

Aurinkoenergiaratkaisun optimointi

Eetu Laiho

Opinnäytetyö

Toukokuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Laiho, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Aurinkoenergiaratkaisun optimointi		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen & Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Ammattikorkeakoulu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Uusiutuvan energiantuotannon tarjonta ja suosio on ollut ja on edelleen nousussa järjestelmien kehityksen ja kansallisten päästötavoitteiden myötä. Monet energiayhtiöt tarjoavat omia aurinkosähkypakettejaan kuluttajille, ja osa kuluttajista suunnittelee ja toteuttaa järjestelmän itse. Aurinkosähköjärjestelmien mitoitus perustuu usein pitkällä aikavälillä tarkasteltavaan kulutukseen. Tällä menetelmällä tuotetun ja kulutetun sähkön määrä voi täsmätä paperilla, mutta käytännössä kaikkea sähköä ei välttämättä saada käytettyä itse.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella erilaisilla lämmitysratkaisuilla rakennettujen omakotitalojen tuntikohtaista sähkön kulutusta ja verrata sitä teoreettiseen aurinkosähkön tuottoon. Vertailun pohjalta tarkasteltiin keinoja, joilla aurinkosähköjärjestelmien hyötyä saataisiin kasvatettua, ja tapoja, joilla mitoitusperiaatteita muutettaisiin.</p> <p>Työtä varten valittiin kolme Jyväskylässä sijaitsevaa ja erilaisella lämmitysratkaisulla rakennettua omakotitaloa. Tutkittavista omakotitaloista hankittiin sähkön tuntikohtaiset kulutustiedot yhden vuoden ajalta sekä tietoja lämmitysjärjestelmästä ja muista kodin sähkölaitteista. Kulutustietojen avulla kohteille laskettiin kesäkuukausien keskimääräiset tuntikohtaiset päiväkulutukset. Jokaiselle omakotitalolle tehtiin tarvittavan aurinkosähköjärjestelmän mitoitus erilaisilla mitoitusperiaatteilla.</p> <p>Opinnäytetyön tulosten perusteella kulutuksen ja aurinkosähkön tuntipohjaisen tarkastelun avulla mitoituksesta saadaan tarkempaa. Tulosten perusteella nähdään, etteivät samat mitoitusastavat sovellu kaikille lämmitysmuodoille. Aurinkosähkön kaikkein optimaalisimpaan hyödyntämiseen tarvitaan akku, johon aurinkosähköä varastoidaan myöhempää käyttöä varten, sekä muutoksia kuluttajien toimintatapoihin.</p>		
Avainsanat (<u>asiasanat</u>)		
Aurinkosähkö, aurinkoenergia, aurinkopaneeli, aurinkosähkön optimointi		
Muut tiedot		

Author(s) Laiho, Eetu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 68	Permission for web publication: x
Title of publication Optimisation of solar electricity systems		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Marjukka Nuutinen & Vesa Hytönen		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences		
Abstract <p>Developing systems and national emission targets have facilitated the supply and popularity of renewable energy production. Many energy companies offer consumers their own photovoltaic packages, and some consumers plan and implement the system themselves. Planning photovoltaic systems is often based on long-term consumption which produces an estimate where the amount of produced and consumed electricity can match in theory, but in practice the user may not be able to use all the produced electricity.</p> <p>The aim of the thesis was to inspect the hourly electricity consumption of detached houses using different heating solutions and compare them with the theoretical solar power production. The comparison enabled studying the ways to increase the efficiency of solar power systems and how to change the design principles.</p> <p>Three detached houses in Jyväskylä with different heating solutions were selected for the inspection. Hourly consumption data on the electricity for a time period of a year was obtained with the information about the heating system and other household electrical appliances for the examined houses. The consumption data was used to calculate an average hourly consumption rate per day for each of the summer months. The photovoltaic system was planned for each house individually with different design principles.</p> <p>The results of the thesis make planning the system more accurate based on the hourly inspection of consumption and photovoltaic electricity production. The results show that the same dimensioning methods are not suitable for all heating systems. For the most optimum use of solar power, a battery is required to store the solar power for later use. Changing the consumer behavior also has a big role in making solar power more cost-effective.</p>		
Keywords/tags (subjects) Solar electricity, solar power, solar panel, optimization		
Miscellaneous		

Sisältö

Käsitteet	4
1 Johdanto	4
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	4
1.2 SÄRMÄ-hanke	5
2 Tutkimusasetelma	6
2.1 Tutkimusongelma ja tutkimustehtävän rajaus	6
2.2 Tutkimusaineisto	8
3 Aurinkosähkö	9
3.1 Aurinkoenergia Suomessa	9
3.2 Aurinkosähkön pientuotanto Suomessa	10
3.3 Aurinkopaneelin toimintaperiaate	11
3.4 Yleinen laitekokoonpano	13
3.5 Älykkäät sähköverkot ja mikrotuotanto	16
3.6 Kysyntäjousto	17
3.7 Älykkään verkon rakenne	17
3.8 Mitoitus	19
4 Optimointi	22
4.1 Sähkön myynti	22
4.2 Sähkön varastointi	24
4.3 Akusto	25
4.4 Energiavaraajat	29
4.5 Kulutustottumukset	31
5 Tutkimuskohteet	32
5.1 Tarkastelu	32
5.2 Kohde 1, maalämpö	34
5.3 Kohde 2, suora sähkölämmitys	35
5.4 Kohde 3, kaukolämpö	36

6	Aurinkosähkön tuotto ja optimointi	37
6.1	Paneelien asennus.....	37
6.2	Aurinkosähkön tuotto	39
6.3	Kohde 1, maalämpö.....	41
6.4	Kohde 2, suora sähkölämmitys	45
6.5	Kohde 3, kaukolämpö.....	48
7	Tulokset	52
7.1	Kohde 1 Maalämpö	52
7.2	Kohde 2, suora sähkölämmitys	52
7.3	Kohde 3, kaukolämpö.....	53
7.4	Muutoksia mitoitukseen	54
2.1.1	Mitoitus olemassa olevien energiavarastojen mukaan.....	54
2.1.1	Mitoitus lämpimän veden käytön mukaan.....	54
3.1.1	Mitoitus vuorokausitasolla	55
4.1.1	Olemassa olevan kulutuksen siirtäminen.....	55
5.1.1	Älykkäät sähköverkot.....	56
8	Pohdinta	57
8.1	Tavoitteet ja tulokset	57
8.2	Rajoitukset ja hyödyntäminen	57
	Lähteet	59
	Liitteet	63
Liite 1.	Kohteiden kesäkuukausien keskiarvolliset kulutukset tunneittain	63
Liite 2.	Aurinkosähkön tuoton laskenta ja esimerkki	65
Liite 3.	Auringon säteily määrä vaakatasolle sekä kuviosta otetut arvot.	68
	Kuviot	
	Kuvio 1. Auringon säteily määrät Euroopassa	10

Kuvio 2. Paneelin tuottaman tehon riippuvuus lämpötilasta	13
Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän perusrakenne	14
Kuvio 4. Hybridijärjestelmä	15
Kuvio 5. On-grid-järjestelmä	15
Kuvio 6. Off-grid-järjestelmä	16
Kuvio 7. Älykkään verkon rakenne	18
Kuvio 8. Sähkön hinnan muodostuminen	24
Kuvio 9. Akun toimintaperiaate	26
Kuvio 10. Akun lataus- ja purkusyklien sekä purkusyvyyden suhde	28
Kuvio 11. Energiavaraaja	30
Kuvio 12. Aurinkopaneelien suuntauksen vaikutus tuottoon (W/m ²).....	37
Kuvio 13. Auringon valon heijastuminen lasiselta pinnalta	38
Kuvio 14. Auringon säteilymäärät vaakatasolle Varkaudessa.....	40
Kuvio 15. Kohteen 1 kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus.....	41
Kuvio 16. Kohde 1, tuotto ja kulutus	42
Kuvio 17. Kohteen 1 optimoitu kulutus	43
Kuvio 18. Kohteen 2 kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus.....	45
Kuvio 19. Kohde 2, kulutus ja tuotto	46
Kuvio 20. Kohde 2, optimoitu tuotto ja kulutus.....	47
Kuvio 21. Kohde 3, kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus	49
Kuvio 22. Kohde 3, aurinkosähkö tuotto ja kulutus	49
Kuvio 23. Kohde 3, optimoitu kulutus ja tuotto	51

Käsitteet

AGM	Absorbent Glass Mat. Akku, jossa happo on imeytetty lasikuitumattoon.
AMR	Automatic meter reading. Automaattinen mittarinluenta.
CHP	Combined heat and power. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto.
COP	Coefficient of performance. Lämpöpumpun hyötysuhteen kertova luku.
DC/AC	Direct Current/Alternating current. Tasavirta/vaihtovirta.
HEMS	Home energy management system. Kodin energianhallintajärjestelmä.
IoT	Internet of things. Asioiden internet.
LVDC	Low voltage direct current. Pienjännite tasasähköverkko

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Uusiutuva energiantuotanto kasvattaa suosiotaan järjestelmien hintojen laskun, tehokkuuden ja tunnettuuden kasvun, kansallisten päästötavoitteiden ja suunnitteilla olevien älykkäiden sähköverkkojen myötä. Tämä lisää myös omakotitalouksien aurinkosähköjärjestelmien suosiota, ja monet yritykset, kuten energiayhtiöt, ovatkin alkaneet viime vuosina aktiivisesti markkinoimaan aurinkosähköjärjestelmiään ja rakentamaan aurinkosähköpuistoja.

Kotitalouksien aurinkosähköjärjestelmät mitoitetaan yleensä sähköenergian kulutuksen mukaan. Näin aurinkosähköjärjestelmästä saadun sähkön tuotto saadaan paperilla vastaamaan sähkön kulutusta tai kattamaan ainakin osan siitä ja verkosta ostettavan sähkön määrä vähenee. Käytännössä kotitalouksien aurinkosähköjärjestelmien tuottamasta sähköenergiasta varsin suuri osa saattaa jäädä hyödyntämättä itse kohteessa. Tämä johtuu siitä, että aurinkosähkön hyvinä tuottoaikoina, jotka sijoittuvat keskipäivälle ja etenkin kesäajalle, sähkön tarve on usein pienimmillään kotitalouksissa.

Aurinkosähköjärjestelmissä ongelmaksi kotitalouskäytössä muodostuu usein sähkön kulutuksen ja tuoton sitoutuneisuus tiettyihin ajankohtiin päivässä. Nämä ajankohdat eivät yleensä osu kohdakkain, vaan aurinkosähkön paras tuotto ja suurin sähkön kulutus eriävät ajallisesti niin, ettei järjestelmistä saada parasta mahdollista hyötyä irti.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella eri lämmitysmuotoisten omakotitalojen tuntikohtaista sähkönkulutusta ja verrata kulutusprofiilia potentiaaliseen aurinkosähkön tuottoprofiiliin. Näiden profiilien vertailun ja niiden erojen pohjalta etsittiin keinoja, joilla sähkönkulutus ja aurinkosähkön tuotto saataisiin kohtaamaan paremmin ja mahdollisimman optimaalisesti kuluttajan kannalta. Työssä tarkasteltiin myös paneelien mitoitus ja sitä, onko optimoinnilla vaikutusta paneelijärjestelmän mitoitukseen ja kannattaviin paneelikokoihin.

Aurinkosähkön tuoton ja sähköenergian tarpeen eriaikaisuus ja niistä aiheutuvat ongelmat ovat suurimmat tekijät, jotka vaikuttavat aurinkoenergian huonoon kannattavuuteen Suomessa ja muualla Pohjoismaissa auringon rajallisen säteilymäärän lisäksi. Mikäli aurinkosähkön tuotto ja kotitalouden sähköntarve saataisiin kohtaamaan paremmin, kasvaisi aurinkosähköjärjestelmästä saatava hyöty ja näin ollen aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus. Tämä voisi johtaa järjestelmien yleistymiseen ja kotitalouksien sähköenergiaomavaraisuuden kasvuun ja tätä kautta lisätä puhtaan uusiutuvan energian käyttöä Suomessa.

Aurinkosähkön tuottoon vaikuttavia keinoja on tutkittu aikaisemmin, mutta aiemmissa tutkimuksissa on keskitytty lähinnä siihen, että aurinkopaneelit saataisiin tuottamaan mahdollisimman hyvin esimerkiksi niiden suuntauksen, aurinkoa seuraavien telineiden tai eri kennotekniikoiden avulla. Aurinkosähkön tuoton ja käytön kannattavuudesta on myös useita tutkimuksia, ja asiasta tiedetään, että mitä enemmän tuotettua aurinkosähköä pystytään käyttämään itse sen myynnin sijaan, sitä kannattavampaa aurinkosähkön tuottaminen on.

1.2 SÄRMÄ-hanke

Opinnäytetyöhön saatiin toimeksianto Jyväskylän ammattikorkeakoululta. Jyväskylän ammattikorkeakoululla on meneillään SÄRMÄ – Sähkön mikrotuotannon ja älyverk-

kojen toimintaympäristö -hanke, johon liittyen työ tehtiin. SÄRMÄ-hankkeessa tutkitaan sähkön mikrotuotantoa ja älykkäitä sähköverkkoja ja niihin liittyviä tekniikoita, laitteistoa ja toimintamalleja rakentamalla älykkäiden sähköverkkojen ja mikrotuotannon toimintaympäristö. Toimintaympäristö rakennetaan niin, että se sisältää sähkön mikrotuotannon laitteita, jotka soveltuvat saarekekäyttöön tai verkkoon liitettäviksi, kuten aurinko-, tuuli- ja biokaasulaitteistoja, ja älykkään sähköverkon laitteita kysyntäjouston, kuormanhallinnan ja mittauksien toteutukseen. Toimintaympäristön tarkoituksena on saada käytännön tietoa ja kokemusta järjestelmistä, niiden toiminnasta ja käytöstä ja käyttää näin saatua tietoa järjestelmien kehitykseen ja uusien liiketoimintamallien luontiin. Hankkeella on tarkoituksena saada aikaan oppimisympäristö jota voivat hyödyntää niin ammattikorkeakoulu opetuksessaan kuin paikalliset yrityksetkin.

Opinnäytetyössä tutkittiin juuri aurinkosähkön mikrotuotantoa ja etsittiin ratkaisuja ja vaikuttavia tekijöitä aurinkosähkön järkevään käyttöön. Työssä tarkasteltiin ongelmaa tutkimalla kolmea erilaisella lämmitysratkaisulla ja sähkökäyttöprofiililla varustettua omakotitaloa ja etsittiin ratkaisuja näiden pohjalta. Kohteiksi valikoitiin eri lämmitysratkaisuilla rakennettuja talouksia, jotta nähtiin, onko lämmitysratkaisulla vaikutusta optimoinnin tuloksiin.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimusongelma ja tutkimustehtävän rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia nykyisiä aurinkosähköjärjestelmiä ja kehittää niiden tuottaman sähkön hyödyntämistä. Työn tutkimusongelmana oli siis aurinkosähkön tuoton ja kulutuksen kohtaamattomuus.

Opinnäytetyön tutkimusotteena toimi kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kvalitatiivinen ote valittiin, koska työn tarkoituksena oli tutkia ilmiötä, joka on aurinkosähkön epäedullinen käyttö, sekä esittää teoreettisia ratkaisuja tähän ongelmaan eikä ratkaista sitä käytännössä. Laadullinen tutkimus soveltuu tilanteisiin, joissa tietystä ilmiöstä halutaan saada syvälinen näkemys ja selvittää, mistä ilmiö johtuu (Kananen 2015, 68-71).

Työtä voitaisiin pitää kehittämistutkimuksena, mutta koska työssä ei pyritty suoraan saamaan aikaan muutosta kohteissa, ei kehittämistutkimus kelpaa tutkimusotteeksi. (Ks. Kananen 2015, 78.)

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Miten aurinkosähköjärjestelmiä voitaisiin mitoittaa paremmin?
- Miten aurinkosähköä voitaisiin käyttää kohteissa optimaalisesti?
- Mitkä tekijät vaikuttavat aurinkosähkön optimaaliseen käyttöön?

Opinnäytetyössä tutkittiin omakotitalokohteita, joissa ei ollut valmiina aurinkosähköjärjestelmiä tai -paneeleita. Työstä rajattiin pois mikrotuotantoa suuremman kokoluokan laitteistot eikä itse aurinkosähköjärjestelmiin ja niiden tekniikoihin keskitytty pääasiallisesti.

Työstä rajattiin pois myös aurinkosähköjärjestelmien hankinnan ja asennuksen suunnittelu ja toteuttaminen sekä niihin liittyvät kustannukset ja keskityttiin etsimään keinoja, joilla järjestelmien käyttöä saataisiin paranneltua.

Työssä ei myöskään laskettu kannattavuuksia tai takaisinmaksuaikoja paneelijärjestelmille tai optimoinnin mahdollisille laitteille. Kustannusten kartoittaminen jätettiin vastaavaan, myös SÄRMÄ-projektiin liittyvään opinnäytetyöhön, jossa tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmien kokonaiskustannuksia syvällisemmin.

Aurinkosähköjärjestelmien mitoitus tehtiin kolmelle kohteelle. Mitoitus tehtiin karkeasti ja olettaen, että vaikuttavat tekijät, kuten suuntaus, varjostukset ynnä muut muuttujat, olisivat kaikilla taloilla optimaaliset eikä laitteistosta aiheutuvia häviöitä otettu huomioon. Työssä ei pääasiallisesti keskitytty järjestelmien mitoittamiseen, mutta tarkoituksena oli tarkastella optimoinnin vaikutuksia mitoitukseen ja kannattaviin paneelikokoihin. Kohteiden mitoituksesta jätettiin pois myös tällä hetkellä tavantomainen pohjakulutukseen perustuva mitoitus ja pyrittiin etsimään keinoja, joilla mitoitusperiaatteita muutettaisiin.

