä rakennetaan myös ohjelman avulla. Suurimman osan perusasetuksista voi tehdä myös dip-kytkimillä mutta konfigurointi-ohjelma on ilmainen ja ladattavissa Victron energyn sivuilta. PC:n ja Multiplus-invertterin väliin tarvitaan RS232-USB muunnin. Kuvassa 7 näkyvät invertterit ja alkuperäiset akut työn alkuvaiheessa. Akkujen päällä ei saisi säilyttää työkaluja.



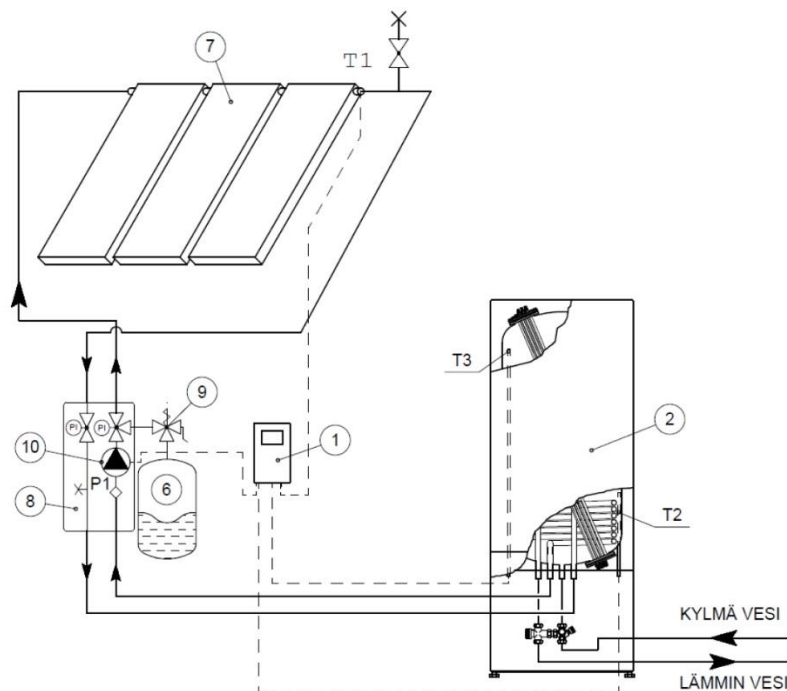
Kuva 6. Diesel-aggregaatti ja lämmivesivaraaja



Kuva 7. Inverterit ja alkuperäiset akut

Lämmivesivaraajaa lämmitetään pääasiassa puukattilalla ja aurinkokeräimillä, mutta aggregaatin ollessa käynnissä, voidaan käyttää myös 6 kW:n lämmitysvastusta. Lämmitysvastuksia on lämmivesivaraajassa 3 kappaletta ja kaikki ovat 6kW, mutta niitä ei voi kaikkia pitää päällä samanaikaisesti. Aggregaatti käy raskaasti jo silloin, kun kaksi lämmitysvastusta on päällä ja samalla ladataan akkuja. Kuvioista 17 näkee aurinkokeräimen toiminnan. Kuva on otettu Jäsپی SCU-10 ohjausyksikön ohjekirjasta ja rakenne vastaa kohteen järjestel-

mää hyvin. Merkittävin ero on vain, että tämän kohteen järjestelmässä on 5 aurinkokeräintä. Auringon säteet lämmittävät piirin nestettä aurinkokeräimissä, ja lämpötila-anturin T1 arvon ollessa yli T2 arvon ohjausyksikkö 1 käynnistää pumpun P1. Lämpötila-anturi T2 on sijoitettuna lämminvesivaraajaan lähelle ns. aurinkokierukkaa. Kun lämminvesivaraajan lämpötila lähestyy aurinkokeräimen lämpötilaa, se pysäyttää pumpun. Koko lämmitysjärjestelmän hahmottamisen helpottamiseksi liitteessä 3 on laite- ja toimintakaavio.



Kuvio 17. Aurinkokeräinpiirin toiminta

Nykyään ainoa kolmivaihejärjestelmää tarvitseva laite on kaivopumppu. Omakotitalossa oli ensin käytössä sähköliesi, mutta sähkön kulutus oli sen verran suurta, että akut tyhjenivät hyvin nopeasti. Sen jälkeen on asennettu kaasulla toimiva liesi ja samalla myös kaasujäakaappi. Kolmen multiplus-invertterin ollessa valmiustilassa, eli ilman kuormaa, niiden mitattu kulutus on noin 100W. Ohjekirjan mukaan yhden Multiplus-invertterin tyhjäkäyntikulutus on 25W. Inverttereillä on oma hyötysuhteensa eri tuottotehoille, joten kulutuslaskelmiin lasketaan vähintään tuo yllämainittu valmiustilan kulutus. Näin saadaan arvioitua tarkemmin vuorokausikulutusta.

6.2 Järjestelmän tuotto ja todellinen kulutus

Talouden laitteiden sähkönkulutus nousee suureen merkitykseen, kun järjestelmässä on akut ja sähköenergia tuotetaan itse. Erityisesti laitteet, jotka ovat vuorokauden ympäri päällä, nostavat paljon kulutusta. Sillä on siis hyvin suuri merkitys, toimiiko lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppuna vanha pumppu vai uudenaikainen energiasäästöpumppu. Alla on listattu taulukkoon 3 arvio vuorokausikulutuksesta talviaikaan alkuperäisellä kokoonpanolla. Koneellinen ilmastointi ei ole ollut käytössä.

Taulukko 3. Arvio vuorokausikulutuksesta talvella

Laite	Teho x aika	Kulutus
Mikro	800W x 0.25h	200Wh
Pyykkikone		1100Wh
Tiskikone		1100Wh
Autolämmitys	500W x 1.5h	750Wh
PC	65W x 2h	130Wh
Imuri	1200W x 0.5h	600Wh
Kiertovesipumppu	100W x 24h	2400Wh
Valaistus pannuhuone	80W x 1h	80Wh
Valaistus muu (LED)	27W x 5h	135Wh
Kaivopumppu	3000W x 0.15h	450Wh
TV	100W x 2h	200Wh
MultiPlus Invertterit tyhjäkäyntikulutus	100W x 24h	2400Wh
		Yht. 9545Wh

Kulutus voi vaihdella paljon eri päivinä, mutta taulukosta näkee selvästi, miten paljon kiertovesipumppu kuluttaa vuorokauden aikana. Energiasäästöpumppulla kulutus on helposti vain viidesosa (480Wh) ja kulutus vähentyy vuorokautta kohti lähes 2kWh. Toinen suuri sähkönkuluttaja on invertterien tyhjäkäyntikulutus, sekä niiden häviöt. Tähän ei kuitenkaan pysty vaikuttamaan, koska kolmi-vaiheikäytössä kaikki invertterit on oltava päällä, vaikkei kaikissa vaiheissa ole

kulutusta. Kaivopumppu on teholtaan suuri ja kolmivaiheinen. Sen käynnistysvirta on suuri, joten akkupaketin koko tulisi olla suurehko, ettei akkujen jännite putoa liian alas käynnistyshetkellä. Kaivopumppu ei ole päällä pitkiä aikoja, mutta käynnistyskäyntejä on monta päivän aikana.

Aggregaatti on tehokas, ja sillä voidaan helposti ladata akkuihin kulutettu energia takaisin. Aurinkopaneelien vuosituotto on kaavaa 3 käyttäen noin:

$$E = \frac{863 \frac{kWh}{m^2} \times 0.842 kW \times 0.8}{1 \frac{kW}{m^2}} = 581.32 kWh$$

Laskelmassa on käytetty aurinkopaneelien maksimituottoa PWM-lataussäätimen ja kaapelihäviöiden jälkeen. Koska PWM-lataussäädin ei pysty hyödyntämään paneelien tehollista jännitettä 37.59V (Liite 1), jää tuotto 28V latausjännitteellä noin 145W/paneeli. Paneelien maksimiteho on lopulta kaapelihäviö huomioon otettuna noin $(6 \times 145W) - 28W = 842W$. Vuosituotto jaettuna kuudelle kuukaudelle tuotto on noin 3.2kWh/pvä. Parhaimmillaan päivätuotto voi olla noin 4.5kWh – 5kWh. Taulukossa 4 on arvioitu kulutusta kesällä ja huomioitu aurinkopaneelien tuotto ja aurinkokeräinyksikön kiertovesipumppu.

Taulukko 4. Arvio vuorokausikulutuksesta kesällä

Laite	Teho x aika	Kulutus/tuotto
Mikro	800W x 0.25h	200Wh
Pyykkikone		1100Wh
Tiskikone		1100Wh
PC	65W x 2h	130Wh
Imuri	1200W x 2h	600Wh
Kiertovesipumppu	100W x 24h	2400Wh
Valaistus muu (LED)	27W x 2.5h	67.5Wh
Kaivopumppu	3000W x 0.15h	450Wh
TV	100W x 2h	200Wh
MultiPlus Invertterit tyh-	100W x 24h	2400Wh

jäkäyntikulutus			
Aurinkokeräimen pumppu	kv-	80W x 6h	480Wh
Aurinkopaneelien tuotto		842W x 6h	-5000Wh
			Yht. 4127.5Wh

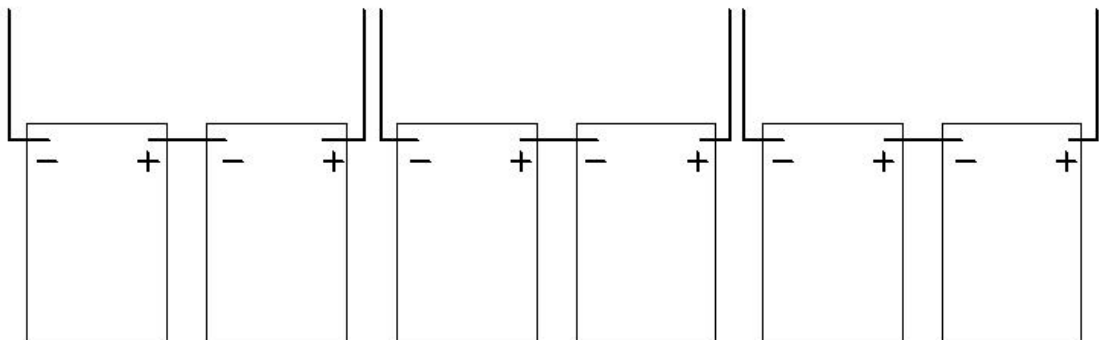
7 PARANNUSTOIMENPITEET

Kohteessa oli isoja ongelmia akkujen kanssa, vaikka akut eivät olleet kuin reilun vuoden vanhoja. Yhteiskapasiteetti oli suuri mutta akut tyhjenivät käytössä hyvin nopeasti. Huonoimpia akkuja poistettiin, mutta tilanne ei juuri parantunut ja tilalle päädyttiin asentamaan teollisuustehtaan käytöstä poistettuja AGM-akkuja.

Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumpun kulutus oli iso osa vuorokautisesta kulutuksesta. Sen tilalle tuli energiasäästöpumppu, jolla on saatu kulutusta pienennettyä merkittävästi. Erityisesti talven aikana, kun kaikki sähköenergia tuotetaan diesel-aggregaatilla, sillä on suuri merkitys, kuluttaako kiertovesipumppu akkukapasiteettia päivän aikana 2.4kWh vai 0.5kWh, tai jopa vähemmän.

7.1 Akkuongelmien syyt

Alun perin järjestelmässä oli kuusi Vartan 12V 225Ah starttiakkua. Ne oli kytketty siten, että kaksi muodosti sarjassa 24V ja kolme paria oli kytketty kiskoihin rinnan kuvion 18 mukaan.



Kuvio 18. Alkuperäinen akkukytkentä

Näiden kapasiteetti ei ollut riittävä, koska alussa käytössä oli myös sähköllä toimiva jääkaappi ja liesi. Käytössä akut tyhjenivät nopeasti ja starttiakkuille raskas syklinen käyttö kulutti ne nopeasti huonoon kuntoon. Starttiakkujen sallittu syklimäärä (täydestä→tyhjäksi) on yleensä alle 100, joten se on voinut täytyä jo

kolmessa kuukaudessa. Pienemmässä järjestelmässä starttiakkuja voi käyttää, kunhan pidetään siitä huoli, että varaustaso ei laske liian alas.