Työssä tutkittiin kolmea erilaista omakotitalokohdetta, joissa oli erilainen lämmitysratkaisu. Optimointi suoritettiin näille taloille ja lämmitystyypeille, mutta tuloksia voidaan soveltaa myös muunlaisiin kohteisiin. Tutkittavat kohteet olivat jo olemassa olevia taloja, joten uusien, täysin alusta asti rakennettavien optimointijärjestelmien suunnittelu rajattiin myös työn ulkopuolelle. Työn tuloksista saatiin tosin tietoa, jota voidaan tällaisissa tapauksissa hyödyntää. Koska työssä tarkasteltavissa kohteissa oli jo valmiit ratkaisut muun muassa ilmanvaihdolle ja lämmitykselle, olisi esimerkiksi väylätekniikkaa hyödyntävien HEMS-järjestelmien asentamien osaksi järjestelmää hyvin työlästä.

2.2 Tutkimusaineisto

Laadullisen opinnäytetyön aineistonkeruumenetelmiä ovat haastattelut, havainnointi kyselyt ja dokumentit. Näistä dokumentit ovat sekundääriainestoa eli aineistoa, joka on jo valmiiksi kirjoitettua ja olemassa. Haastattelut, havainnointi ja kyselyt lukeutuvat primääriaineistoon, joka on juuri kyseistä tutkimusta varten kerättyä aineistoa. (Kananen 2015, 132-133.)

Jokaisesta kohteesta hankittiin primääriaineistona vuoden ajalta tuntikohtaiset sähkön käyttötiedot, jotka saatiin paikallisen verkkoyhtiön internetpalvelun kautta. Kohteiden omistajilta pyydettiin myös tietoja kohteen sähkönkäyttölaitteista, talosta ja käyttötottumuksista, jotta sähkön kulutustietoja voitiin tulkita paremmin. Kohteiden kulutustiedoista jätettiin hyödyntämättä ainakin talvikuukausien kulutustiedot, sillä silloin aurinkosähkön tuottoa ei Suomen leveysasteilla juurikaan ole. Jokaiselle kohteelle pyrittiin sekundääriaineiston avulla tekemään myös yhden päivän tunnittainen potentiaalinen aurinkosähkön tuottokäyrä, jonka avulla voitiin verrata kohteen sähkön kulutusta potentiaaliseen aurinkosähkön tuottoon. Aurinkosähkön tuottokäyrää varten etsittiin auringon säteilymäärät tunneittain kesäaikana ja näiden säteilymäärien pohjalta laskettiin potentiaalinen tuottokäyrä hyödyntäen olemassa olevia laskentakaavoja.

Aurinkosähköstä ja siihen liittyvästä tekniikasta etsittiin tietoa ja dokumentteja pääasiassa internetlähteistä sekä mahdollisuuksien mukaan kirjallisuudesta. Aurinkosäh-

köstä ja siihen liittyvästä laitteistosta löytyi runsaasti materiaalia jo valmiiksi. Näin olen raportin tietoperusta koostuu pääosin kirjallisesta sekundääriaineistosta, jolla perhdyttiin aurinkosähköön liittyviin asioihin ja ilmiöihin.

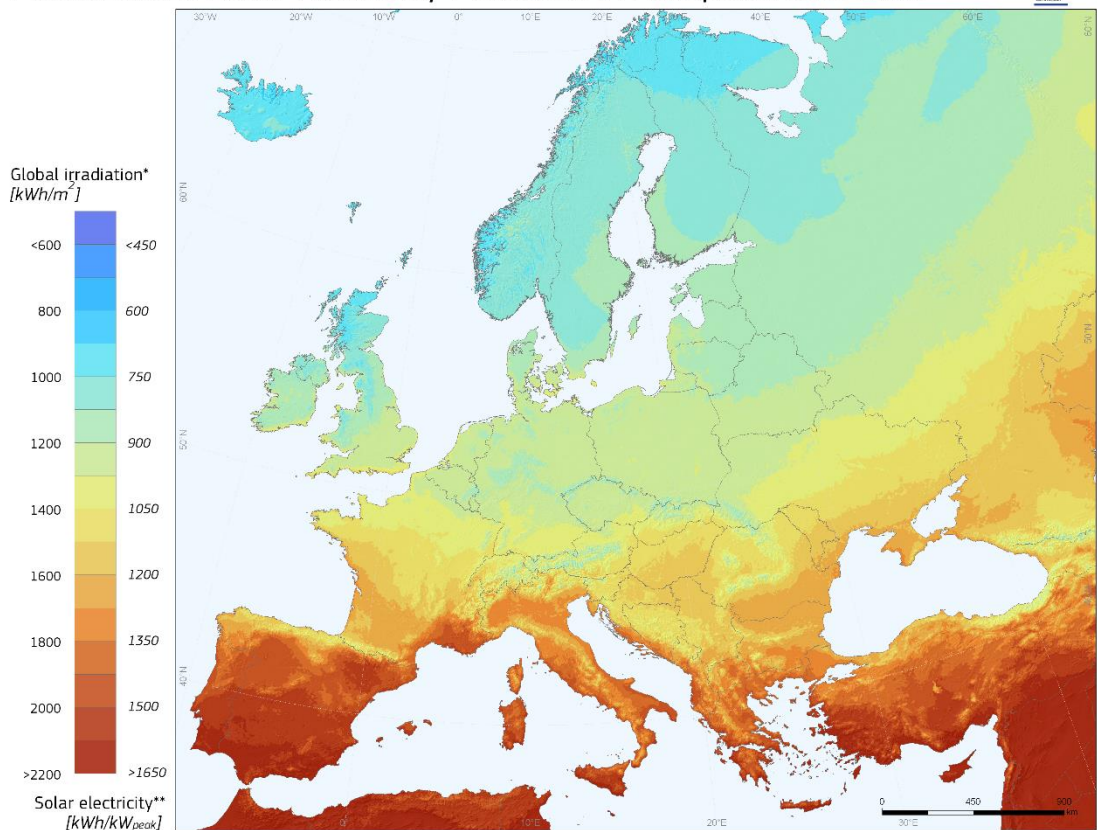
3 Aurinkosähkö

3.1 Aurinkoenergia Suomessa

Auringosta maahan tuleva säteilyn teho on noin 170 000 TW. Tätä valtavaa tehoa ei kuitenkaan pystytä täysin hyödyntämään maan pinnalla. Maapallon ilmakehässä olevien kaasujen vaikutuksesta auringosta maanpinnalle asti tuleva säteily määrä pienee ilmakehän yläosan 1368 W/m²:stä noin 1000 W:iin/m². Maan pinnalle tulevan säteilyn määrä vaihtelee sen mukaan, missä päin maapalloa tilannetta tarkastellaan. Tämä johtuu maan pyöreästä muodosta. Kun auringon säteily tulee maan ilmakehään päiväntasaajalla, sen on kuljettava lyhyempi matka ilmakehän säteilyä absorboivien kaasujen läpi ennen maanpintaa verrattuna maapallon pohjoisosaan. Säteilyn määrään vaikuttaa myös alueen pilvisuus, sillä pilvet heijastavat osan säteilystä ja sirottavat eli muuttavat säteilyn suuntaa. (Aurinkoenergia 2010.)

Suomen pohjoisesta sijainnista huolimatta Etelä-Suomessa mitatut auringon säteilyenergiamäärät vuoden aikana ovat samaa luokkaa kuin Keski-Euroopassa, kuten kuvio 1 nähdään. Suomessa vallitsevien vuodenaikavaihtelujen vaikutuksesta suurin osa säteilystä, noin 90 %, painottuu kuitenkin maalissyyskuulle ja pimeinä talvikausina säteily määrä jää hyvin vähäiseksi. (Aurinkosähkö n.d.)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

**Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
EC Joint Research Centre
In collaboration with: CM SAF, www.cmsaf.eu

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

Kuvio 1. Auringon säteilymäärät Euroopassa (Huld & Pinedo-Pascua 2012)

Auringosta saatava säteilyenergia on voimakkaimmillaan yleensä touko-heinäkuun aikana. Tällöin kohtisuoralle pinnalle mitatun säteilyenergian määrä Jyväskylässä on 150-160 kWh/m²/kk. Alimmillaan säteilyenergian määrä on pimeinä talvikuukausina loka-joulukuussa ja tammi-helmikuussa, jolloin mitattu säteilymäärä jää Suomessa alle 30 kWh:iin/m². Koko vuoden aikana saatava säteilymäärä Jyväskylän alueella on 870 kWh/m², joka on lähellä Keski-Euroopan vuosittaisia säteilymääriä. (Aurinkoenergia 2010.)

3.2 Aurinkosähkön pientuotanto Suomessa

Energiavirasto on teettänyt suomalaisille sähköverkkoyhtiöille kyselyn, jossa selvitettiin Suomen sähköverkkoon kytketyn pientuotantokapasiteetin määrää. Kyselystä

selviää, että aurinkosähkön pientuotannon kapasiteetti on kasvanut vuoden 2015 8 MW:sta 27 MW:iin vuonna 2016. Energiaviraston kysely ei ole vielä lopullisesti julkaistu tai valmis, ja kyseiset lukemat ovat alustavia, mutta niistä selviää, että pientuotannon määrä on kasvussa. (Sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti yli kolminkertaistui vuodessa 2017.)

Pientuotannolla tarkoitetaan Suomen sähkömarkkina-alueissa teholtaan enintään kahden megavoltin voimalaitosta tai voimalaitosten muodostamaa kokonaisuutta. Näille alle kahden megavoltin voimalaitoksille on oma lainsäädäntönsä ja säädökset, jotka eroavat isommista sähkön tuotantolaitoksista. (L 9.8.2013/588, 3§.)

Opinnäytetyössä tarkasteltujen kohteiden järjestelmät ovat luokiteltavissa mikrotuotannoksi, joka kuuluu pientuotantoon. Mikrotuotanto rajataan alle 50 kilovoltin voimalaitoksen tehoisiin laitteistoihin, jotka voivat olla kytkettyinä sähkönjakeluverkkoon, mutta joiden tuottama sähkö käytetään pääasiassa kokonaan kulutuskohteessa. (Sähkön pientuotanto 2017.)

3.3 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Auringon säteilyenergiasta tuotetaan sähköä aurinkopaneeleilla. Auringon säteily koostuu säteilyenergiaa kuljettavista hiukkasista, joita kutsutaan fotoneiksi. Kun säteily osuu aurinkokennoon, sen fotonit luovuttavat aurinkokennon materiaalien elektroneille energiaa, jolloin energiaa vastaanottaneet elektronit vapautuvat ja lähtevät liikkumaan muodostaen sähkövirran aurinkokennon napojen välille. Tätä ilmiötä kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. (Auringosta sähköä 2017.)

Tämänhetkiset paneeliteknologiat jaetaan kolmeen sukupolveen, joista ensimmäisen ja toisen sukupolven paneelit ovat kaupallisessa käytössä. Ensimmäisen ja toisen sukupolven paneelien toiminta perustuu puolijohdemateriaaleihin ja valosähköiseen ilmiöön. (Aurinkosähköteknologiat 2017.)

Aurinkokennoissa käytetään kahta erilaista puolijohdemateriaalia. Näitä puolijohteita nimitetään p- ja n-tyypin puolijohteiksi ja niiden kokonaisuutta pn-liitokseksi. Puolijohteet ovat nimensä mukaisesti materiaaleja, jotka ovat huonompia johtimia sähkölle kuin metallit, mutta parempia kuin eristeet. (Perälä 2017 30.)

Aurinkokennojen pn-liitokset ovat saostetuista puolijohdemateriaaleista valmistettuja. Tämä tarkoittaa, että aurinkokennojen puolijohdemateriaalien päärakenneaineeseen, joka on pii, on sekoitettu muita alkuaineita. Nämä sekoitetut atomit asettuvat säännölliseen kiderakenteeseen ja jakavat uloimmat elektroninsa. Piihin sekoitetuilla alkuaineatomeilla on p-tyyppin komponentissa vähemmän ja n-tyyppin komponentissa enemmän elektroneja uloimmalla kuorellaan kuin piiatomeilla ja tästä syystä atomien sidosrakenteeseen syntyy elektronivajauksia eli aukkoja p-puolelle ja elektroniyliäämää n-puolelle. (Perälä 2017, 33-34.)

Kun p- ja n-tyyppin puolijohdet liitetään toisiinsa pyrkivät piiatomit vetämään n-tyyppin ylimääräiset elektronit p-tyyppin elektronivajaukseen diffuusio ilmiön avulla ja näin n-tyyppin komponenttiin muodostuu positiivinen varaus ja p-tyyppin komponenttiin negatiivinen varaus. Nämä varauserot synnyttävät p- ja n-puolen välille sähkökentän jota kutsutaan potentiaalivalliksi. (Perälä 2017, 34-35.)

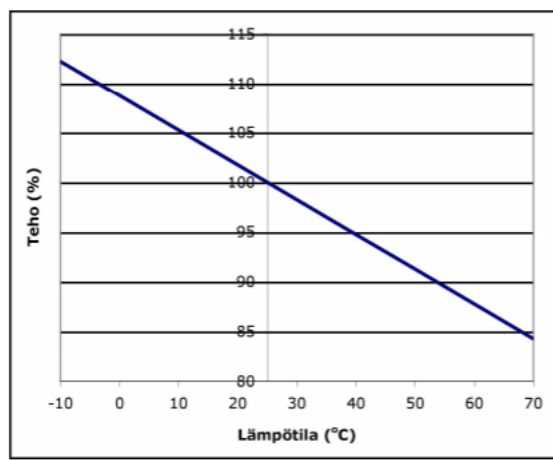
Kun auringonvalon fotonit tuovat puolijohdeeseen energiaa ja irrottavat elektroneja puolijohdeesta liitokseen vapautuu p-puolelle negatiivisia elektroneja ja positiivisia elektronivajauksia eli aukkoja n-puolelle. Pn-liitoksen sisäisen sähkökentän takia vapautuneet elektronit kulkeutuvat p-puolelta n-puolelle ja saavat näin aikaan sähkövirran. (Perälä 2017,35-38.)

Tällaisista puolijohdemateriaaleista valmistetaan pieniä usein noin 156mmx156mm kokoisia kennoja, jotka liitetään isommassa kehikossa toisiinsa yhdeksi isoksi aurinkopaneeliksi. (Perälä 2017 40.)

Tällä hetkellä kaupallisessa myynnissä olevat aurinkopaneelit kykenevät hyödyntämään kennon pinnalle osuvasta auringon säteilystä vain 18-20%. Kennojen hyötysuhteet kehittyvät jatkuvasti samalla kun paneelien hinnat jatkavat laskuaan. Aurinkosähkölle ja -paneeleille suunniteltu merkittävä rooli tulevaisuuden energiantuotannossa pitää paneelien tutkimus ja kehitystyön käynnissä vielä tulevaisuudessakin. (Aurinkoenergian tulevaisuus 2017.)

Aurinkopaneelien lämpötila vaikuttaa paneelin tehontuottoon. Aurinkopaneelit tuottavat sitä enemmän tehoa mitä kylmempiä ne ovat, mikä johtuu siitä, että piikiden jännite laskee yleensä noin -0,5 % per asteen nousu. Paneelin virta kasvaa myös lämpötilan nousun seurauksena, mutta virran kasvu on hyvin pientä verrattuna

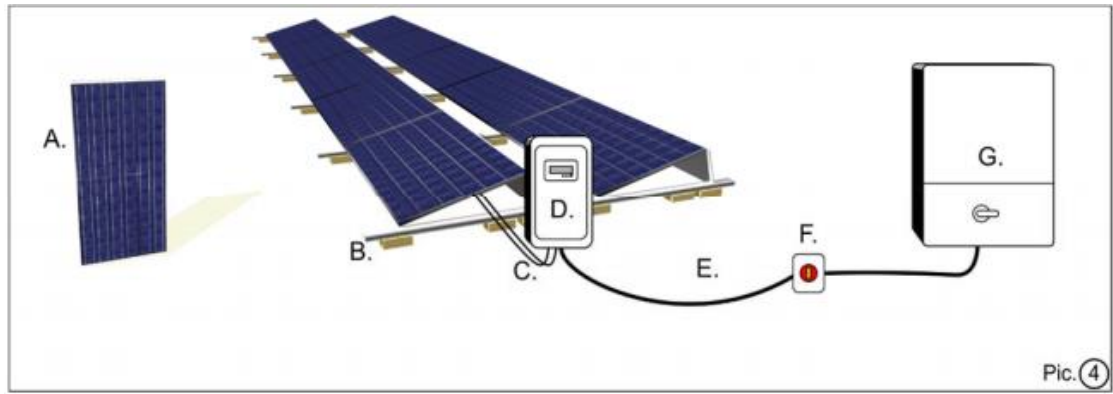
jännitteen laskuun. Jännitteen lasku aiheuttaa paneelien hyötysuhteen alenemista korkeilla lämpötiloilla, kun paneelin tehon tuotto alenee. Paneelien lämpötilat ovat auringonpaisteessa yleensä aina korkeampia kuin ympäröivän ulkoilman lämpötila. Vaikka ulkoilma olisi 25 astetta saattaa paneelin lämpötila olla jopa 50 astetta. Tästä syystä paneelit tulee asentaa niin, että ne pääsevät jäähtymään esimerkiksi tuulen vaikutuksesta (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010.). Kuviossa 2 nähdään lämpötilan vaikutus paneelin tehontuottoon.



Kuvio 2. Paneelin tuottaman tehon riippuvuus lämpötilasta (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010)

3.4 Yleinen laitekoonpano

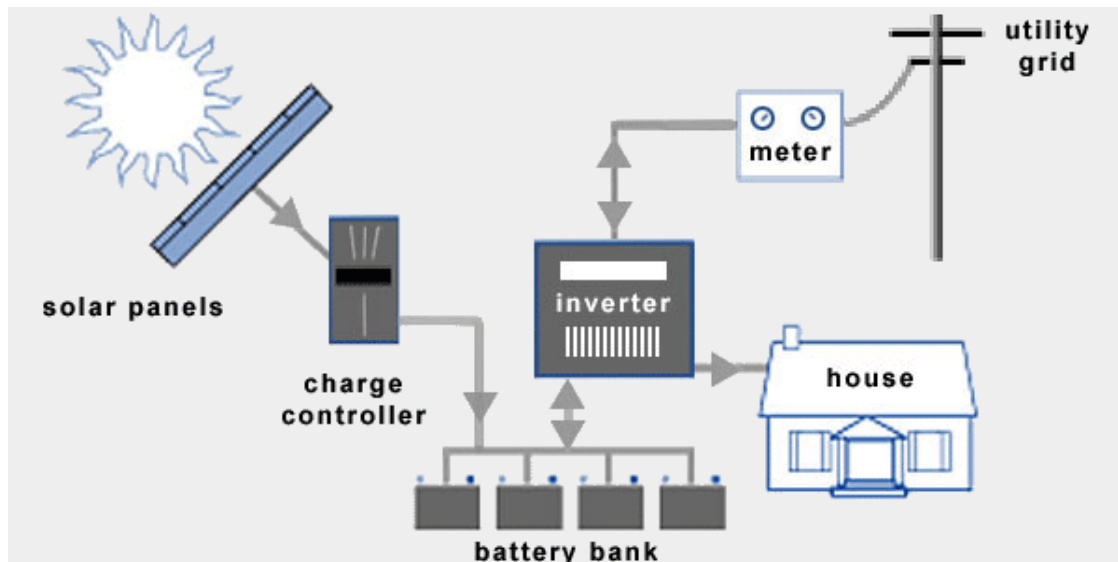
Kiinteistökäyttöön tarkoitettujen aurinkosähköjärjestelmien laitekoonpanot ovat laitteiston kokoluokasta riippumatta pääpiirteiltään samanlaiset. Laitteistoon kuuluvat aina aurinkopaneelit, telineet paneelien asentamista varten, paneeleilta lähtevä tasavirtakaapelointi, DC/AC-invertteri, vaihtovirtakaapelointi, turvakytkin ja pienjännitekeskus, kuten kuviossa 3. (Mäkinen 2017, 6.)



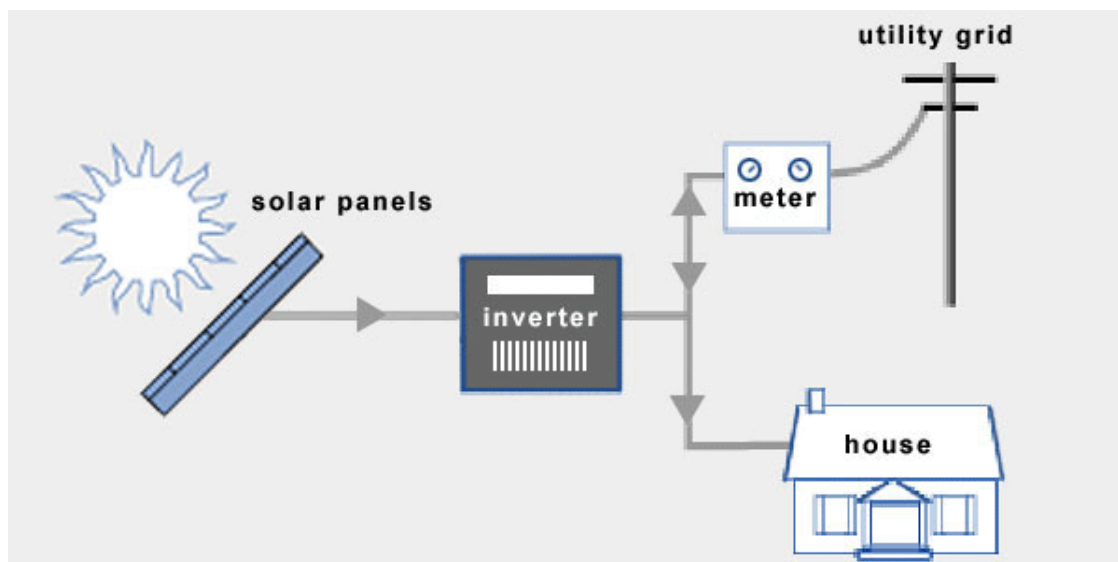
Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän perusrakenne (Mäkinen 2017, 6)

Aurinkosähköjärjestelmiä rakennetaan joko yleiseen sähköverkkoon liitettyinä on-grid-järjestelminä, verkkoon liittämättöminä off-grid-järjestelminä tai hybridijärjestelminä, jotka ovat kahden edellisen yhdistelmiä. (Newkirk 2014.)

Verkkoon liitettyjen järjestelmien ja hybridijärjestelmien etuna on se, että mikäli paneelit tuottavat käyttöä enemmän sähköä, voidaan ylijäämä myydä sähköverkkoyhtiölle pientä korvausta vastaan. On-grid- ja hybridijärjestelmissä sähkön saanti ei myöskään katkea, vaikka auringosta saatava energia ei riittäisikään kattamaan omaa kulutusta. On-grid-järjestelmät ovat kuitenkin riippuvaisia yleisestä sähköverkosta, sillä sähkön tuotto katkeaa, mikäli yleinen sähköverkko ei toimi. Hybridijärjestelmän etuna verrattuna on-grid-järjestelmään on se, että se pystyy varastoimaan sähköä akustoon ja tämän ansiosta tarjoamaan sähköä myös silloin, kun yleinen sähköverkko on pois toiminnasta, jos järjestelmässä on saareketoiminto (Newkirk 2014.) Kuviossa 4 nähdään hybridijärjestelmän periaatekuva ja kuviossa 5 on-grid-järjestelmän periaatekuva.

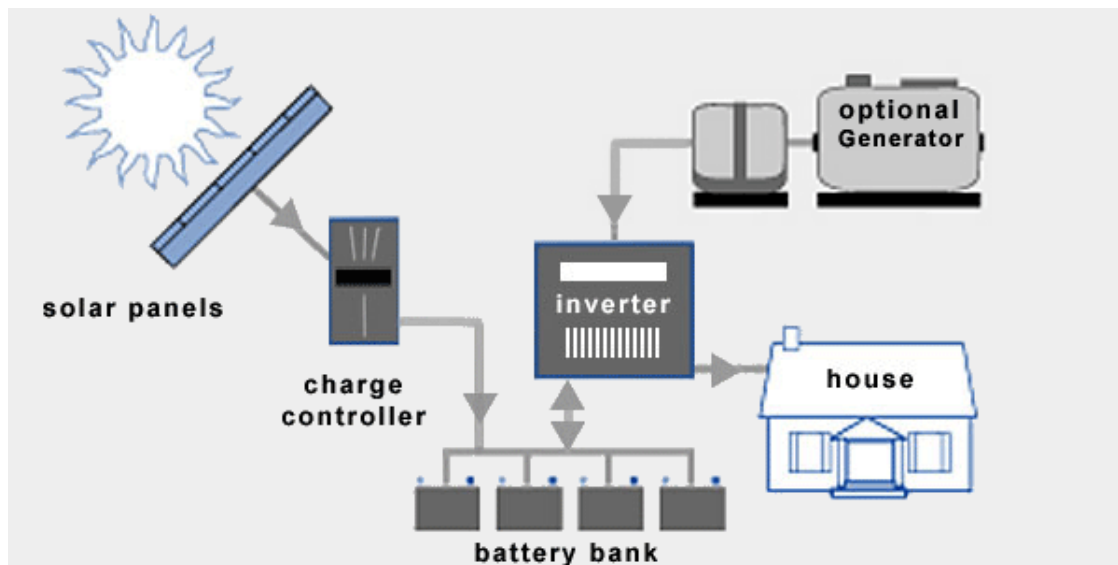


Kuvio 4. Hybridijärjestelmä (Maehlum 2013)



Kuvio 5. On-grid-järjestelmä (Maehlum 2013)

Off-grid-järjestelmät ovat yleensä pieniä vapaa-ajan asunnoille ja ei-ympärivuotisessa käytössä oleville kohteille rakennettavia järjestelmiä, jotka toimivat omana saarekkeenaan ilman yhteyttä sähköverkkoon. Nämä järjestelmät vaativat akuston, johon energiaa varastoidaan, tai muun varavirtaratkaisun sellaisia hetkiä varten, jolloin aurinkosta ei saada energiaa kattamaan omaa kulutusta. Tämä lisää off-grid-järjestelmien kustannuksia verrattuna on-grid-järjestelmään (Newkirk 2014.) Periaatekuva off-grid-järjestelmästä on kuviossa 6.



Kuvio 6. Off-grid-järjestelmä (Maehlum 2013)

On-grid-järjestelmät ovat kaikista yleisimpiä verrattuna akustoa ja useampia komponentteja vaativiin off-grid- ja hybridijärjestelmiin. Hybridijärjestelmät ovat kuitenkin hitaasti yleistymässä akkuteknologioiden hintojen laskiessa. (Newkirk 2014.)

3.5 Älykkäät sähköverkot ja mikrotuotanto

EU:n energiapolitiikan ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tehdyt päätökset painottavat pientuotannon, energiatehokkuuden ja kysyntäjouston merkitystä. Näiden päätösten johdosta niin sanottu sääriippuva ja vaihteleva energiantuotanto on lisääntynyt EU:n pyrkiessä kestäväen kehityksen ja energiamarkkinoiden kilpailukyvyyn käyttövarmuuden parantamiseen sekä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Tärkeitä ovat puhtaat energiantuotantoteknologiat, kuten tuuli- ja aurinkoenergia, jotka ovat sääriippuvaisia energiantuotantomuotoja. Sääriippuvalla energiantuotannolla tarkoitetaan energiantuotantomuotoja, joiden tuotanto on riippuvaista vallitsevista sääolosuhteista. Näin ollen ne eivät kykene tuottamaan energiaa tasaisesti ja vaikeuttavat osaltaan sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpitoa. (Kumpulainen, Rinta-Luoma, Voima, Kauhaniemi, Sirviö, Koivisto-Rasmussen, Valkama, Honkapuro, Partanen, Lassila, Kaipia, Haakana, Annala, Järventausta, Valkealahti, Repo, Verho, Suntio, Rautiainen, Nikander & Pakonen 2015, 3-5.)

3.6 Kysyntäjousto

Ratkaisuna tuotannon ja tarjonnan epätasapainoon on pyritty kehittämään liiketoimintamalleja ja järjestelmiä, jotka mahdollistavat kysyntäjouston. Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkön käytön mukauttamista sähkön tuotannon vaihteluihin. Kysyntäjoustossa loppukäyttäjä säätelee sähkönkäyttöään senhetkisen markkinatilanteen mukaan. Jos verkossa sähköä on tarjolla paljon ja kulutusta on yleisesti vähän, on sähkön hinta tällöin matala. Tällöin kuluttajan kannattaa hyödyntää tilanne ja käyttää sähköä. (Sähköä kannattaa käyttää joustavasti n.d.)

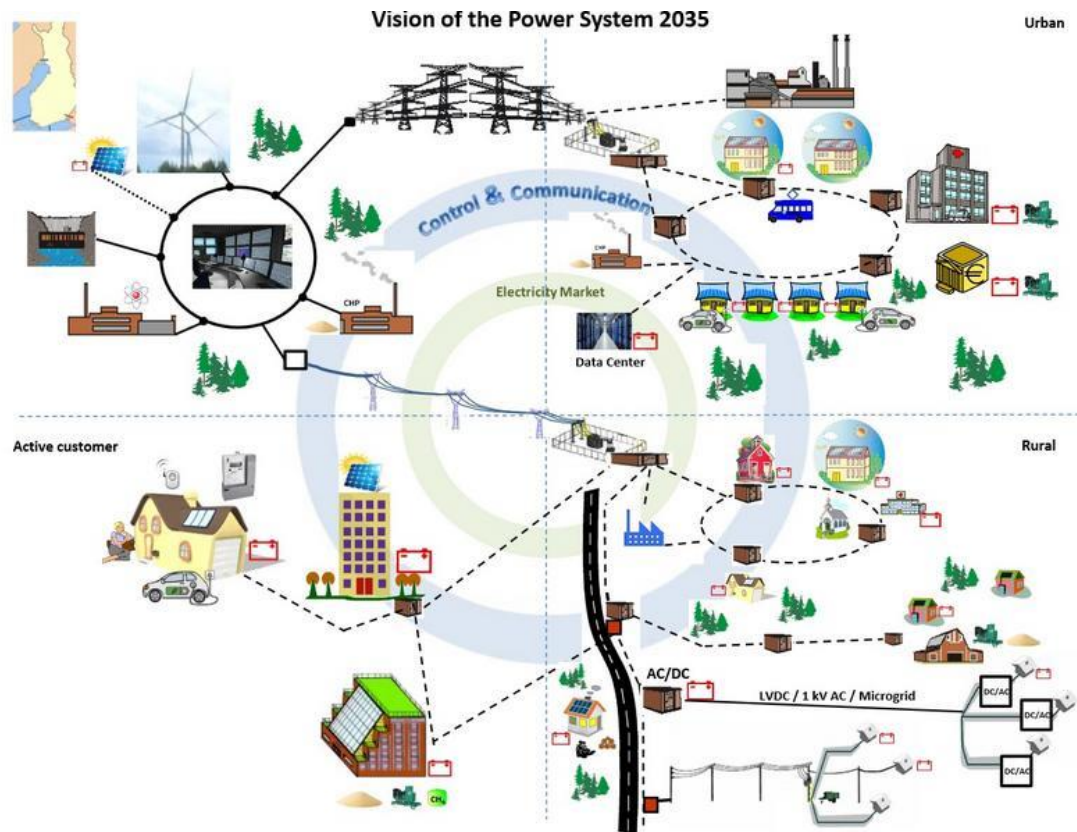
Kysyntäjouston toteuttamisessa suuressa osassa kuluttajan omien käyttötottumusten muuttamisen lisäksi ovat automaatio ja erilaiset energian varastointiratkaisut. Kuluttajien käyttötottumuksien muutoksella pyritään ohjaamaan kuluttajaa tiedostamaan kysyntäjouston merkitystä ja hyötyjä ja tekemään myös itse aktiivisesti ratkaisuja omassa sähkönkäytössään. Automaatiolla sähkön käyttöä voidaan ohjelmoida seuraamaan halpaa energiaa ilman, että kuluttajan tarvitsee seurata tilannetta. Automaatio voidaan ohjelmoida varastoimaan energiaa esimerkiksi lämminvesivaraajan, akustoon tai vaikkapa sähköauton akkuihin halvan energian tunteina ja käyttämään tätä varastoitua energiaa, mikäli energiaa on tarjolla vähän ja sen hinta on korkea. (Sähköä kannattaa käyttää joustavasti n.d.)

3.7 Älykkään verkon rakenne

Uusiutuvan energiantuotannon tuoman tehotasapainon ongelmia ja kysyntäjoustoa varten on suunniteltu uudenlaista älykästä sähköverkkoa, joka vastaisi näihin ongelmiin. Se mahdollistaisi hajautetun tuotannon, saarekekäytön, kysyntäjouston, energian varastointireservit ja parantaisi verkon toimintavarmuutta, kilpailukykyä ja joustavuutta. Tämän lisäksi älykäs verkko mahdollistaa sähkön ja tiedon välityksen kahden suuntaan; tuottajalta kuluttajalle ja kuluttajalta tuottajalle. (Kumpulainen ym. 2015, 15-19.)

Älykkään sähköverkon visiossa energiaa tuotetaan yhä keskitetysti esimerkiksi ydinvoimalla tai CHP:lla ja näiden rinnalle nousevilla keskitetyillä uusiutuvan energian tuotantomuodoilla, joilta energia johdetaan loppukäyttäjille. Keskitetyn tuotannon

rinnalle nousee voimakkaasti myös pientuotantoa, joka on tärkeässä roolissa energian tuotannossa. Visiossa suurin osa loppukäyttäjistä harjoittaa kysyntäjoustoa esimerkiksi etäluettavan AMR-mittarin kautta tehdyllä kuormanohjauksella tai kiinteistön oman HEMS-järjestelmän avulla. Suurin osa kiinteistöistä tuottaa itse osan tarvitsemastaan energiasta uusiutuvilla tuotantomuodoilla ja kykenee varastoimaan energiaa, sekä hyödyntämään tätä varastoa tai myymään sähköä verkkoon päin sen ollessa taloudellisesti kannattavaa. Näin osa sähkön kuluttajista voi toimia myös sähkön tuottajina (Kumpulainen ym. 2015, 9-10 15-19.) Periaatekuva älykkäistä sähköverkoista on kuviossa 7.



Kuvio 7. Älykkään verkon rakenne (Kumpulainen ym. 2015, 15)

Pienjännitteinen tasasähköjakelu, LVDC, yleistyy etenkin haja-asutusalueilla ja lähellä kulutuskohteita sen ollessa kustannustehokkaampi kuin vaihtojänniteverkko. Tasajänniteverkko mahdollistaa vaihtosähköä helpomman energiavarastojen ja hajaautetun energiantuotannon verkkoon liittämisen ja näin verkon saarekekäytön mahdollistaminen on yksinkertaisempaa toteuttaa. (Kumpulainen ym. 2015, 11.)

Älykkään sähköverkon suunnitellaan olevan myös itsekorjautuva. Itsekorjautuvuus on tarkoitus toteuttaa verkkoon liitettävillä vianpaikannusmenetelmillä, joiden avulla järjestelmä osaa paikantaa vian ja jopa korjata sen tai eristää vika alueen ja johtaa sähköön syöttö eri kautta kuluttajille. Järjestelmän vianpaikannuksen avulla vian etsintä alue tarkentuu ja pienenee, kuten Fortumin Masalassa olevassa kokeilussa, jossa vian etsintäalue on noin 1-2 kilometrin säteellä normaaliin noin 50 kilometrin alueeseen verrattuna. Verkkoon ja muuntamoille asennettavan automaation ja sensorien avulla järjestelmän olisi mahdollista jopa ennakoita vikoja, jolloin vikatilanteet voidaan ehkäistä ja korjata jo ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia. (Älykäs sähköverkko on energian internet 2015, 6-7.)