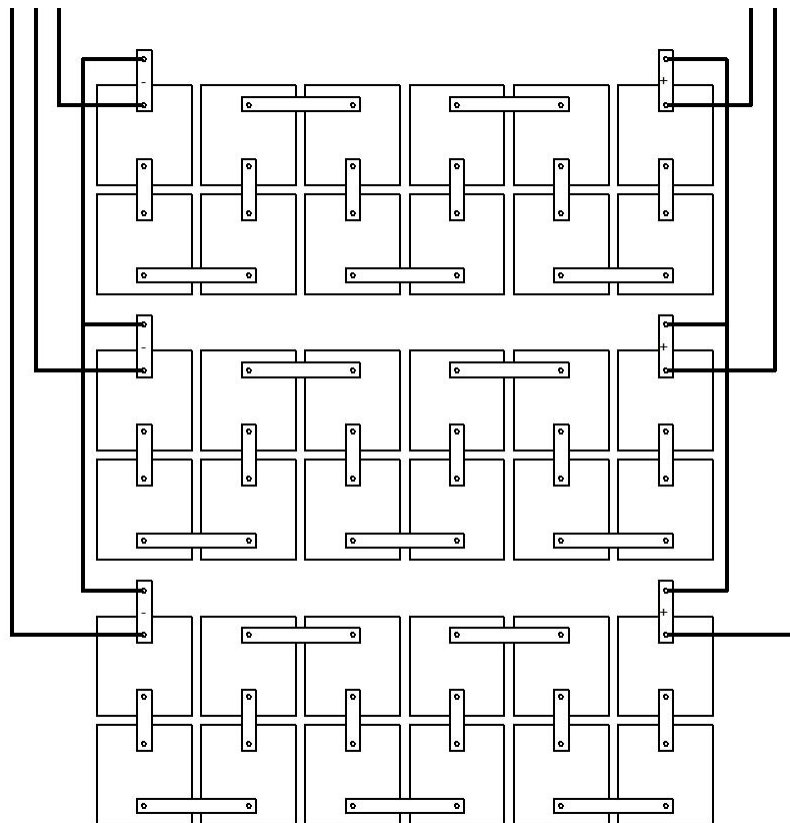
Myöhemmin akkujen määrää oli lisätty ja lopulta niitä on ollut yhteensä 18 kappaletta. Loput akut olivat Exide-merkkisiä, joissa jännite ja kapasiteetti sama kuin Vartan akuissa. Kytöntätapa on ollut samankaltainen, kuin kuviossa 25. Kokemuksen perusteella suuremmalla kapasiteetilla ei ole saatu suurta hyötyä, kuin vähäksi aikaa. Merkittävin syy tähän on se, että uudet akut on kytketty järjestelmään vanhojen vioittuneiden akkujen kanssa. Latauksessa ja purkauksessa akut eivät voi toimia tasaisesti, koska niiden väliset erot ovat suuria. Uusia akkuja ei ole todennäköisesti saatu täyteen kertaakaan ensimmäisen purkauksen jälkeen. Akkujen kytkennässä on käytetty paljon erimittaisia johtimia, jotka ovat myös osaltaan aiheuttaneet akkujen välisiä eroja, mutta suurin syy on ollut vioittuneiden ja uusien akkujen käyttö samaan aikaan.

7.2 AGM-akkujen asennus

Työn ensimmäisellä tutustumiskerralla latauksen aikana huomattiin, että Vartan akuista osa kiehui ja lämpeni paljon. Nämä kuusi akkuja purettiin ensimmäisenä pois, ja tällä saatiin vähän helpotusta muiden akkujen kestoon. Jännitemittauksilla pystyi kuitenkin toteamaan, että loput akut ovat myös hyvin huonossa kunnossa, sillä lyhyen kuormituksen jälkeen jännite-erot yksittäisten akkujen välillä oli 1V – 2V, eikä järjestelmän jännitettä saatu pysymään yli 24V. Latauksen jälkeenkin jännite putosi hyvin nopeasti 22V – 23V. Myöhemmin yritettiin vielä valikoida parhaimmat akut käyttöön, mutta niilläkään ei saatu järjestelmää toimimaan hyvin. Puretuissa akuissa jännitteet olivat pahimmillaan 6V – 8V. Lopulta tilalle asennettiin erään teollisuustehtaan käytöstä poistetut UPS-akut. Akut ovat olleet käytössä 10 vuotta, mutta käytännössä koko ajan täydessä latauksessa. Ensimmäinen akkupaketti asennettiin testikäyttöön 28.1.2015. Akkupaketti muodostettiin Hawker-merkkisistä AGM-akuista, ja yhden akun nimellisjännite on 2V ja kapasiteetti 450Ah. Akkutyypin soveltuu paremmin tämänkaltaiseen käyttöön. Akkupaketissa on siis 12 kappaletta sarjaan kytkettyä akkuja, jolloin

nimellisjännite on 24V ja kapasiteetti 450Ah. Näillä järjestelmä saatiin toimimaan hyvin ja akkujen purkaus aika vastasi todellista kulutusta.

Kahden kuukauden testikäytön aikana muutama akku jouduttiin kuitenkin vaihtamaan jännite-erojen vuoksi, ennen kuin kytkettiin kaksi samanlaista akkupakettia lisää. Tällä saatiin lopulta kapasiteetti kasvatettua 1350Ah:iin. Akkupaketit on kytketty kuvion 19 mukaisesti. Akkupaketit on kytketty kiskoihin (+ ja -) samanmittaisilla poikkipinta-alaltaan 70mm² johtimilla. Lisäksi akkupaketit on kytketty keskenään rinnan tasaamaan kuormitusta, ja näissä johtimissa on myös käytetty samaa 70mm² johdinta, jotka ovat keskenään samanmittaisia. Tällä tavoin akkupakettien purkaus/lataus saadaan mahdollisimman tasaiseksi keskenään.