Älykäs verkko siis mahdollistaisi järkevämmän aurinkosähköön hyödyntämisen esimerkiksi paikallisten energiavarastojen ja kysyntäjouston avulla. Älykkäät sähköverkot ovat kehitystyön alla, joten niiden tarjoamia mahdollisuuksia ei voida vielä täysin hyödyntää.

3.8 Mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmää harkitsevan ei tarvitse välttämättä itse osata mitoittaa järjestelmää. Lähes jokainen aurinkopaneeleja myyvä ja asentava yritys tarjoaa niin sanottuja avaimet käteen-palveluja, joissa järjestelmän suunnittelu, mitoitus, asennus ja käyttöönotto sekä vaadittavat lupa asiat hoidetaan asiakkaan puolesta. Mitoitukseen löytyy useita oppaita ja ohjelmistoja joilla järjestelmän voi halutessaan mitoittaa myös itse, mutta mitoitukseen ja laitteistoon tulee tutustua huolellisesti.

Yleisesti ottaen aurinkopaneelit mitoitetaan niin, että niiden tuottama sähkö voidaan käyttää kokonaan itse. Tämä johtuu siitä, että verkkoon myytävästä ylijäämästä saatava korvaus on varsin pieni. Sähköyhtiöt korvaavat verkkoon myydystä sähköstä vain sähkön tukkuhinnan, joka vaihtelee 2-6 snt/kWh välillä. Sähköyhtiöt vähentävät tästä usein vielä omia palvelumaksujaan. Taloudellisesti kannattavaa on siis käyttää tuotettu sähkö itse, jolloin säästetään verkosta ostettavaan sähköön sisältyvät vero- ja siirtomaksut. (Auvinen & Jalas 2017.)

Aurinkosähköjärjestelmiä voidaan mitoittaa erilaisin periaattein. Mitoitus voidaan perustaa esimerkiksi kohteen pohjakulutukseen, nettonollaenergiamitoitukseen, sähkön energiaomavaraisuuteen, käytettävissä olevaan asennuspinta-alaan tai käytettävissä olevaan budjettiin. Vaikka aurinkopaneelien ja aurinkosähköjärjestelmien komponenttien hinnat ovat laskeneet viime vuosina, ovat hinnat vielä sillä tasolla, että järjestelmän hankintaa suunniteltaessa rajoittaviksi tekijöiksi muodostuvat yleensä juuri järjestelmään käytettävissä oleva budjetti sekä käytettävissä oleva asennuspinta-ala. Nämä rajoitteet koskevat etenkin tavallisia kuluttajia, mutta usein myös yrityksiä. (Mitoitusmenetelmiä 2016.)

Aurinkosähköjärjestelmiä ei kannata Suomen olosuhteissa mitoittaa sähköenergian kannalta omavaraisiksi. Ympäri vuotista omavaraisuutta sähköstä ei Suomen olosuhteissa ole mahdollista toteuttaa huonosti aurinkoenergiaa tuottavan pimeän ja pitkän talven takia. Tämä mitoitus tapa voisi olla mahdollinen, mikäli energiaa pystyttäisiin varastoimaan nykyistä paremmin talvikautta varten. Tämänhetkiset energian varastointimuodot eivät ole tarpeeksi kustannustehokkaita tai toimivia kannattavaa kausivarastointia ajatellen. (Sähköenergian omavaraisuus 2016.)

Nollaenergiamitoituksella paneelien ja niiden tuottaman energiamäärä mitoitetaan sellaiseksi, että järjestelmä kykenee tuottamaan yhtä paljon energiaa kuin kiinteistön mitattu tai arvoitu vuosikulutus on. Suomen olosuhteissa tämä tarkoittaa sitä, että kesällä tuotanto ylittää senhetkisen kulutuksen ja energiaa joudutaan myymään verkkoon. Talvella paneelien tuotto ei kata kulutusta, jolloin sähköä joudutaan ostamaan. Tämä mitoitus tapa voisi olla kannattava, mikäli energian varastointi olisi kehittyneempää tai verkkoon myytävästä sähköstä saatava korvaus olisi suurempi. Tämänhetkisillä energian varastointitekniikoilla nollaenergiamitoitus on kuitenkin kannattamatonta. (Nollaenergiamitoitus 2016.)

Kaikkein kannattavin mitoitusperiaate tällä hetkellä on sähkön pohjakulutukseen perustuva mitoitus. Menetelmällä pyritään siihen, että kaikki paneelin tuottama sähkö saadaan kulutettua suoraan kohteessa ilman, että sähköä tarvitsee myydä verkkoon päin. Huonona puolena pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa on omakotitaloissa se, että talouksien pohjakulutus on hyvin pientä. Näin paneeleilla tuotetun sähkön osuus koko sähkön kulutuksesta jää pieneksi. (Pohjakulutukseen perustuva mitoitus 2016.)

Toisaalta pienen järjestelmän hankintahinta jää edulliseksi tarvittavien paneelien vähyyden ja pienempitehoisten komponenttien ansiosta ja välttään myös järjestelmän hintaa nostavien akkujen hankinnalta.

Järjestelmän mitoituseriaatteen valintaan vaikuttaa suuresti se mitä järjestelmällä halutaan saavuttaa ja minkälainen kohteen sähkönkäyttöprofiili on. Mikäli tähtäimessä on mahdollisimman lyhyt takaisinmaksuaika, kannattaa järjestelmä mitoitaa kohteen pohjakulutuksen perusteella, jolloin järjestelmästä saadaan paras hyöty. Jos esimerkiksi yritys hakee oman ekologisen imagon nostatusta, voidaan mitoitus tehdä nollaenergiamitoituksena.

Tulevaisuudessa mitoituseriaatteisiin voi tulla muutoksia järjestelmien komponenttien ja hyötysuhteiden kehittyessä. Järjestelmien hintojen lasku lisää kannattavuutta investointien takaisinmaksuaikojen lyhentyessä ja mahdollistaa aiemmin kalliiden ratkaisujen, kuten akustojen yleistymistä.

Myös energian varastointiteknologioiden kehityksellä on suuri osa aurinkosähkön kannattavuudessa ja mitoituksen muutoksessa. Mikäli päivällä tuotettu sähkö voidaan varastoida järkevästi ja kustannustehokkaasti myöhempää käyttöä varten, voitaisiin yksi aurinkosähkön suurimmista ongelmista välttää. Akkuteknologian kehitys on tärkeää myös esimerkiksi sähköautojen kannalta, jotta niistä saataisiin varteenotettava vaihtoehto nykyisille bensiini- ja dieselautoille. Sähköautojen lataus olisi myös taloudellisesti ja ympäristön kannalta järkevää suorittaa juuri uusiutuvilla energianlähteillä, kuten aurinkoenergialla, jolloin välttyttäisiin osaltaan suurten sähkön tuotantolaitosten aiheuttamilta päästöiltä.

Merkittävä vaikutus aurinkosähkøjärjestelmiin on myös mahdollisilla tukitoimilla. Mikäli aurinkosähkön tuottamista mikrotuotantotasolla tuettaisiin esimerkiksi syöttötärrifeilla, nousisi tuotetun sähkön verkkoon myynnin kannattavuus. Tämä lisäisi itse aurinkosähkøjärjestelmien kannattavuutta, sillä tällöin järjestelmiä voitaisiin suunnitella suuremmiksi. Isojen järjestelmien ajoittainen ylituotanto voitaisiin myydä verkkoon ja siitä saataisiin kohtalainen korvaus. Aurinkosähköllä tuotetun sähkön verkkoon myynnin kannattavuuden nousun myötä lisääntynyt verkkoon myynti nostaisi myös osaltaan Suomen sähköenergiaomavaraisuutta sekä lisäisi uusiutuvan energian määrää verkossa.

Nykyiset mitoitukset tehdään perustuen kuukausitason kulutuksen ja tuoton tarkasteluun. Näin mitoitettaessa tuotto ja kulutus saadaan kohtaamaan määrällisesti, mutta käytännössä suurin kulutus ajoittuu eri ajankohdalle kuin suurin tuotto, jolloin iso osa tuotetusta sähköstä jää käyttämättä. Tämä on huono ratkaisu etenkin ilman energiavaraajaa tai akustoa oleville aurinkosähköjärjestelmille. Mikäli järjestelmä on tarkoitus varustaa energiavarastolla, joka kattaa halutun osan kulutuksesta, on kuukausitason kulutus toimiva vaihtoehto.

4 Optimointi

4.1 Sähkön myynti

Mikäli aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä enemmän kuin kohteessa on kulu- tusta eikä sähkölle ole varastointimahdollisuutta, voidaan ylijäämä sähkö myydä verk- koon energiayhtiölle. Ylijäämä sähkö myynti verkkoon vaatii pientuottajan ja sähkön välittäjän välisiä sopimuksia järjestelmän verkkoon liittämiseksi.

Sähkön tuottajan on hankittava ostaja tuottamalleen ylimääräiselle sähköenergialle. Nykyään suurin osa sähköyhtiöistä ostaa tuotetun ylijäämä sähkö ja maksaa siitä korvauksen. Ylijäämä sähkö ostavista sähköyhtiöistä löytyy lista esimerkiksi energia- viraston ylläpitäältä sähkönhinta.fi palvelusta. Yleinen sähköyhtiöltä saatava kor- vaus verkkoon myydystä sähköstä on pohjoismaisen sähköpörssin, Nord Poolin, lis- taama senhetkinen Suomen hinta-alueen sähkön pörssihinta. Tämän lisäksi osa säh- köyhtiöistä veloittaa myydystä sähköstä omia välityspalkkioitaan perustuen myytyyn kilowattituntimäärään sekä kuukausimaksuja sähkön myyntisopimuksesta. Monilla ylijäämä sähköä ostavilla sähköyhtiöillä ylijäämä sähkö ostamisen ehtona on myös, että pientuottajan on ostettava kuluttamansa sähkö heiltä. (Hajautettua sähkön pientuotantoa n.d.)

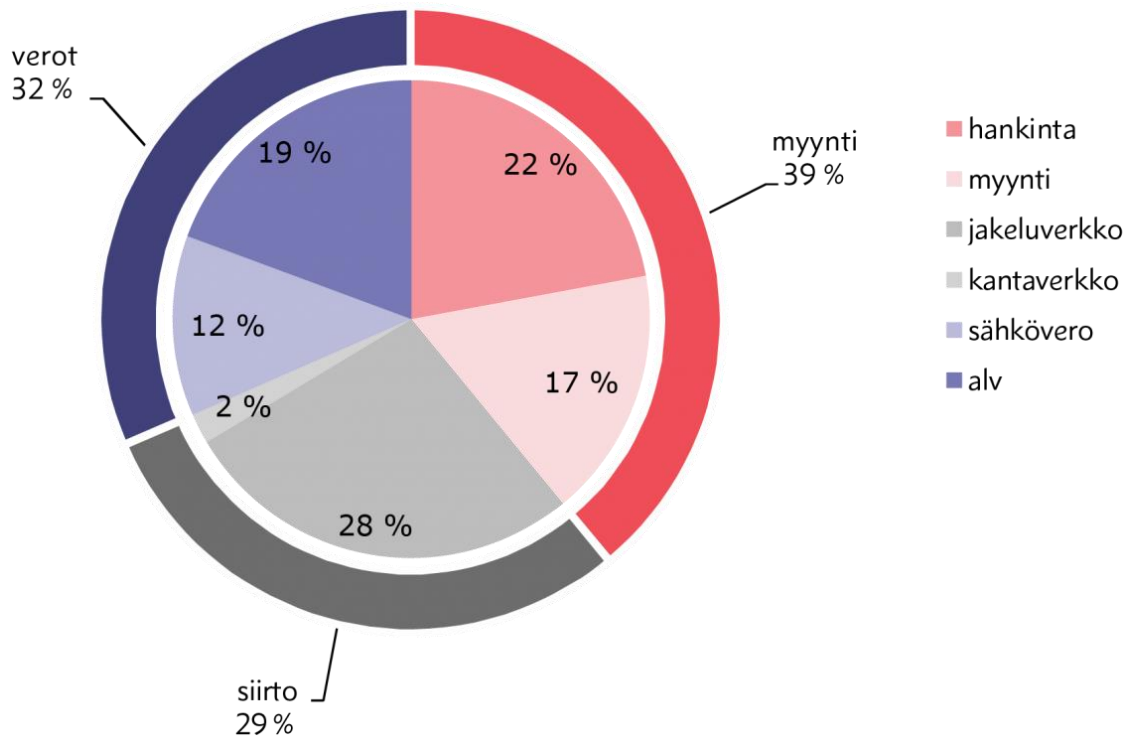
Verohallinnon antaman kotitalouden sähköntuotannon tuloverotuksen ohjeen mu- kaan kotitalouksien sähkön mikrotuotannosta, jolla tuotetaan sähköä pääasiassa ta- louden omiin tarpeisiin, ei tarvitse maksaa sähkövero. Mikrotuottaja saa myös myydä sähköyhtiöille ylimääräisen sähköenergiansa, josta sähköyhtiö voi maksaa tuottajalle korvauksen syötetystä sähköstä tai hyvittää syötetty sähkö ostosähkö

hinnasta. Ohjeen mukaan on myös mahdollista, että ylijäämä sähkö syötetään verkkoon ilman korvausta verkonhalijan luvalla. Sähkön myynti verkkoon ei ole mikrotuotannossa verovapaata tuloa, mutta Verohallinto on tulkinnut asian niin, että koska verovuoden aikana verkkoon myydyin sähkön määrä on pienempi kuin verkosta ostetun sähkön määrä ja koska tuotantolaitteiston hankintahinta on korkea, ei myytävästä sähköstä jää verotettavaa tuloa. (A158/200/2013, 3§.)

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta puolestaan määrittelee, että pientuottajan sähköverkkoon tuottama sähkö sekä pientuottajan itse tuottama ja kuluttama sähkö ovat vapaita valmisteverosta ja huoltovarmuusmaksuista. (L 30.12.1996/1260, 7§)

Kuluttajan sähköverkosta ostamasta sähköstä maksettuun hintaan sisältyy kolme päätekijää; sähköenergian hinta, siirtopalvelun hinta ja verot. Sähköenergian hinta koostuu sähkön tuotannon tai hankinnan ja myyntityön sähköyhtiölle aiheuttamista kuluista. Kuluttajat maksavat sähköenergiastaan yleensä kuukausittaista perusmaksua sekä kulutetun energian määrään perustuvaa kulutusmaksua.

Myös sähkön siirto koostuu usein kuukausimaksuista ja käytetyn energian määrään pohjautuvasta maksusta. Näillä siirtoyhtiö kattaa käytettävien sähkön siirtoverkkojen ylläpitoa, käyttökuluja ja mahdollisia investointeja sekä sähkön kulutuksen mittauksen ja taseselvityksen. Näistä energia- ja siirtomaksuista kuluttaja maksaa myös arvonnäköveroa sekä sähköveroa. Näiden kolmen sähkön hinnan muodostavan tekijän osuudet kuluttajalle ovat tyypillisesti noin yksi kolmasosa kullekin, kuten kuviosta 8 nähdään. (Sähkön hinta n.d.)



Kuvio 8. Sähkön hinnan muodostuminen (Sähkön hinta n.d.)

Sähkøyhtiø maksaa pientuottajalle verkkoon myydystä sähkøstä tyypillisesti vain pörssisähkøn hinnan. Pientuottaja saa siis verkkoon myymästään sähkøstä vain alle kolmasosan siitä hinnasta, jonka hän maksaa verkosta ostamastaan sähkøstä. Jos tuotettu sähkø pystytään käyttämään itse, se korvaa verkosta ostettavaa sähkøä ja vähentää sähkøn ostotarvetta. Itse tuotettu ja käytetty sähkø tuottaa noin kolmin-kertaisen hyödyn verkkoon myymiseen verrattuna.

4.2 Sähkøen varastointi

Sähkøenergian varastointiin on kehitelty useita erilaisia ja eri tarpeeseen sopivia keinoja. Sähkøenergiaa voidaan varastoida suprajohtaviin magneettisiin energiavarastoihin, superkondensaattoreihin, vauhtipyöriin, paineilmavarastoihin, pumpatun veden varastoihin, polttokennoihin tai akkuihin. Nämä ratkaisut eroavat toimintaperiaatteeltaan, kustannuksiltaan ja ominaisuuksiltaan toisistaan, eivätkä välttämättä ole soveltuvia tai järkeviä ratkaisuja kaiken kokoluokan varastointitarpeisiin. Esimerkiksi pumpatun veden varastointi on Suomen korkeuseroilla hyvin vaikeaa toteuttaa. Tä-

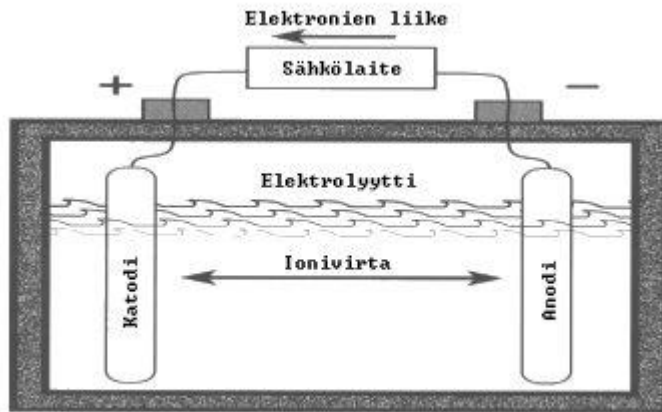
män työn kannalta omakotitalojen sähköntuotannon varastointiin parhaita ja toimivimpia keinoja ovat akut. (Alanen, Heimonen, Hännikäinen, Lahti, Pihala & Sipilä 2011, 22.)

4.3 Akusto

Aurinkopaneelien tuottaman sähköön varastoinnissa yleisin ja yksinkertaisin keino tällä hetkellä on akusto. Akkujen yksinkertaisuus, edullisuus ja huoltovapaus muihin edellä mainittuihin sähköön varastointityyppeihin verrattuna tekee akuista myös kaikkein soveltuvimman ratkaisun aurinkosähköön varastointiin omakotitalossa. Aurinkopaneelien tuottaman sähköenergian varastointiin sopivia ovat lyijyakut, litiumioniakut ja nikkelimetallihybridi akut. Aurinkosähköjärjestelmiin soveltuvilta akuilta vaaditaan hyvää syväpurkauksen kestoa ja pitkää elinikää. (Alanen ym. 2011, 30-31.)

Ladattaessa akkua sähkö varastoituu akkuun kemiallisena energiana. Akku koostuu kahdesta elektrodista ja niiden välissä olevasta väliaineesta jota kutsutaan elektrolyytiksi. Elektrolyytti toimii elektrodien kontaktin estävänä väliaineena, joka sallii ionien liikkumisen elektrodien välillä. Akkua purkaessa, eli sen luovuttaessa virtaa, akun elektrolyytin ja elektrodien välipinnoilla tapahtuu kemiallisia reaktioita, joita kutsutaan hapettumiseksi ja pelkistymiseksi. Akun negatiivisen navan elektrodilla, eli anodilla, tapahtuu hapettumisreaktio, jolloin siitä vapautuu elektroneja. Vapautuneet elektronit aiheuttavat sähkövirran kulkeutuessaan sähköä kuluttavan kohteen kautta akun positiivisen navan elektrodille eli katodille. Katodilla elektronit saavat aikaan pelkistymisreaktion, jolloin katodin ionit vastaanottavat elektroneja. Reaktio on akkua ladattaessa muutoin sama, mutta päinvastainen. (Lead Acid Battery n.d.)

Kuviosta 9 nähdään akun rakenteen ja sisäisten elektrodi- ja ionivirtojen periaatekuva.



Kuvio 9. Akun toimintaperiaate (Ahtela, Hirsimäki & Pihlgren n.d)

Lyijy Akku on akuista kaikkein perinteisin ja lyijyakkutyyppinä on kehitetty useita. Lyijyakkutyyppinä ovat avoimet lyijyakut, venttiilillä varustetut lyijyakut, huoltovapaat lyijyakut, geeliakut, lasikuituakut ja lyijy-hiili akut. Lyijyakuissa elektrodit on valmistettu lyijystä ja akun elektrolyytinä toimii rikkihappo. (Alanen ym. 2011, 23.)

Avoimet lyijyakut ovat rakenteeltaan avoimia ja näin ollen niistä vapautuu kaasuja, kun akun sisältämä happo reagoi elektrodien kanssa akkua ladattaessa ja purettaessa. Tämän takia avoimet lyijyakut vaativat huoltona akkuveden lisäystä ja hyvin tuuletetun tilan. Kaikki avoimet lyijyakut eivät sovellu aurinkosähköjärjestelmäkäyttöön niiden alhaisen energiamäärän ja huonojen syväpurkausominaisuuksien takia. Lyijyakkujen elinikä on tyypillisesti 3-15 vuotta ja ne ovat akkutyypeistä halvimpia. Avoimista lyijyakuista on kuitenkin kehitetty myös aurinkosähkökäyttöön sopivia Solar-malleja. (Alanen ym. 2011, 23 27-31.)

Geeliakut ovat lyijyakuista kehitettyjä huoltovapaita akkuja, joissa akun elektrolyytti on geelimäinen. Tämän takia akut eivät vuoda, mutta akkuihin ei voi lisätä elektrolyyttiä ja akut vaativat hallintajärjestelmää ja niiden latausjännite on tavallista akkua pienempi. Kaikentyyppiset geeliakut eivät sovellu aurinkosähköjärjestelmiin, mutta myös geeliakuista on tehty myös tähän käyttöön sopivia Solar-malleja. (Alanen ym. 2011, 23 27-31.)

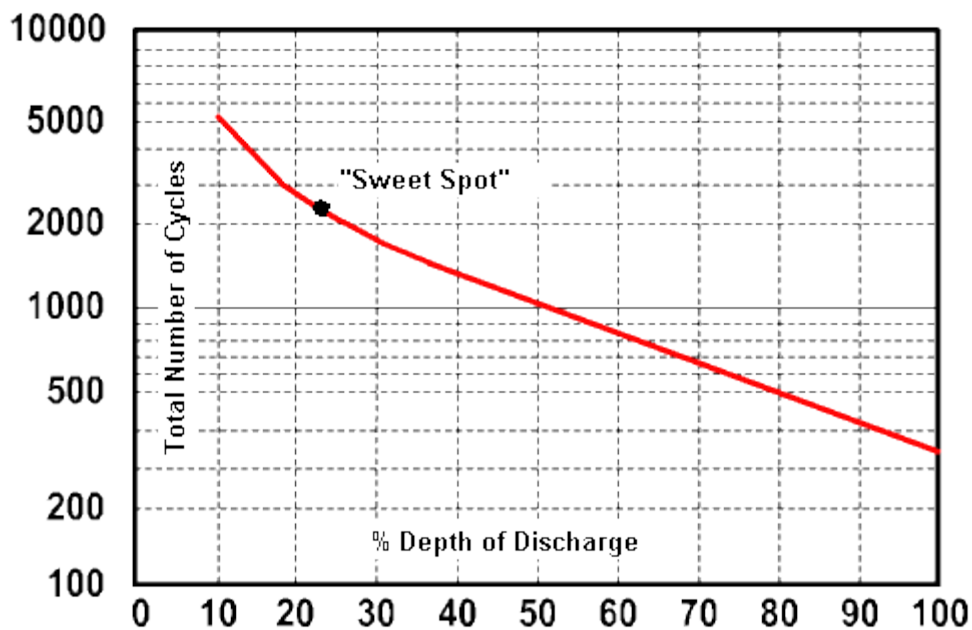
AGM eli lasikuituakut ovat myös kehitettyjä lyijyakkuja, joissa elektrolyyttiä paikallaan pitämässä on lasikuitua. AGM akut ovat myös huoltovapaita ja sietävät hyvin tärinää ja niillä voidaan korvata tavallisia lyijyakkuja. AGM akut kuitenkin vaativat suljetun rakenteensa takia latauksen kontrollointia eivätkä kestä syväpurkausta kovin hyvin. AGM akuista on kuitenkin kehitetty myös syväpurkausta kestäviä malleja. (Alanen ym. 2011, 23 27-31.)

Nikkeli-kadmium, eli Ni-Cd akuissa toinen katodi on valmistettu nikkelihydroksidista ja toinen kadmiumista ja elektrolyyttinä toimii kaliumhydroksidiliuos. Näiden akkujen huonona puolena on sen sisältämän kadmiumin myrkyllisyys ja sen herkkyys latauksen jännitteen ja latauksen lämpötilan suhteen. Kadmiumin myrkyllisyyden takia NiCd akkuja ei saa enää käyttää kuin teollisuuskäytössä. Nikkeli-kadmium akkujen tilalle on olemassa nikkeli-metallihybridi akku, jolla nikkeli-kadmium akut voidaan korvata. Nikkeli-metallihybridiakkujen kapasiteetti on suurempi ja muisti-ilmiö pienempi kuin Ni-Cd akkujen, mutta niiden virranottokyky on matalampi ja itsepurkautuvuus suurempi. (Alanen ym. 2011, 24 27-31.)

Tällä hetkellä lupaavinta ja kiivaan kehityksen ja tutkimustyön alla olevaa akkuteknologiaa edustavat huoltovapaat litium-ioniakut. Niissä litiumyhdistelmät tai litium toimivat elektrodina, anodi on usein grafiittia ja katodin materiaali vaihtelee akkutyypin mukaan. Litiumakuista on kehitelty useita erilaisia versioita, joissa katodimateriaali vaihtelee; se voi olla esimerkiksi litiumkobolttioksidia, litium-rautafosfaattia tai litium mangaanioksidia. Näistä viimeisimpiä kehitysversioita on muita turvallisempi litium-rautafosfaatti, joka on energianvarastointikyvyltään hieman muita heikompi. Litium akkujen elinikä on saatu jo 10 vuoden tasolle ja niiden lataussyklien määrä on suuri. Litiumakut kuitenkin tarvitsevat tuekseen paljon tekniikkaa; ne tarvitsevat aina akkukohtaisen jännitteen, virran ja lämpötilan valvonnan sekä latauksen valvonnan, koska litiumakut eivät siedä sallitun jännitealueen ylittämistä tai alittamista. Mikäli jännitealueelta poiketaan, saattaa seurauksena olla pahimmillaan akun räjähdysvaara. Litiumakut tarvitsevat sarjaan kytkettynä lataukseen balansointipiirin, jolla huolehditaan, että jokainen sarjaan kytketty akku latautuu maksimijännitteeseen.

(Alanen ym. 2011, 24-25 27-31.)

Tarvittavaa akustoa laskiessa tulee huomioida akkujen ikääntyminen. Ikääntymiseen vaikuttaa lataus-/purkusyklien määrä sekä akun purkusyvyys. Purkusyvyys tarkoittaa sitä miten suuri osa akun varauksesta puretaan. Jos akku on 100 Ah ja purkusyvyytenä käytetään 50 %:ia, saadaan akusta yhdellä syklillä 50 Ah virtaa. (Reps Concorde SunXtender AGM-akut n.d.) Kuviossa 10 nähdään esimerkki tästä suhteesta Concorde SunXtender AGM-akulle. Kuviossa merkattu "Sweet Spot" on akulle laskettu syväpurkausaste, jolla akku saadaan tuottamaan eniten energiaa elinkaarensa aikana.



Kuvio 10. Akun lataus- ja purkusyklien sekä purkusyvyyden suhde (Reps Concorde SunXtender AGM-akut n.d)

Kuten kuviosta 10 nähdään, on akun purkaussyklien määrä sitä pienempi, mitä syvemmälle akun varaus puretaan. Eri akuille on omat elinikäsuhteensa niiden ominaisuuksien ja suunnitellun käyttötarkoitusten mukaan. Tässä työssä käytetään esimerkkinä kuviossa 10 esiintyvää 12V Concorde SunXtender AGM-akkua ja 50 % purkusyvyyttä jolla saavutetaan tuhat purku-/lataussykliä.

Tarvittavan akkukapasiteetin laskemiseen tarvitaan lähtötietoina varastoitavaksi aiotun energian määrä, käytettävien akkujen jännite, akkujen haluttu purkutiheys sekä purkusyvyys. Lisäksi akuissa aiheutuu tehohäviötä, mikä kasvattaa tarvittavan akun kokoa. Tyypillinen tehohäviö on 6%. (Akkujen kapasiteetin laskenta n.d)

Tarvittavien akkujen kapasiteetti lasketaan siis kaavan 1 avulla.

$$E_{kap} = \frac{E}{P_{purku}} * (1 + H) \quad (1)$$

missä

E_{kap} = Akun kapasiteetti (Ah)

E = Tarvittava teho (Wh)

U = Akun jännite (V)

P_{purku} = Akun purkusyvyys (%)

H = Akun tehohäviöt (%)

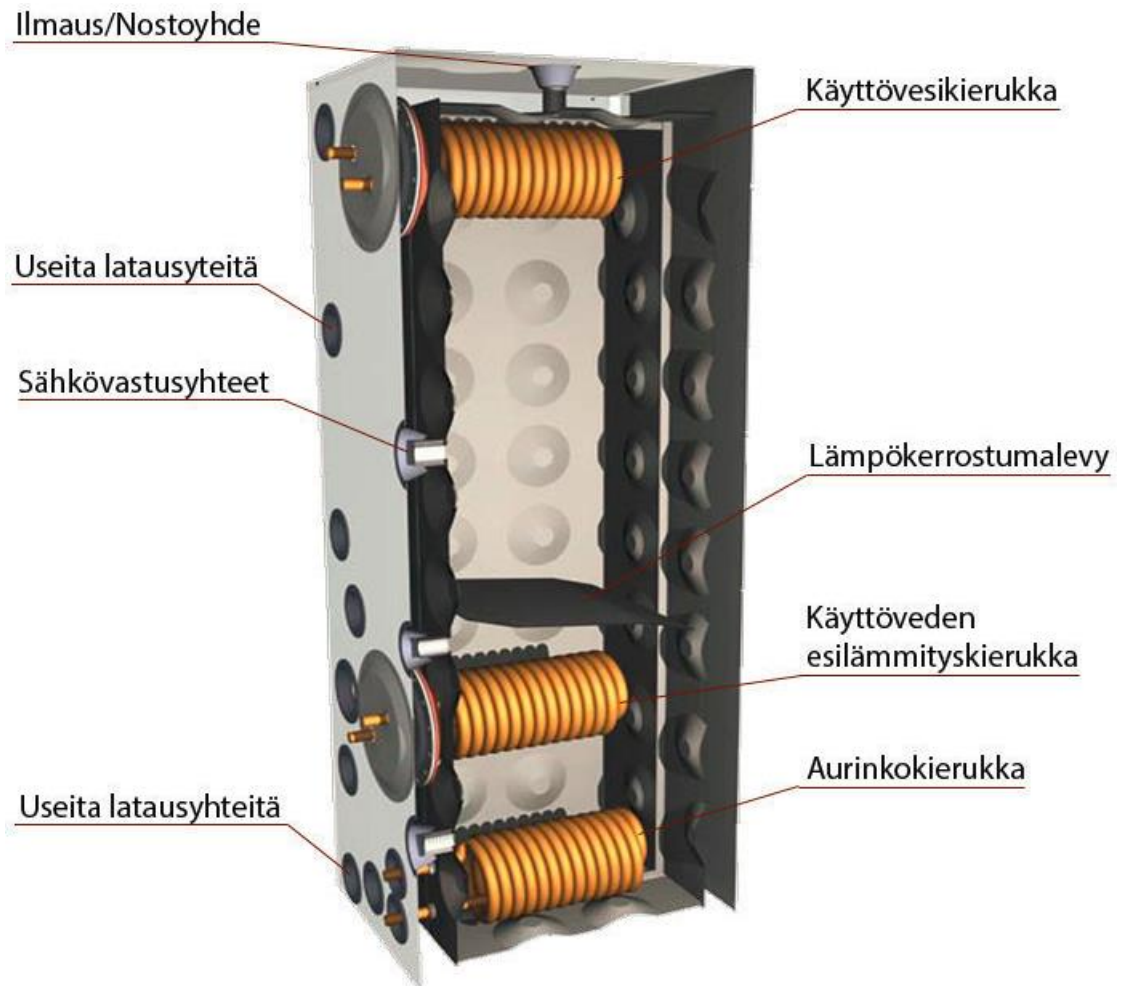
Akut ovat tärkeä osa pientuotantoa omaavassa kotitaloudessa. Akkujen avulla sähköä voidaan tallettaa paneelien korkean tuotannon hetkellä myöhempää käyttöä varten. Akusta otetaan sähköä esimerkiksi silloin, kun paneelien tuotanto ei riitä täysin kattamaan kulutusta tai kun paneelit eivät tuota energiaa ja verkosta ostettavan sähkön hinta on korkealla.

Sopivalla akkutekniikalla voitaisiin jopa luoda sähkön kausivarastoja pitkien auringottomien aikojen varalle. Näin saataisiin helpotettua tuoton ja kulutuksen eriaikaisuutta ja vaihtelevuutta ja tasattua kulutuspiikkejä. Keskitettyjen energiavarastojen yleistyminen vaatii myös niitä tukevien älykkään sähköverkon ja LVDC järjestelmien yleistymistä akustojen käytön ja liittämisen yksinkertaistamiseksi.

4.4 Energiavaraajat

Energiavaraajat ovat lämmitetyn veden varastoja. Energiavaraajaan ladataan lämpöenergiaa, joka varastoituu varaajan sisältämään paineistettuun veteen ja jota hyödynnetään käyttöveden ja lämmitysjärjestelmän veden lämmitykseen. Energiavaraajaa voidaan ladata monilla eri lämmityslähteillä tarvittaessa yhtä aikaa. Varaajaan voidaan siis liittää esimerkiksi maalämpöpumppu ja aurinkosähköllä toimiva vastus. (Varaajat n.d.)

Toisin kuin lämminvesivaraajassa energiavaraajan sisällä oleva vesi ei ole samassa kierrossa kuin käyttövesi tai lämmitysvesi. Kuten kuvion 11 esimerkivaraajasta nähdään, on energiavaraajassa käyttövedelle oma lämmityskierukka. Näin käyttövesi ei ole suorassa kosketuksessa energiaa varastoivaan ja luovuttavaan veteen.



Kuvio 11. Energiavaraaja (Energiavaraaja Jäsپی GTV Hybrid 500 n.d)

Energiavaraajan avulla aurinkosähköä voidaan hyödyntää lataamalla varaajaa aurinkosähköä ollessa tarjolla. Lataus voidaan suorittaa esimerkiksi sähkövastuksella tai maalämmöllä. Näin päivällä tuotetusta aurinkosähköstä saatua energiaa voidaan hyödyntää illalla ja yöllä käyttöveteen ja lämmitykseen.

4.5 Kulutustottumukset

Sähkön kulutukseen vaikuttavista tekijöistä suurin on kuluttaja itse. Ilman kuluttajaa tarvetta sähköenergialle ei olisi. Hyvin yksinkertainen ja tehokas keino vaikuttaa sähkön kulutukseen on siis vaikuttaa itse sähkön kuluttajaan. Iso ongelma aurinkosähkön kanssa muodostuu kulutuksen ajankohdista. Valtaosa kuluttajista on arkipäivisin töissä sinä ajankohtana, kun aurinkosähköä olisi eniten tarjolla.