Kuvio 19. Akkupakettien kytkentä

Paras tilanne olisi ollut, jos kaikki kolme akkupakettia olisi kytketty samaan aikaan. Ensimmäistä akkupakettia haluttiin kuitenkin ensin testata, ennen kuin

tehtäisiin loput johdinmuutokset. Testikäytössä akkujen syklinen käyttö pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä ja helmi- ja maaliskuun aikana myös aurinkopaneelit latasivat hyvin akkuja. Akut ovat kuitenkin aika vanhoja ja yksittäisten akkujen välillä on pieniä jännite-eroja, joten on vaikea ennustaa, miten kauan akut tulevat toimimaan. Selvää kuitenkin on jo nyt, että asennetut akut toimivat paljon paremmin kuin aikaisemmat alkuperäiset akut. Kolmen akkupaketin energiasisältö on noin 32 kWh, jos akut käytettäisiin täydestä aivan tyhjiksi. Akut ovat asennettuna paikoilleen kuvassa 8 ja oikeassa yläkulmassa näkyy myös aurinkopaneelien lataussäädin.



Kuva 8. Korvaavat akkupaketit

Akkujen toimintaa tulisi seurata alussa tiheämmin. Latauksen aikana voi helposti todeta kädellä, onko akkujen välillä lämpötilaeroja. Jännitemittauksen voi tehdä jokaiselle akulle erikseen ja yhden akun jännite ei normaalisti pitäisi olla missään tilanteessa yli 2.4V.

7.3 Sähköenergian kulutuksen vähennys

Suurin kulutuksen kohde järjestelmässä oli lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppu, joka on päällä vuoden ympäri. Sen käytön aikana mitattu teho pienimmällä asetuksella oli noin 100 W, eli 2.4 kWh vuorokaudessa. Kuvassa 9 on vanhan ja uuden pumpun kuvat. Uuden pumpun tehoalue on 5–45W. Se on

asennettu helmikuun aikana, ja asetettu pienimmälle teholle. Tämä on riittänyt pitämään talon lämpimänä. Pienen tehon mahdollistaa se, että talossa on lattia-lämpö ja yläkerrassa ei ole lämmityspiiriä, joten nostokorkeus on pieni. Sähköenergian kulutus vuorokaudessa tällä asetuksella on enää 0.12kWh ja tällä on saatu vähennettyä aggregaatin käyttöä kokemuksen mukaan noin 50 %. Taloon on suunnitteilla lämmityspatterit yläkertaan, joten silloin tehoa joutuu nostamaan. Ensi talven kovat pakkaset myös tulevat määrittämään osaltaan vaadittavaa tehoa.



Kuva 9. Vanha ja uusi kiertovesipumppu

7.4 BMV-monitorin uudelleen sijoitus

BMV-monitori on monipuolinen akkujärjestelmän seurantalaite. Laitteeseen määritellään akkujärjestelmän kapasiteetti ja siihen voi asettaa hälytystoiminta halutuille jännitteelle, sekä ohjata hälytysrelettä. Alla listattuna tärkeimmät tiedot mitä on helppo seurata:

- V = akkujärjestelmän jännite (V)
- I = virta (A), - tai + merkinen riippuen onko kulutusta vai latausta
- CE = Consumed energy, kulutettu energia (Ah)
- SOC = State of charge, latauksen taso (%)
- TTG = Time to go, arvioi akkujen keston sen hetkisellä kulutuksella

Monitori toimii myös laitteena, joka tallentaa tietoja, joita voi myöhemmin lukea. Esimerkiksi alhaisimman purkaustason, keskimääräisen purkaustason, syklien määrän, min–max-jännitetasot ym. Alkuperäisessä kytkennässä on se ongelma, ettei se näytä luotettavasti kuin ainoastaan jännitteen, koska mittaava shuntti on asennettu väärään paikkaan. Kuvassa 10 shuntti on asennettu yhden invertterin miinusjohtimen ja miinuskiskon väliin. Tässä tapauksessa miinuskiskon muut 5 johdinta menevät suoraan inverttereille ja vain pieni osa virrasta kulkee tämän shuntin kautta (johtimien tehohäviöiden pienentämiseksi plus- ja miinuskiskoilta menee siis yhteensä 4 johdinta/invertteri). Shuntti tullaan asentamaan siten, että kaikki kulutettu ja ladattu virta kulkee sen kautta. Lopullinen kytkentäkaavio on kuvattuna liitteessä 4.