Sähkön käyttäjien tavat ja rutiinit ohjailevat sähkön kulutusta. Sähköä käytetään yleensä aina kun sille on tarvetta, eikä asiaa yleensä ajatella sähkön saatavuuden kannalta. Tämä johtuu Suomen sähköverkon ja sähkön saatavuuden hyvästä tilanteesta, sillä sähköä on aina saatavilla tarvittaessa. Mikäli kuluttaja hankkii tai harkitsee aurinkosähköjärjestelmän hankkimista, tulisi sähkön kulutuksen rutiinien muuttamista harkita myös. Hyvin tuottavasta aurinkosähköjärjestelmästä ei saada kovinkaan suurta hyötyä, mikäli sähköä ei käytetä itse, kuten edellä on todettu. Hyvin usein, kuten tämän työnkin tutkimuskohteissa, sähkön kulutus painottuu tiettyihin ajankohtiin jotka ovat aamulla ja illalla. Kuluttajan tulisi pyrkiä aktiivisesti muuttamaan tottumuksiaan ja siirtämään kulutusta keskipäivälle, jolloin aurinkosähköä on tarjolla. Joitain kulutustottumuksia voi olla vaikea siirtää, kuten esimerkiksi sähkösaunan käyttöä keskipäivälle. Myös talon lämmitysjärjestelmän ulkoilman lämpötilasta riippuvaista sähkön käyttöä on mahdotonta siirtää. Monet sähköä kuluttavat laitteet, kuten pyykinpesukoneet ja astianpesukoneet, voidaan ajastaa käynnistymään tiettyinä ajankohtina sisäänrakennettujen ajastustoimintojen avulla.

Niiden kulutuslaitteiden käyttöä, joita ei voida järkevästi siirtää toiseen ajankohtaan, kannattaa suhteuttaa mahdollisiin energiavarastoihin. Mikäli järjestelmään kuuluu akusto, kannattaa joidenkin sähkölaitteiden käyttö ajoittaa hetkeen, jolloin akusto on ladattu ja hyödyntää niihin varastoitu energia.

5 Tutkimuskohteet

5.1 Tarkastelu

Opinnäytetyössä tutkittiin kolmea eri lämmitysratkaisulla toteutettua omakotitaloa. Tutkittavissa rakennuksissa ei ole aurinkosähköjärjestelmää, vaan tarkoituksena oli tutkia, minkä kokoinen järjestelmä olisi kannattavin kullekin kohteelle. Kohteiden lämmitysratkaisut poikkeavat toisistaan, jotta nähtäisiin vaikuttavatko eri lämmitysratkaisut optimoinnin tuloksiin. Kaikista kohteista hankittiin yhden vuoden ajalta sähkönkäyttötiedot verkkoyhtiöiden palveluista. Tiedoista tarkasteltiin lähinnä kesäkuukausia, jolloin tuotto on korkeimmillaan ja ylijäämäsähköä todennäköisimmin syntyy. Huonona puolena kesäkuukausien tarkastelussa on se, ettei lämmitystä juuri tarvita.

Kesäkuukausien kulutustiedoista muodostettiin käyrät. Jokaiselle kuukaudelle tehtiin oma käyrä, joka kertoo kyseisen kuukauden sähkön kulutuksen. Kuukauden jokaisen päivän saman tunnin kulutustiedot laskettiin yhteen ja tästä otettiin keskiarvo. Näin saatiin jokaiselle vuorokauden tunnille kulutuksen keskiarvo ja näistä arvoista piirrettiin keskimääräisen päiväkulutuksen käyrä kullekin kuukaudelle. Kohteiden kesäkuukausien tunnitaiset kulutukset on esitetty liitteessä 1.

Keskiarvolliseen tarkasteluun päädyttiin, koska näin saatiin yleiskuva sähkön päiväkulutuksesta kunakin kuukautena ja nähtiin, onko kesäkuukausien välillä suuria eroja. Sähkön kulutus vaihtelee eri päivien välillä, joten yhtä tiettyä päivää tarkastellessa ei saada hyvää kokonaiskuvaa sähkön kulutuksesta. Keskiarvollinen tarkastelu myös tasailee eri päivien välillä esiintyviä satunnaisia kulutushuippuja ja notkoja jotka olisivat voineet väärentää tarkastelua. Mikäli tarkasteltaisiin yksittäisiä päivien tuloksia, tulisi tarkastelupäiviä olla useita. Usean päivän, kohteen sekä kuukauden tarkastelu olisi johtanut hyvin suureen määrään erilaisia tarkastelupäiviä, jolloin optimointi olisi ollut työlästä.

Toisaalta keskiarvollinen tarkastelu väärentää tuloksia häivyttäen kulutushuiput ja -pohjat. Aurinkosähkön mitoitus ei kannata tehdä perustuen kulutushuippuihin tai pohjiin, sillä järjestelmästä tulisi tällöin väärän kokoinen. Tämän lisäksi tässä työssä ei tehty eksaktia toteutettavaa järjestelmää, vaan etsittiin yleisiä ratkaisuehdotuksia.

Vaikka kulutustiedot väärentyisivät hieman, ei sillä olisi juurikaan vaikutusta työn tulosten luotettavuuteen.

Kohteiden optimoinnissa tarkasteltiin myös lämpimän käyttöveden tekemiseen kuluva energiamäärää. Kohteista ei ollut erillistä mitattua tietoa lämpimän käyttöveden kulutuksesta, joten se jouduttiin arvioimaan.

Suomalaisissa kodeissa käytetään vettä noin 155 l per henkilö vuorokaudessa ja tästä käytetystä vedestä noin 40 % on lämmintä käyttövettä (Käyttöveden kulutuksen säätely n.d.)

Koska kaikissa kolmessa omakotitalossa asuu viisihenkinen perhe, käytettiin niille samaa arvioitua lämpimän käyttöveden määrää. Määrä oli 155 l/hlö/vrk kerrottuna 5:llä ja 0,4:llä. Tästä saatiin veden määräksi 310 l vuorokaudessa.

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä saatiin laskettua, kun tiedettiin veden määrä sekä veden lämpötilanmuutos lämmityksessä. Laskennassa käytettiin tyypillisiä arvoja, jotka ovat 7 °C lämmitettävällä vedellä ja 55 °C lämmitetyllä vedellä. (Laskukaavat: Lämmin käyttövesi 2017.) Lämmitykseen tarvittava energia, Q, laskettiin kaavalla 2.

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (2)$$

missä

Q= Veden lämmitykseen tarvittava energia

ρ = Veden tiheys

c_p = Veden ominaislämpökapasiteetti

V= Veden tilavuus

t_2 = Veden tavoitelämpötila

t_1 =Veden lähtölämpötila

$$\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 0,31\text{m}^3 * (55^\circ\text{C} - 7^\circ\text{C})}{3600} = 17,4 \text{ kWh}$$

5.2 Kohde 1, maalämpö

Kohde 1 koostuu kahdesta lämmitettävästä päärakennuksesta ja pienestä käyttövesikaivon pumppukopista, jossa on myös lämmitys. Toinen päärakenus on vuonna 1965 rakennettu täystiilitalo, jossa on asuintilaa 115 m² kahdessa kerroksessa. Ilmanvaihto on painovoimainen ja lämmitys on toteutettu maalämpöpumpulla, jonka lisäksi rakennuksessa on myös satunnaisesti käytettävä ilmalämpöpumppu. Talossa asuu viisi henkilöä.

Toinen rakennus on 1950-luvulla rakennettu puutalo, jota lämmitetään suoralla sähkölämmityksellä. Rakennuksessa on 50 m²:in lämmin tila ja puolikylmä kellarikerros. Ilmanvaihto on painovoimainen ja lämmitys on toteutettu sähköpattereilla, ilmalämpöpumpulla ja takalla. Rakennus on vain satunnaisesti käytössä eikä siinä ole ollut vakituista asumista ajalla, jolta kohteen sähkönkulutustiedot ovat.

Käyttövesikaivon pumppukoppi on pieni, puoliksi maan alla oleva sähkövastuksella lämmitettävä tila, jonka sähkökäyttäjiä ovat vesipumppu ja sähkölämmitys.

Lämmitysjärjestelmä

Päärakennus on lämmitetty maalämmöllä, jossa on sekä lattia- että patterikiertoinen lämmitys. Maalämpöpumpuna on Oilon Home Oy:n valmistama GeoPro-merkkinen maalämpöpumppu, jota tukee kylmällä säällä 2 kW:n sähkövastus. Käyttövesi lämmitetään maalämpöpumpulla.

Toisessa rakennuksessa lämmitys on hoidettu sähkölämmitteisillä pattereilla ja ilmalämpöpumpulla. Näiden lisäksi rakennuksessa on myös takka. Päälämmitys hoidetaan ilmalämpöpumpulla. Pieni pumppukoppi lämmitetään sähkövastuksilla.

Sähkön kulutus

Kaikilla kohteen 1 rakennuksilla on yhteinen sähköliittymä, joten niitä ei oltu eritelty erikseen kulutustiedot sisältävässä taulukossa.

Suurimpia sähkön kuluttajia ovat maalämpöpumppu, ilmalämpöpumput, sähkölämmitys ja kodinkoneet, kuten jääkaappi, mikro ja sähköuuni. Lisäksi toisen rakennuksen käyttövesi lämmitetään vesivaraajan sähkövastuksella.

Kohteessa on yksitariffisähkö, eli sähkön hinta ei vaihtele päivä- ja yöajan välillä. Kohteessa ei ole myöskään minkäänlaisia ajastus- tai automaatiotoimintoja.

5.3 Kohde 2, suora sähkölämmitys

Kohde 2 sisältää yhden rakennuksen jossa on suora sähkölämmitys. Talo on 169 m² ja lisäksi siihen kuuluu noin 12 m²:n varasto. Talossa on ollut käytössä myös ilmalämpöpumppu, mutta sitä ei oltu käytetty tarkastelujakson aikana. Talossa asuu viisihenkinen perhe ja talon asukkaat ovat aktiivisia liikkumaan mikä saattaa aiheuttaa suurta veden kulutusta.

Lämmitysjärjestelmä

Talossa on 10 kW:n tehoinen sähköinen lattialämmitys ja 4,1 kW:n sähköpattereita. Talossa on myös koneellinen ilmanvaihto joka sisältää lämmöntalteenoton sekä 0,5 kW:n jälkilämmityspatterin. Talossa on myös ollut ilmalämpöpumppu, joka on ollut pois toiminnasta vuodesta 2015 alkaen.

Taloon kuuluvassa 12 m²:n varastossa lämmityksen hoitaa 0,55 kW:n sähkölämmityspatteri, joka pitää tilan talvikaudella puolikylmänä, noin 10 asteessa.

Sähkön kulutus

Koska kohde 2 on sähkölämmitteinen talo, vie sähkölämmitys ison osan kulutettavasta sähköstä silloin kun se on käytössä. Kohteessa on myös perinteisiä sähkönkuluttajalaitteita, kuten jääkaappi ja sähköhella.

Talossa on sähkösauna, joka on teholtaan 6 kW. Saunaa lämmitetään pääasiassa viileinä vuodenaikoina ja silloinkin satunnaisesti, joten saunan aiheuttamia kulutuspiikkejä ei kulutustiedoissa kesäkaudella näkynyt usein.

Käyttövesi lämmitetään lämminvesivaraajalla, jossa on 3 kW:n tehoinen sähkövastus. Lämminvesivaraajaa lämmitetään yösähköllä, eli käytössä on kaksitariffisähkö. Lämminvesivaraajan lämmitys aurinkopaneelien tuottamalla energialla olisi tässä kohteessa yksi hyvä mahdollisuus hyödyntää aurinkoenergiaa.

Sähkölämmityksen kulutus ei näkynyt lämpimällä kesäkaudella, sillä suuri osa tästä lämmityksestä kytketään pois käytöstä, kun sisälämpötila pysyy yli 20 asteen. Lattialämmityksestä kosteissa tiloissa sijaitseva noin 2,2 kW:n osuus on kuitenkin päällä

ympäri vuoden. Varaston 0,55 kW:n patterin ei juurikaan tarvinnut olla kesäkaudella päällä, sillä varaston lämpötila pysyi tällöin yli kymmenen asteen ilman sitäkin.

Talon koneellinen ilmanvaihto kuluttaa osan sähkön pohjakuormasta. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa ja jälkilämmityspatteria ei tarkastelujaksolla tarvittu.

5.4 Kohde 3, kaukolämpö

Kohde 3 on vuonna 2002 rakennettu 171 m²:n talo, jossa asuu viisihenkinen perhe. Talon lämmitysratkaisuna toimii kaukolämpö. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti ilman lämmön talteenottoa ja ilmastointia. Ilmanvaihdossa on kuitenkin sähkövastuksella toimiva termostaattiohjattu tuloilman lämmitys.

Lämmitysjärjestelmä

Kohde 3 lämmitetään kaukolämmöllä toteutetulla vesikiertoisella lattialämmityksellä, joka säädetään huonekohtaisesti. Lattialämmityksen lisäksi kohteessa on tuloilman lämmitysjärjestelmä, joka lämmittää tarvittaessa tuloilmaa termostaattiohjauksella. Tuloilman lämmitystä tarvitaan pääasiassa kylmällä, joten sillä ei ollut suurta vaikutusta kesäkauden tarkastelujaksolla.

Sähkön kulutus

Kaukolämpölaitteisto ei juurikaan kulututa sähköä. Kaukolämpölaitteistossa sähköä kuluttaa enimmäkseen käyttövesipumppu ja kiertovesipumppu, joiden kulutus on noin 100 W:a.

Koneellinen ilmanvaihto kuluttaa sähköä jatkuvasti. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien maksimiteho on 185 W:a. Puhaltimet eivät käy koko aikaa maksimitehollaan, joten niiden kulutus on tätä pienempi. Muita jatkuvasti päällä olevia laitteita olivat normaalit kodinkoneet.

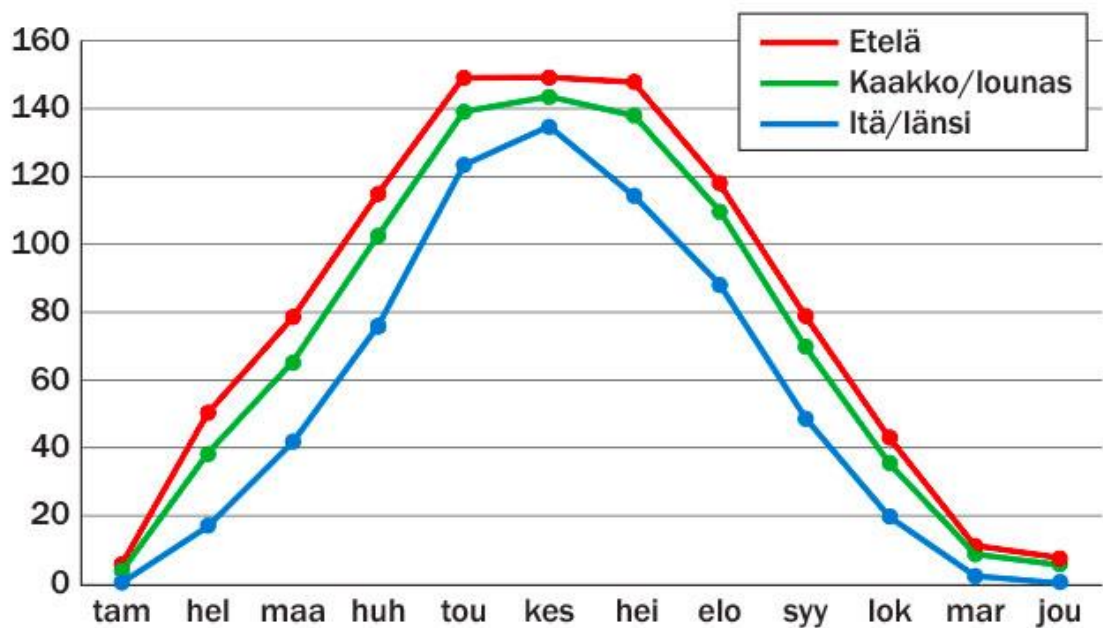
Kohteen omistajalta saatiin tarkat tiedot satunnaisesti käytettävistä sähköä kuluttavista laitteista, joita olivat 6 kW:n sähkökuuas, pyykinpesukone, astianpesukone, sähköliesi, kahvinkeitin, viihde-elektroniikka ja keskuspylynimuri.

6 Aurinkosähkön tuotto ja optimointi

6.1 Paneelien asennus

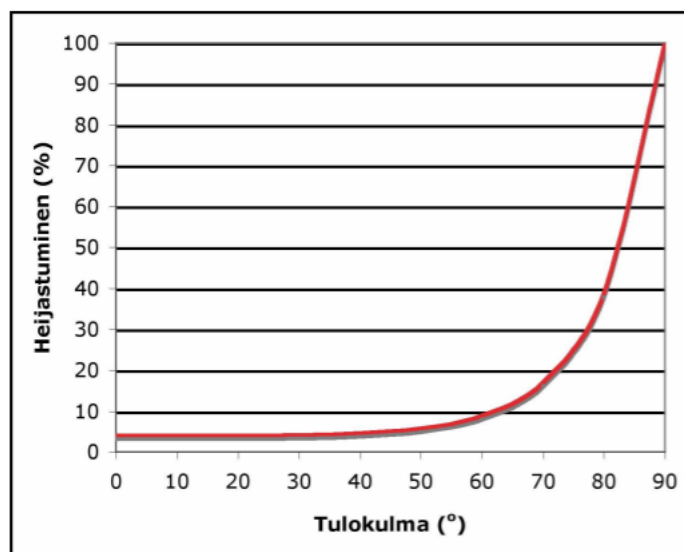
Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota järjestelmän koon, asennuksen, asennuspaikan sekä sähkön käytön suunnitteluun. Järjestelmää ei kannata mitoittaa liian suureksi sähkön myynnistä saatavan alhaisen korvauksen takia, ellei suunnitelmissa ole varastoida saatua sähköenergiaa.

Yleisesti ottaen aurinkopaneelit asennetaan katolle, jossa varjostavia tekijöitä on usein vähemmän kuin maan tasolla ja tilaa usein tarjolla. Paneelit suositellaan suuntaamaan etelään päin. Näin saadaan paneeleille paras hyöty, koska ne on suunnattu aurinkoon päin parhaina auringonpaistetunteina. Mikäli katon suuntaus on niin, ettei etelään suuntaaminen ole mahdollista, voidaan paneelit asentaa myös kaakkoon, lounaaseen tai länteen. Paneelien suuntaus länteen ei tuota aivan yhtä paljon energiaa kuin suuntaus etelään, mutta tällöin paneeleilla pystytään hyödyntämään ilta-päivällä paistavaa aurinkoa juuri silloin, kun kulutus kotitalouksissa on usein suurimmillaan. (Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus, n.d.) Paneelien suuntauksen vaikutus tuottoon selviää kuviosta 12.



Kuvio 12. Aurinkopaneelien suuntauksen vaikutus tuottoon (W/m^2) (Aurinkopaneelin sijoitus ja asennus n.d.)

Paneelien kallistuskulmalla on myös vaikutusta, sillä paneelit tuottavat sitä paremmin mitä kohtisuorempaan auringon säteily tulee paneelien pinnalle. Kaikkein optimaalisinta olisi, jos auringonvalo tulisi paneelin lasipinnalle aina kohtisuoraan, jolloin pois heijastuvan säteilyn määrä olisi kaikkein pienin ja auringon säteilystä saataisiin näin suurin hyöty, kuten kuviosta 13 nähdään. Aurinko kuitenkin liikkuu taivaalla jatkuvasti ja valon tulokulma muuttuu päivän mittaan, joten kiinteillä asennuksilla kohtisuoraa säteilyä saadaan vain tietyinä hetkenä päivässä. (Aurinkoenergia 2010.)



Kuvio 13. Auringon valon heijastuminen lasiselta pinnalta (Aurinkoenergia 2010.)

Kuten kuviosta 13 selviää, tulokulmasta aiheutuvalla heijastuksella on kuitenkin varsin pieni merkitys ennen kuin tulokulma ylittää 60 astetta, joten oikein suunnatuilla kiinteillä asennuksilla heijastumisesta aiheutuvat häviöt jäävät maltillisiksi.

Pystyasennus on paneeleille myös optimaalinen vaihtoehto, mikäli halutaan maksimoida alkukevään ja loppusyksyn aurinkosähköpotentialiaali, jolloin aurinko paistaa matalalta. Pelkkä pystysuuntainen asennus ei kuitenkaan ole hyvä ratkaisu, mikäli aurinkosähköä halutaan hyödyntää kesällä, sillä pystypaneelien vuotuinen sähkön tuotto on 25-30 prosenttia heikompi kuin 40 asteen kulmaan suunnatulla paneelilla. Pystypaneelita suunniteltaessa on myös tärkeä huomioida, ettei esimerkiksi talon räystääs pääse varjostamaan paneeleita. (Järjestelmän sijoitus, suuntaus ja mitoitus n.d.)

Pystypaneelien tuotosta esimerkkinä toimii Oulun Energian Toppilan voimalaitoksen seinälle asennetut aurinkopaneelit, jotka ovat saavuttaneet tammi-maaliskuussa yli kaksinkertaisen tuoton verrattuna vastaavaan kattoasennukseen. Paneelien tuotama sähkömäärä maaliskuussa oli jopa hieman suurempi kuin heinäkuun tuotto. (Virtanen 2017.)

Aurinkopaneelien pystyasennukset ovat omakotitaloissa kuitenkin hankalia toteuttaa. Tyypillisesti omakotitalot ovat matalia ja sijaitsevat alueella, jossa talojen pystypinnoille muodostuu helposti varjostuksia joko ympäristöstä tai talon omista rakenteista, kuten räystäistä. Paneelin asennukseen soveltuvan pystyseinän tulisi olla korkealla ja talon sijaita avaralla alueella, jotta pystyyn asennettavien paneelien varjostuksilta vältyttäisiin. Pystyasennus on siis varteenotettava vaihtoehto, jolla paneeleista saataisiin lisähyötyä alkuvuodesta, mutta valitettavasti vain harvassa omakotitalossa on mahdollista asentaa paneelit pystyyn ilman haittatekijöitä, jotka pienentävät paneelien tuotantoa.

Tarkasteltavissa kohteissa paneelien optimaaliset asennusvaihtoehdot olisivat siis etelään, kaakkoon tai luoteeseen. Kohteille ei suunnitella tarkkoja paneeliasennuksia, kulmia ja suuntauksia ja työssä oletetaan, että toteutus on mahdollista tehdä edellä mainituin suuntauksin ja kallistus optimaaliseen 42-46 asteen kulmaan.

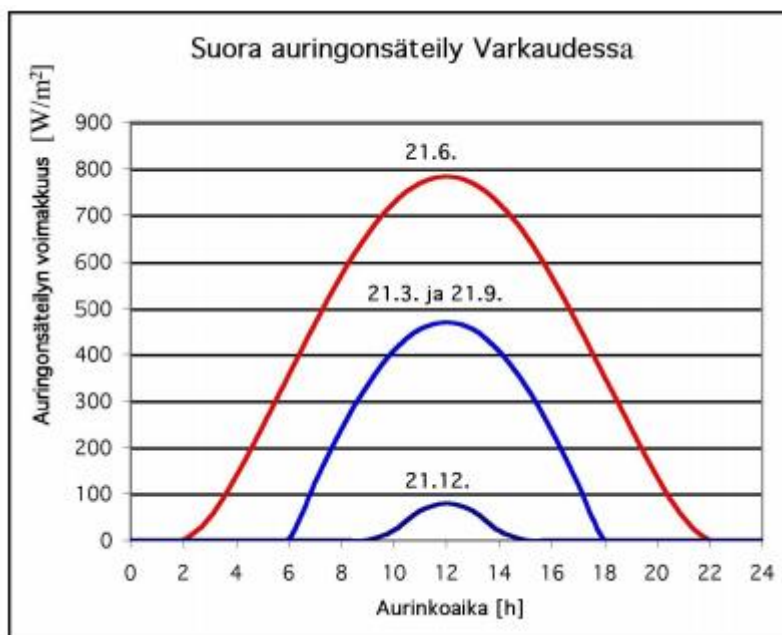
6.2 Aurinkosähkön tuotto

Kohteille laskettiin potentiaalinen aurinkosähkön tuotto tuntitasolle käyttäen hyväksi VTT:n erikoistutkija Ismo Heimosen laatimaa Aurinkosähkön laskentaopasta vuodelta 2012 sekä Sunteknon Aurinkoenergia ABC-verkkajulkaisussa olevia Varkauteen laskettuja auringon tuntikohtaisia säteilymääriä neliömetrille. (Aurinkoenergia 2010; Aurinko-opas 2012, 2011.)

Heimosen (2012) oppaassa lasketaan aurinkosähkön tuotto vuosi- tai kuukausitasolle. Oppaan kaavojen käyttöä sovellettiin, jotta saatiin laskettua yhdelle päivälle tuntitason tuotto. Oppaassa tuotto lasketaan yhdelle neliömetrille vuoden aikana tulevan säteilyn perusteella, ja tulos jaetaan kuukausittaiseksi perustuen koko vuoden säteilymäärän ja kuukauden säteilymäärän suhteeseen. Kaavaa sovellettiin niin, että

koko vuoden sijaan laskenta perustettiin yhden päivän kokonaissäteilymäärään, joka jaettiin tuntitasolle.

Aurinkoenergia ABC:n säteilytiedot ovat kuvion 14 kesäkuun käyrän mukaiset. Koska tiedot ovat kuvion käyrästä otettuja, tulee niihin suhtautua kriittisesti. Vaikka tulokset pyrittiin ottamaan mahdollisimman tarkasti, voi niissä esiintyä inhimillisiä virheitä. Kuviota päädyttiin käyttämään lähteenä, sillä tuntikohtaisten vaakatasolle tulevien säteilymäärien löytäminen osoittautui vaikeaksi. Muutamia muitakin mitattuja tuloksia löydettiin, mutta myös niissä tulokset oli joko ilmoitettu kuvioissa eikä numeerisina, tai tulokset olivat jo suunnattujen ja kallistettujen paneeliryhmien tuloksia, jolloin niitä ei voitu hyödyntää laskentakaavassa. Lisäksi Varkaudessa mitatut tulokset ovat todennäköisesti samaa luokkaa kuin Jyväskylässä, sillä nämä kaksi kaupunkia sijaitsevat samalla tasolla.



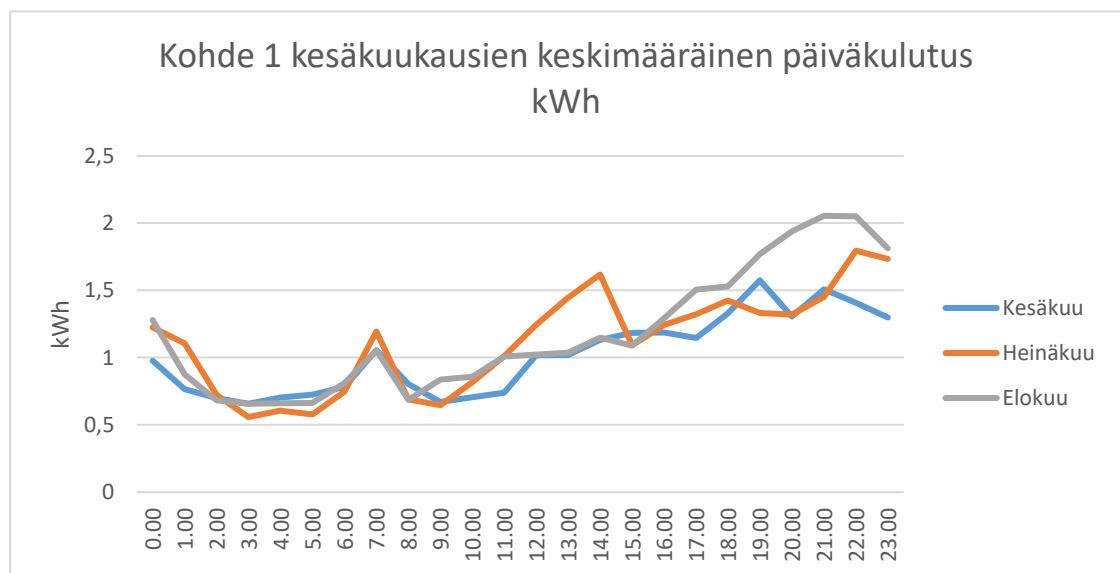
Kuvio 14. Auringon säteilymäärät vaakatasolle Varkaudessa (Aurinkoenergia 2010)

Jokaiselle kohteelle laskettiin oma tuottokäyränsä optimoinnin mukaan. Eri kohteille suoritettu laskenta poikkesi vain paneelien pinta-alan osalta. Laskennan kaavat ja esimerkki on esitetty liitteessä 2 ja kuviosta 14 otetut päiväkohtaiset auringon säteilymäärät liitteessä 3.

6.3 Kohde 1, maalämpö

Kohteen 1 sähkönkäyttöprofiilia tarkasteltaessa kuviosta 15 huomattiin, että sähkön kulutus painottui iltapäivään ja ilta aikaan. Aamulla noin kello seitsemän esiintyi asukkaiden aamutoimista johtuva kulutuspiikki, jonka jälkeen kulutus pieneni aiemmalle tasolle ja alkoi nousta iltapäivää kohti. Poikkeuksena tästä oli heinäkuu, jolloin sähkön kulutus kasvoi noin kello neljatoista. Muista kuukausista poikkeava kulutuksen nousu johtui heinäkuun aikana noin kello neljatoista aikaan esiintyvistä satunnaisista korkeista sähkön kulutuksista, joiden hetkellinen teho oli korkeimmillaan jopa 4,56 kW:a. Kulutuksen nousut voivat johtua esimerkiksi heinäkuussa vietetystä kesälomasta ja noin kello neljätuloista nousun on voinut aiheuttaa esimerkiksi ruuanlaitto ja siihen liittyvä lämpimän veden sekä sähköhellan ja uunin käyttö.

Elokuun sähkönkäyttöprofiilissa esiintyi muita kesäkuukausia voimakkaampaa nousua iltaa kohden, mikä johtui todennäköisimmin vuonna 2016 elokuun keskimäärin kylmemmistä ulkoilman lämpötiloista verrattuna esimerkiksi heinäkuuhun.

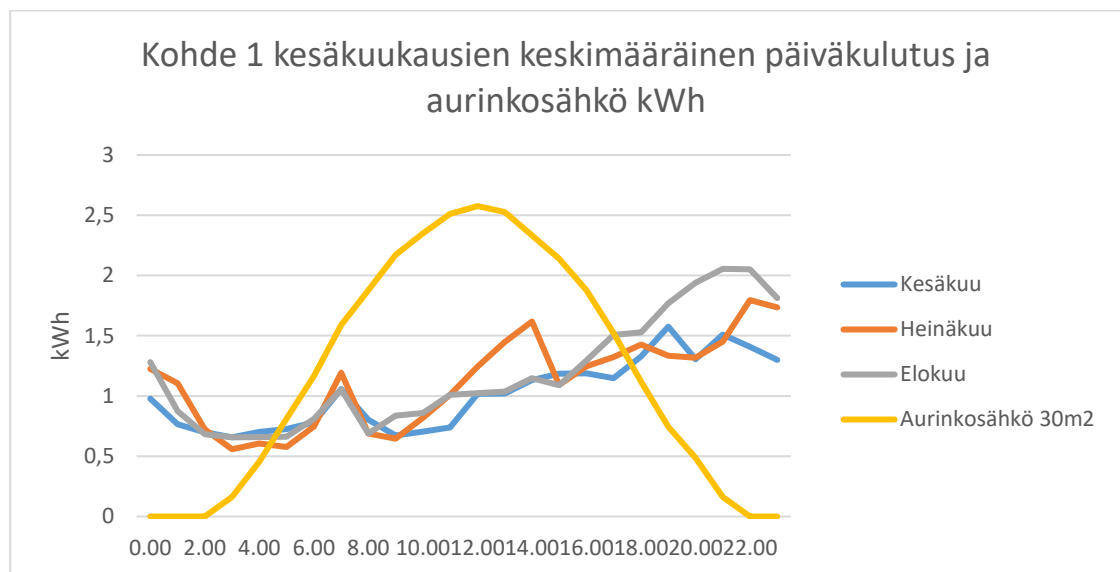


Kuvio 15. Kohteen 1 kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus

Kuten kuviosta 15 nähdään, kohteen sähkönkäyttö kasvoi iltapäivää kohden eikä ollut pääasiassa kovinkaan suurta keskipäivällä, jolloin auringon energiaa olisi tarjolla eni-

ten. Kohteessa käyttövesi lämmitetään maalämpöpumpulla ja päärakennuksen lämmitys hoidetaan myös maalämmöllä. Kohteessa on myös toinen rakennus, jossa on pieni lämminvesivaraaja ja suora sähkölämmitys, mutta koska siellä ei ollut tarkasteluajanjaksolla vakituista asumista, ei sitä huomioitu aurinkosähkön tarkastelussa.

Kohteeseen järkevä valinta olisi iso aurinkosähköjärjestelmä, joka tuottaisi päivällä energiaa, jota käytettäisiin osittain hyödyksi ja osittain varastoitaisiin akustoon. Näin tuotettu sähkö saataisiin hyödynnettyä myös iltapäivällä ja illalla, kun sille olisi suurin tarve, sekä mahdollisesti myös aamulla. Paneelit mitoitettaisiin niin, että niiden tuottama sähkö kattaisi vuorokauden kulutuksen. Tämä saavutettaisiin 30 m²:n paneelipinta-alalla ja vaatii 50 %:n purkusyvyydellä 2200 Ah:n tehoisen akuston. Kuviossa 16 nähdään paneelien tuotanto ja kohteen kulutus. 2200 Ah:n akustoon saataisiin varastoitua paneelien päivän aikana tuottama kulutuksen ylittävä sähköenergia, jota voitaisiin alkaa purkaa akusta takaisin käyttöön, kun tuotanto laskee.