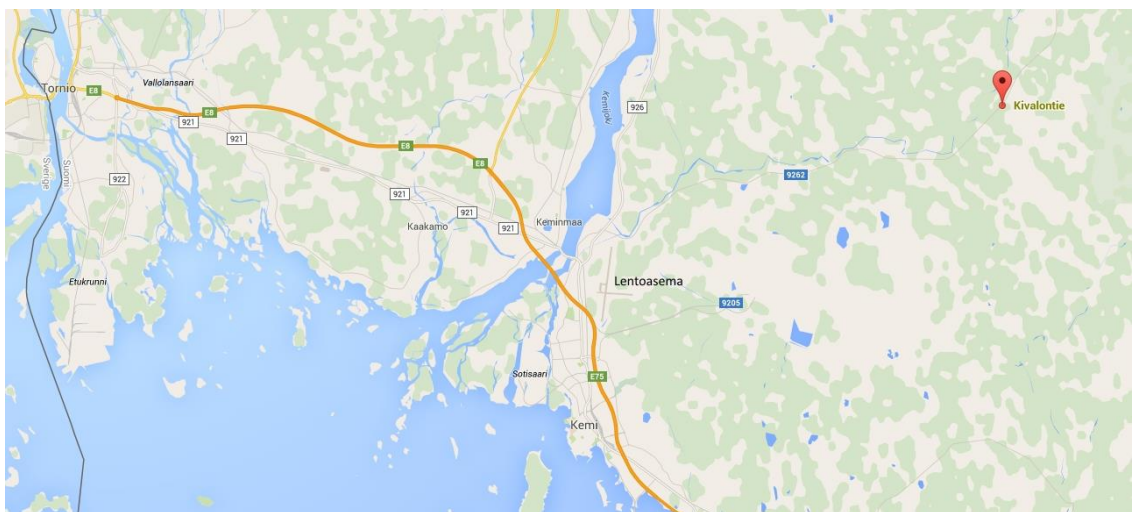


Kuva 10. Mittaavan shuntin (vasemmalla) alkuperäinen asennuspaikka

8 TUULIENERGIA VAIHTOEHTONA

Omakotitalo sijaitsee noin 20 kilometrin päässä rannikosta, joten tuulioloja ei voi verrata suoraan sinne. Suomen tuuliatlas kirjasta löytyy mittausdataa Kemlin lentoasemalta ja Kemlin Ajoksesta. Vuosina 1971–1986 tehdyt mittaukset antoivat Kemlin lentoaseman keskimääräiseksi tuuleksi 3.7 m/s. Mittari sijaitsi 15 metrin korkeudessa. (Tammelin 1991, 14.) Ilmatieteen laitokselta saatu tuoreempi tuulidata aikaväliltä 1981–2010, antaa keskimääräiseksi tuuleksi lentoasemalle 3.5 m/s. (Hutila 2015.)

Parhaimman tiedon alueen tuulista saa keräämällä tuulidataa itse mittarilla. Mittari tulee asettaa sille korkeudelle, mille tuulivoimala suunnitellaan. Mittausaika-
väli tulisi olla useita kuukausia ja mielellään ympäri vuoden, jotta tulos olisi tarpeeksi tarkka. Kuviossa 20 on talon tarkempi sijainti kartalla.



Kuvio 20. Talon sijainti kartalla

8.1 Nykyinen kulutus ja aurinkopaneelien tuotto

Kulutus on pienentynyt paljon uuden kiertovesipumpun myötä ja arvioitu vuoro-
kausikulutus uudella arvolla taulukon 4 mukaan kesällä on 6.85 kWh. Aurinko-
paneelien tuotto on parhaimmillaan 5 kWh päivällä. Arvioidussa kulutuksessa
on mukana tiskikone, pyykkikone ja imuri. Aurinkoisina päivinä, jolloin näitä lait-

teita ei käytetä ($6850\text{W} - 2800\text{W} = 4050\text{W}$), aurinkopaneelit tuottavat enemmän kuin mitä kulutus on.

Nykyisen järjestelmän aurinkopaneelien lataussäädin mahdollistaa 60A:n latausvirran. 6 aurinkopaneelia tuottavat parhaimmillaan noin 31A, joten paneeleita on mahdollisuus lisätä järjestelmään. Esimerkiksi 10 aurinkopaneelin tuottama maksimivirta on noin 52A ja teho PWM-lataussäätimellä noin 1400W. Tällöin voidaan vielä käyttää samaa lataussäädintä, eikä muita muutoksia järjestelmään tarvita. Siirtojohtimen tehohäviö nousee 28W:sta noin 80W:iin. Vuosituotto kaavan 3 mukaan 10 aurinkopaneelilla on 950 kWh.

8.2 Tuulivoimalaehdotukset

Ensimmäinen ehdotus on WindSpotin valmistama 1.5kW vaaka-akselinen tuulivoimala. Siinä on myrskysuojaus toteutettu keskipakoisvoimaan perustuvalla lavan säädöllä. Voimala käynnistyy 3 m/s tuulella ja nimellistehon tuotto saavutetaan 12 m/s tuulella. Taulukossa 5 on listattu tarkemmat tiedot suoraan valmistajan sivuilta.

Taulukko 5. WindSpot 1.5kW

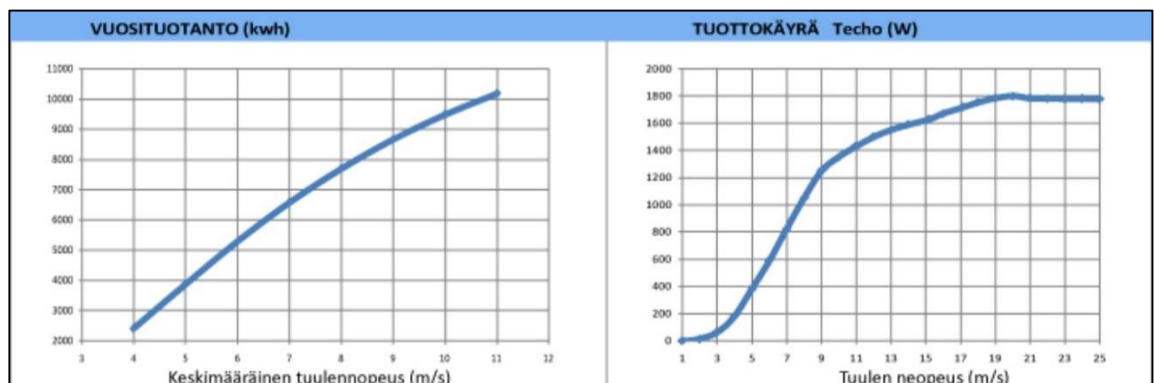
Nimellisteho	1.5kW @ 250rpm
Roottorin halkaisija	4.05m
Käynnistysnopeus	3 m/s
Nimellistehon tuotto	12 m/s
Paino	155kg
Pituus	2.9m
Arvioitu vuosituotto	2383 – 4850kWh (5 – 7 m/s)
Generaattori	Kestomagnetoitu, 3 vaihdetta
Suunnan ohjaus	Passiivinen ohjaus peräsimellä
Myrskysuojaus	Lavan säätö keskipakoisvoimalla
Välitys	Vaihteeton suoravälitys
Jarrutus	Sähköinen

Melu	37 dB mitattuna 60m etäisyydeltä tuulen nopeudella 8 m/s (BWEA std)
------	---

Kuviossa 21 on valmistaja sivuilta kopioitu tuottokäyrä ja vuosituotanto. Tuulen keskimääräisen nopeuden ollessa 3.5 m/s vuosituotto jää kovin alhaiseksi. Kodin vihreä energia Oy antaa paketille hinnaksi 7590 euroa, johon kuuluu:

- tuulivoimala 1.5kW
- akkujen latausohjain ja jarruvastus
- turvakytkimet
- 5 vuoden takuu

Pakettiin ei sisälly masto, eikä kaapeli. Lataussäätimestä ei ole annettu tarkempia tietoja.



Kuvio 21. WindSpotin vuosituotanto ja tuottokäyrä

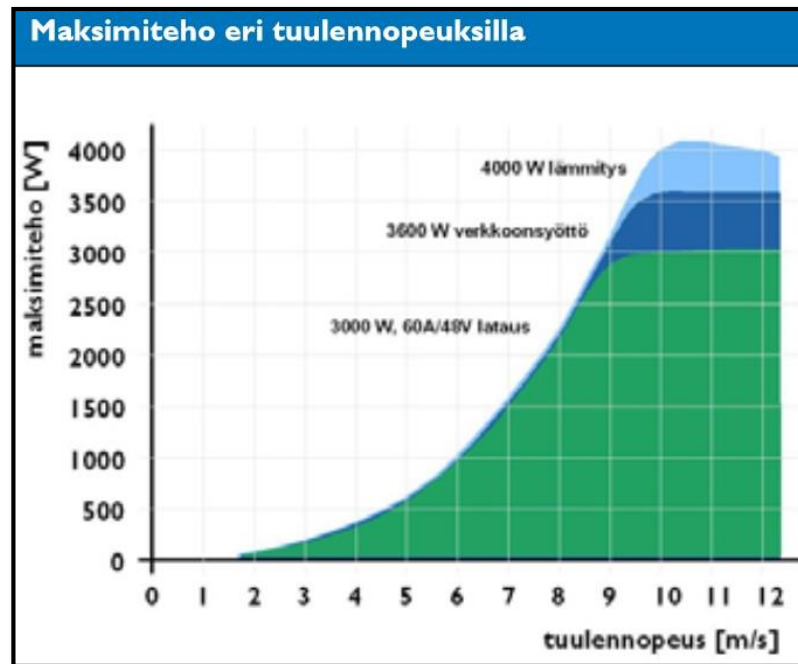
Toinen ehdotus on kotimainen FinnWindin Tuule C200-tuulivoimala. Malli C200 on myös tarkoitettu akkujen lataamiseen, ja taulukkoon 6 on listattu sen tietoja. Tuulivoimala on suunniteltu kestävään Suomen arktiset olosuhteet. Tuulivoimalalla on 5 vuoden takuu, mutta hintatietoja sille ei saatu kyselyistä huolimatta.

Taulukko 6. Tuule C200 4kW

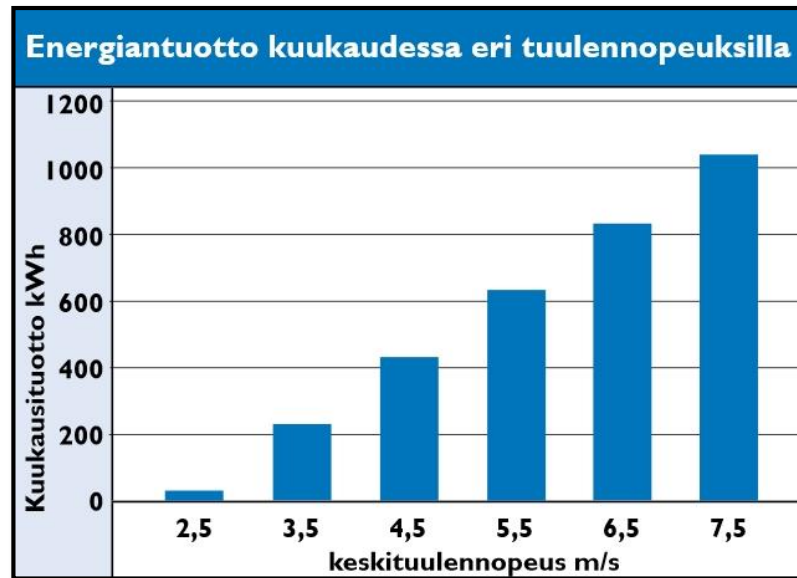
Nimellisteho	4kW
Roottorin halkaisija	5m
Käynnistysnopeus	1.9 m/s

Nimellistehon tuotto	10 m/s
Paino	140 kg
Generaattori	Kestomagnetoitu, 3 vaihdetta
Suunnan ohjaus	Passiivinen ohjaus peräsimmellä
Myrskysuojaus	Tuulenpaineella sivuun kääntävä mekanismi
Välitys	Vaihteeton suoravälitys
Jarrutus	Sähköinen

Kuviossa 22 ja 23 on FinnWindin sivuilta kopioidut kuvat tehokäyrästä ja kuukausituotosta. Tuottokäyrässä on myös mukana Tuule E200- ja H200-tuulivoimaloiden tuotto. Näissä malleissa toinen tuottaa energiaa suoraan verkkoon ja toinen tuottaa vain lämpöä.



Kuvio 22. C200 tehokäyrä

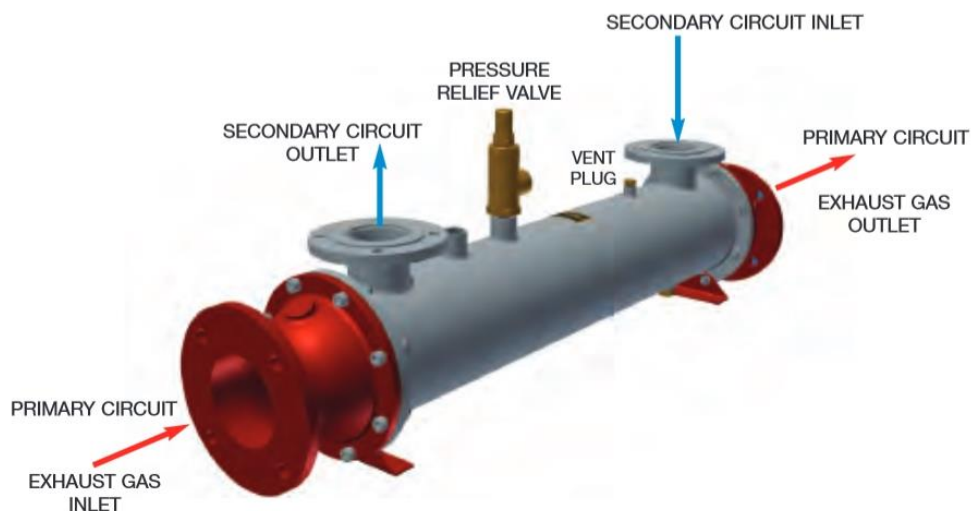


Kuvio 23. C200 kuukausituotto

Keskimääräisen tuulen ollessa 3.5 m/s vuotuinen tuotto on hieman suurempi FinnWindin tuulivoimalalla, jos sivuilta saatuja tuottokuvioita käytetään. FinnWindin tuotetta puoltaa myös yksinkertaisempi rakenne erilaisen myrskysuojaimen vuoksi. Sen rakenne verrattuna WindSpotin lavankääntömekanismiin on huomioitava, kun niitä käytetään talviolosuhteissa. Kuvioiden 31 ja 33 mukaan vuosittainen tuotto on 2000–2600 kWh luokkaa, joka on vähän. Tuottoa tulee vähentämään myös lataussäätimen häviöt. Paikalla tulisi suorittaa tuulimittauksia pitkällä aikavälillä, jos tuulivoimalan hankintaa harkitaan. 4.5 – 5 m/s keskimääräisillä tuulilla tuotto olisi jo selvästi parempi.

9 EHDOTUKSIA TULEVAISUUTTA VARTEN

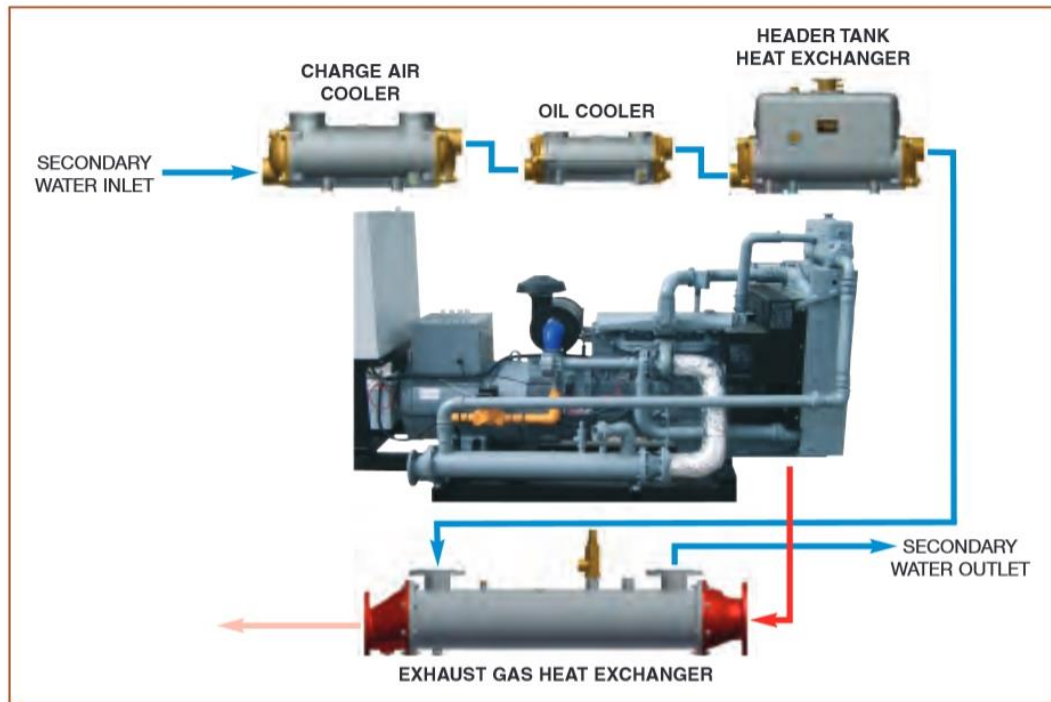
Aggregaatti tuottaa paljon lämpöä, joka menee nyt suurimmaksi osaksi hukkaan pakokaasujen mukana. Osa moottorin lämmöstä jää kuitenkin rakennuksen sisälle ja auttaa pitämään tilan lämpötilaa yllä talvella. Muita lämmönlähteitä tilassa ovat puukattilan, lämminvesivaraajan ja putkistojen lämpöhäviöt. Aggregaatin hukkalämpöä voisi hyödyntää paremmin, jos pakokaasujen lämpöä otettaisiin talteen lämmönvaihtimella ja varastoitaisiin lämminvesivaraajaan. Tällöin hyötyä saataisiin myös kesällä lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Yksi vaihtoehtoista on Bowmanin valmistama pakokaasulämmönvaihdin. Lämmönvaihdin on suunniteltu ottamaan talteen lämpöenergiaa maakaasu, diesel ja biopolttoaine moottoreissa. Lämmönvaihdinosa on kokonaan ruostumattomasta teräksestä ja päätykappaleet ovat valurautaa. Tuotevalikoimassa on lämmönvaihtimia 16kW:n konetehosta lähtien ja kuviossa 24 on esimerkki tuotteesta. Lämmönvaihtimen mitoittamiseen tarvitaan polttoainetyyppi, pakokaasun virtaus, pakokaasun lämpötila ja vesipiirin virtaus. Useampi tekijä vaikuttaa siis lopulliseen lämpimän veden tuottoon. Valmistaja lupaa esimerkiksi 16kW:n moottorilla lämmöntuotoksi noin 10kW.



Kuvio 24. Bowman lämmönvaihdin

Valikoimasta löytyy myös lämmönvaihtimia, jotka ottavat lämpöä talteen moottorin ahtoilmasta, öljystä ja jäähdytysnesteestä. Tällöin lämpöä saadaan talteen

vielä tehokkaammin. Kuviossa 25 on kaavio kokoonpanosta, jossa on hyödynnetty edellä mainittuja lämmönvaihtimia.



Kuvio 25. Bowmanin lämmönvaihtimet

Omavaraisen järjestelmän ylläpito voi olla haasteellista, jos talolta haluaa olla useamman päivän pois. Toinen parannusehdotus liittyykin tämän helpottamiseen. Akkukapasiteetti riittää nykyään pienentyneellä kulutuksella useamman päivän ilman latausta. Ongelmana onkin talvella lämminvesivaraajan jäähtyminen, ellei sitä lämmitetä puilla. Ratkaisuna voisi olla esimerkiksi öljypoltin ja kombikattila, sekä automatiikan hyödyntäminen. Öljypolttimen puhallin nostaa sähkönkulutusta mutta aggregaatin automaattisella käynnistyksellä akkuja voidaan taas ladata. Multiplus invertterin sisäisellä kytkimellä on mahdollista ohjata aggregaattia käynnistymään ja pysähtymään. Ohjelman voi asettaa esimerkiksi niin, että käynnistyskäsky annetaan, kun jännite on 23.5V. Kytkin pitää ohjauksen päällä niin kauan, kunnes haluttu latausaika täyttyy. Tällä järjestelyllä akkujen varaustaso saadaan pysymään hyvänä ja lämminvesivaraajan lämpö ylhäällä. Tämä vaihtoehto olisi hyvä ottaa huomioon, kun nykyinen vanha kattila uusi-taan.

10 POHDINTA

Opinnäytetyö antaa selkeän kuvan toimeksiantajalle hänen omasta järjestelmästänsä sekä lisätietoa omavaraisesta energiatuotannosta. Työssä tehdyt sähkö- ja laitekaaviot selkeyttävät järjestelmän rakennetta ja helpottavat sen ylläpitoa. Järjestelmän akut toimivat nykyään hyvin ja kulutuksen seuranta helpottuu BMV-monitorin uudella sijoituksella. Vuorokausikulutukseen on saatu merkittävä parannus uuden kiertovesipumpun avulla. Kohteen järjestelmässä on laadukkaat ja monipuoliset laitteet ja niiden ohjekirjoihin on saanut paneutua tarkasti. Työ on ollut itselleni mielenkiintoinen ja haastava.

Aurinkoenergiaa kuvaavat luvut kertovat, että Suomessakin voi hyvin hyödyntää sitä energialähteenä, niin sähkö- kuin lämpöenergian tuottamiseen. Pientuulivoimalan ongelmana ovat sisämaan tuuliolosuhteet sekä sen suurempi vaikutus aluemaisemaan. Aurinkopaneelit ja -keräimet voidaan taas integroida rakenteisiin, joista ne eivät juuri erotu. Omavaraisella energiantuotannolla on suuri merkitys tulevaisuuden kannalta, jotta uusiutuvia energiamuotoja voidaan hyödyntää laajemmin. Erityisesti yksityisten järjestelmien sähköverkkoon liittäminen tulisi olla mutkatonta ja mahdollista siten, että ylimääräinen tuotanto vähennettäisiin omasta kokonaiskulutuksesta. Nykyään järjestelmän koko on järkevää mitoittaa vain oman kulutuksen mukaan.

LÄHTEET

- Ahoranta, J. 2009. Sähkötekniikka. 10. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo. VTT.
- Aurinkosähkö. Helsinki University of Technology. Laboratory of Advanced Energy Systems. Viitattu 10.2.2015.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/index.html>.
- Biohousing heating tool. 2008. Energialaskuri. Viitattu 15.2.2015.
<http://www.biohousing.eu.com/heatingtool/Ecalc.asp>
- Bossanyi, E., Burton, T., Jenkins, N. & Sharpe, D. 2011. Wind Energy Handbook. Second edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Boylestad, R. 2000. Introductory circuit analysis. 9th edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön, Tampereella tuulee -projekti. Viitattu 9.3.2015
<http://www.tampere.fi/tampereinfo/projektit/kaupunkikonserninhankeet/eco2-hanke/raportitjajulkaisut/tampereellatuulee-jokamiehenopaspientuulivoimankayttoon.html>.
- Energia auringosta Oy. Aurinkojärjestelmän toimintaperiaate. Viitattu 13.2.2015.
<http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- Finnwind. Tuulivoimalat. Viitattu 17.2.2015. <http://www.finnwind.fi/tuulivoimalat>
- Hutila, A. 2015. Kemin lentokentän tuulidata. Email asko.hutila@fmi.fi 8.4.2015.
- Hämeenoja, E. 1993. Akkuopas. 1 painos. Espoo: Erkki Ahlavuo Oy.
- Inkinen, P. & Tuohi, J. 2011. Momentti 1, Insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.
- Lindström, D. 2008. Aurinkolämmön rakentamisen opas. Vaasa: Svenska Yrkehögskolan.
- Motiva. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 17.2.2015.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

- Motiva. Puulämmitys kiinteistössä. Viitattu 3.4.2015.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat
- Perälä, O. 2013. Lämpöpumput. 3 painos. Helsinki: Karisto Oy.
- Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2012. Motiva Oy. 24.2.2015.
http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf
- Pientuulivoima. Suomen tuulivoima yhdistys Ry.
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima>
- Rantala, E. 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto.
- REPS. Renewable Energy Production Solutions. 2013. MPPT ja PWM Latausäädin-ABC. Viitattu 13.3.2015.
<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>
- Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry.
- Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Viitattu 9.2.2015. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- Tammelin, B. 1991. Suomen tuuliatlas. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- Vader, R. 2011. Energy unlimited. Revision 9. Viitattu 17.2.2015.
<http://www.victronenergy.com/upload/documents/Book-Energy-Unlimited-EN.pdf>.
- Victron Energy. 2014. Which solar charge controller: PWM or MPPT?. Viitattu 13.3.2015. <http://www.victronenergy.com/upload/documents/White-paper-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf>
- Weal, E & Vasant Kumar, R. 2015. Lead/acid batteries. University of Cambridge. Viitattu 17.2.2015.
http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries_lead_acid.php.
- Windspot. Tutustu Windspotiin. Viitattu 7.2.2015.
<http://finland.windspot.es/home-wind-turbines/products/87/-tutustu-windspotiin>

LIITTEET

- Liite 1. HJM195M-24 aurinkopaneelin tiedot
- Liite 2. Aurinkopaneelien kytkentä
- Liite 3. Lämmitysjärjestelmän laite- ja toimintakaavio
- Liite 4. Sähköjärjestelmän kytkentäkaavio