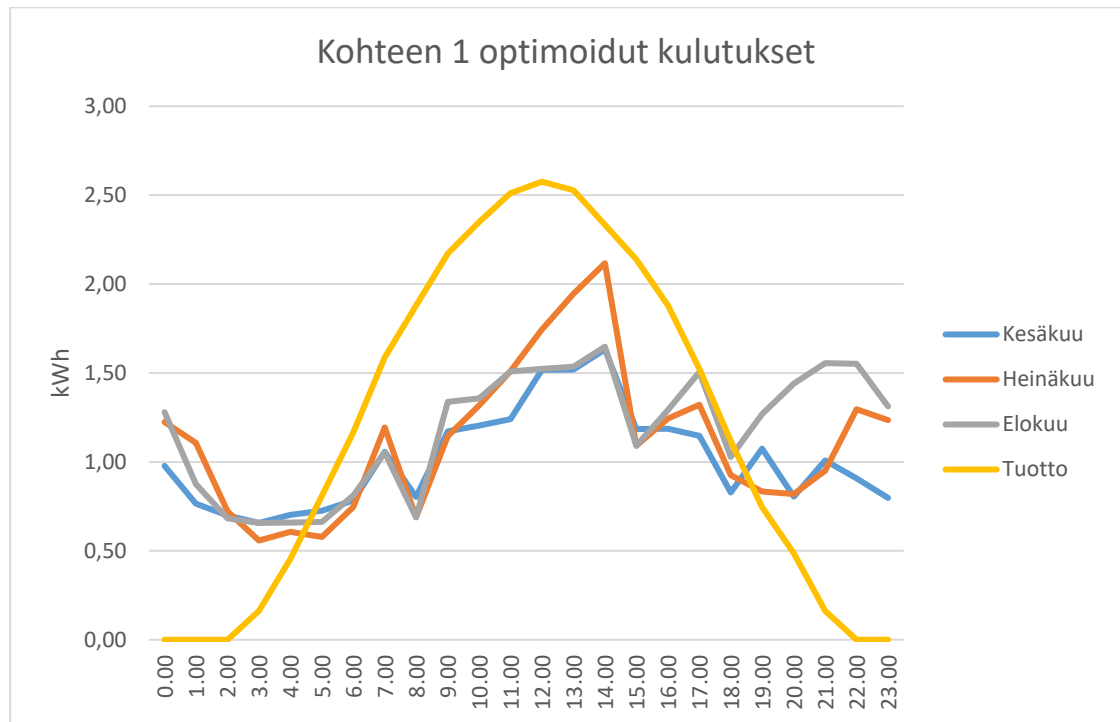


Kuvio 16. Kohde 1, tuotto ja kulutus

Kohteen kodinkoneita, kuten astianpesukonetta ja pyykinpesukonetta, voitaisiin ohjelmoida käymään auringon tuottoaikaan. Tämä olisi kaikkein paras toteuttaa laitteiden sisäänrakennettua ajastusta käyttäen ja käyttötottumuksia muuttamalla.

Kohteen sähkökäyttötapojen muutoksilla arvioitiin olevan mahdollista ohjata 3 kWh:ia illan käytöstä keskipäivälle. Tämä 3 kWh:ia jaoteltiin kello 18:00 eteenpäin niin, että seuraavilta tunneilta siirrettiin kulutusta 0,5 kWh:ia keskipäivän tunneille

kello yhdeksästä eteenpäin. Näin saatiin kuvion 17 mukainen kulutuskäyrästä ja pienennettiin ylituotantosähkön tarvitsemää akustoa 2200 Ah:sta 1870 Ah:iin.



Kuvio 17. Kohteen 1 optimoitu kulutus

Toinen vaihtoehto olisi, että maalämpöpumpun sähkönkäyttö katettaisiin aurinkosähköllä, jolloin energiavaraajaan varastoitua energiaa voitaisiin hyödyntää talon lämmitykseen ja lämpimän veden tekoon iltapäivällä. Energiavaraajaa voitaisiin lämmitellä myös aurinkosähköllä toimivalla sähkövastuksella, jolloin maalämpöpumpun käyttötarve vähenisi. Maalämpöpumpun yhteyteen voitaisiin hankkia myös toinen energiavaraaja, jolloin kohteessa saataisiin aurinkosähköä ladattua enemmän talteen ja hyödynnettyä myös kevät- ja syyskaudella kun lämmityksen tarve olisi suurempi. Tämä ratkaisu pienentäisi myös maalämpöpumpun kompressorin käynnistymiskertojen määrää. Tämä saattaisi vaatia maalämpöpumpun uudelleenmitoitusta syksyä ja kevättä varten, joten muutos jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Aurinkosähköjärjestelmä voitaisiin myös mitoitaa kattamaan vain kohteen lämpimän käyttöveden kulutus. Tällöin järjestelmän tuottama sähkö saataisiin aina käytettyä kokonaisuudessaan. Tuotettu sähkö ladattaisiin akkuihin ja käytettäisiin tarvittaessa.

Toinen vaihtoehto olisi, että maalämpöpumppu ohjattaisiin päälle auringon paistaessa, jolloin pumppu lataisi vesivaraajansa lämpimäksi. Maalämpöpumpun ohjaaminen päälle ja sen sähkön käytön kattaminen pelkällä aurinkosähköllä ei kuitenkaan ollut kannattava vaihtoehto, koska kohteen maalämpöpumpun tehoksi oli ilmoitettu 8,3 kW:a. Jotta aurinkopaneelit olisivat tuottaneet tarpeeksi sähköä tämän tehon suoraan kattamiseen, olisi paneeleita tullut olla paljon, ja koska maalämpöpumppu käy vain lyhyitä jaksoja kerrallaan, olisi tarvittava paneelimäärä ylimitoitettu muuhun kulutukseen nähden.

Maalämpöpumppujen tehokkuutta kuvaa COP- lämpökerroin, joka kertoo, kuinka paljon pumppu saa tuotettua lämpöenergiaa yhdellä kilowatilla energiaa. Tyypillinen COP-kerroin maalämmölle on 3. COP-luku määritetään kaavan 3 mukaan. (Laitinen, Ruska & Koreneff 2011, 21).

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (3)$$

missä

COP = Lämpökerroin

Q = Tuotettu energia

W = Käytetty energia

Yksinkertaisesti laskettuna maalämpöpumpun käyttämä energia viisihenkisen perheen lämpimän veden tekemiseen on kaavan 4 mukainen.

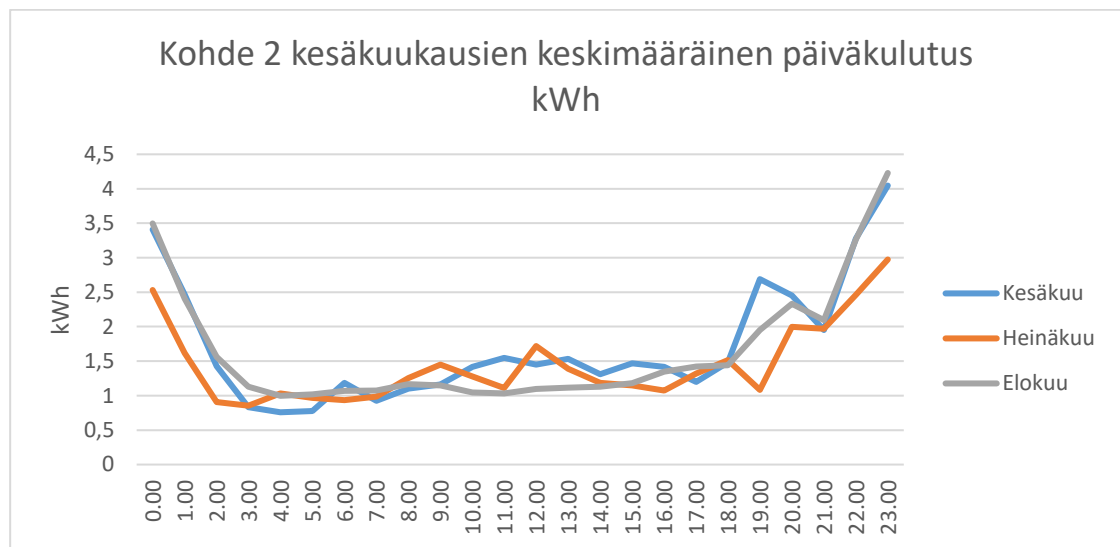
$$W = \frac{Q}{COP} \quad (4)$$

$$\frac{17,4 \text{ kWh}}{3} = 5,8 \text{ kWh}$$

Kohteen maalämpöpumpun kuluttama energiamäärä oli 5,8 kWh:a ja tarvittava akusto sen varastointiin oli 1020 Ah:a. Tämän akuston lataamiseen riittäisi aurinkosähköjärjestelmä, jossa olisi 7 m²:ä paneeleita.

6.4 Kohde 2, suora sähkölämmitys

Suoralla sähkölämmityksellä olevan kohteen 2 sähkönkulutus oli pääosiltaan samantyyppistä kaikilla kesäkuukausilla, mikä selviää kuviosta 18. Eroja esiintyi lähinnä iltakulutusissa, joissa oli kesäkuukausien kesken pientä poikkeamaa noin kello seitsemän aikaan. Huomioitavaa on myös, että heinäkuun illan ja yön aikainen kulutus oli muista kuukausista pienempää. Tämä selittynee heinäkuun keskimäärin korkeampina yölämpötiloina ja muina kuukausina esimerkiksi sähkön ja lämpimän veden käyttöä lisäävän ahkeramman saunassa tai suihkussa käynnin avulla.

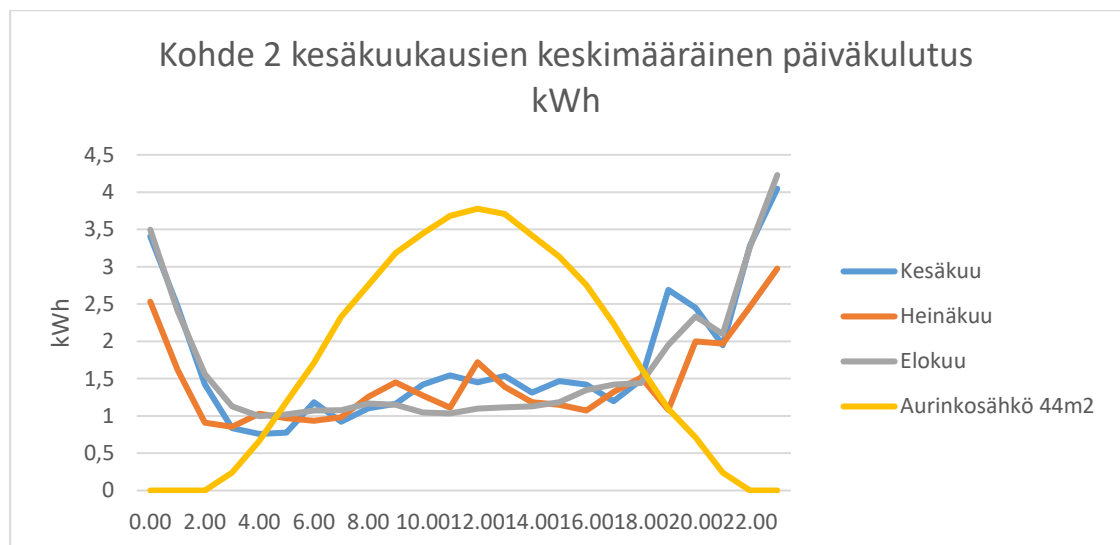


Kuvio 18. Kohteen 2 kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus

Kohteen sähkönkulutus oli päivällä tasaista verrattuna yöaikaiseen kulutukseen. Tämä johtui kohteessa käytettävästä yöllä kaksitariffisähköllä lämmitettävästä 3 kW:in tehoisesta lämminvesivaraajasta.

Mikäli kohteen koko sähkönkulutus katettaisiin aurinkosähköllä, tulisi paneeleita olla 44 m²:ä. Järjestelmä tuottaisi tällöin 21 kWh:a sähköä, jota ei nykyisellä kulutuksella olisi saatu käytettyä, kuten kuviosta 19 nähdään. Tällöin tarvittiin 3700 Ah:in akkujärjestelmä, jotta ylituotanto saatiin talteen. Mikäli kohteessa katettaisiin vain lämpimän veden tuotto aurinkosähköllä, olisi tarvittava akusto ollut 3400 Ah:in kokoinen, ja paneeleita olisi tarvittu 21 m²:ä kattamaan varaajan sähkön käyttö. Lämpimän käyttöveden tekeminen viisihenkiselle perheelle kulutti 19,3 kWh:a päivässä, kun otettiin huomioon sähkölämmitteisen varaajan noin 90 %:in hyötysuhde.

Akuston hankinnan sijaan yksi ratkaisu olisi ohjata sähköllä lämmitettävän lämminvesivaraajan käyttö keskipäivälle aurinkosähköjärjestelmän kanssa. Tällöin saataisiin kohteen yksi isoimmista sähkönkulutuksista katettua aurinkosähköllä ja säästyttäisiin akkujen tuomilta kustannuksilta aurinkosähköjärjestelmässä. Mikäli 3 kW:in tehoisen lämminvesivaraajan käyttö halutaan kattaa suoraan aurinkopaneeleilla, tulee paneelien määrää kasvattaa, jotta niiden tuottama teho riittäisi varaajalle. Kuten kuviosta 19 nähdään, oli kohteen kulutus yöllä, kun lämminvesivaraajaa ladattiin, lähes 4,5 kWh:ia, kun paneelien tuotto jäi parhaimmillaan noin 3,7 kWh:iin. Tämä ei olisi ongelma, mikäli kohteessa olisi varaaja, jota voitaisiin käyttää pienemmällä teholla. Jotta aurinkopaneeleilla saataisiin tuotettua tarpeeksi sähköä varaajan tarpeisiin, tulisi paneeleita olla 55 m²:ä. Tällöin järjestelmä tuottaisi keskipäivällä 3 tunnin ajan tarpeeksi sähköä varaajalle. Huonona puolena järjestelmä tuottaisi tällöin 9 kWh:a enemmän sähköä kuin mitä kohteen kokopäivän kulutus oli. Lisäksi tarvittavien paneelien vaatima asennus pinta-ala olisi varsin suuri, mikä saattaisi tuottaa hankaluuksia niiden sijoittamiselle.



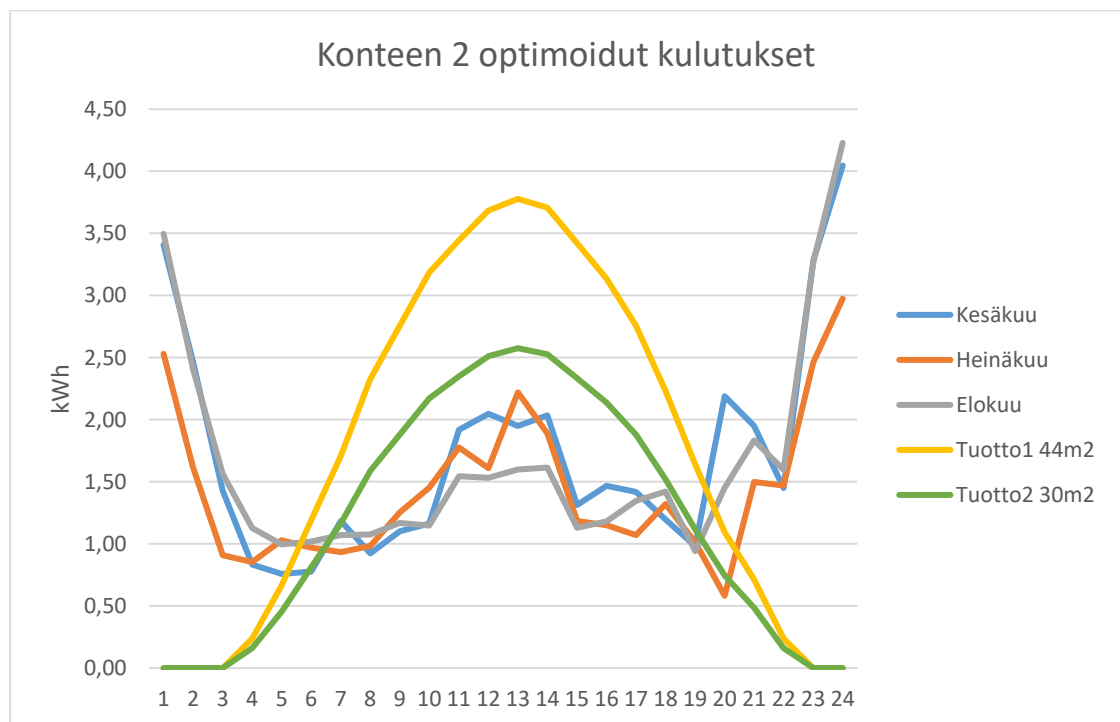
Kuvio 19. Kohde 2, kulutus ja tuotto

Kohteessa 2 on koneellinen ilmavaihto, josta syntyy pohjakuormaa sähkönkäytölle. Tämän koneellisen ilmanvaihdon kulutus voitaisiin kattaa aurinkosähköllä, mutta järkevämpää olisi ohjata ilmanvaihtoa niin, että se olisi minimiteholla päivällä, kun talossa ei oleskella. Ilmanvaihto ohjattaisiin normaaliteholle, kun asukkaat tulevat ko-

tiin. Tämä olisi voitu toteuttaa esimerkiksi ajastamalla järjestelmä, tai niin, että kohteen oviin asennettaisiin älykkäät lukot ja ilmanvaihto ohjelmoitaisiin kiinteistöautomaatiikalla seuraamaan lukkojen tilaa. Kun asukas saapuisi kotiin ja avaa lukon, ilmanvaihto tehostuu. Kun vastaavasti talo lukitaan, ilmanvaihdon teho laskee.

Kohteen kulutuksen siirtämisellä illalta keskipäivälle käytöstapoja muuttamalla saatiin hieman parannettua aurinkosähkön suoraa käyttöä. Kohteessa ei kuitenkaan ollut aamuista pohjakuormaa lukuun ottamatta tuottoa ylittävää kulutusta kuin illalla noin kello 19:00 jälkeen. Tästä kulutuksesta ei saatu siirrettyä kuin osa keskipäivälle, sillä kohteen omistajan kertomien tietojen mukaan talossa asuva perhe harrastaa paljon liikuntaa. Tästä syystä illan sähkön käyttö oli todennäköisesti suurelta osin perheen liikunta aktiviteettien jälkeisestä peseytymisestä johtuvaa kulutusta, jota ei siirrettyä, mikäli aktiviteetit ovat esimerkiksi tiettyyn kellonaikaan järjestettyjä harjoituksia.

Kohteen kulutuksesta saatiin siirrettyä osa illalta keskipäivälle. Siirrettäväksi määräksi arvioitiin 2 kWh:ia, joka jaoteltiin puolen kilowattitunnin osissa kello 18:00 eteenpäin ja siirrettiin kello kymmenestä eteenpäin. Tällöin kulutuskäyrästä saatiin kuvion 20 mukainen.



Kuvio 20. Kohde 2, optimoitu tuotto ja kulutus

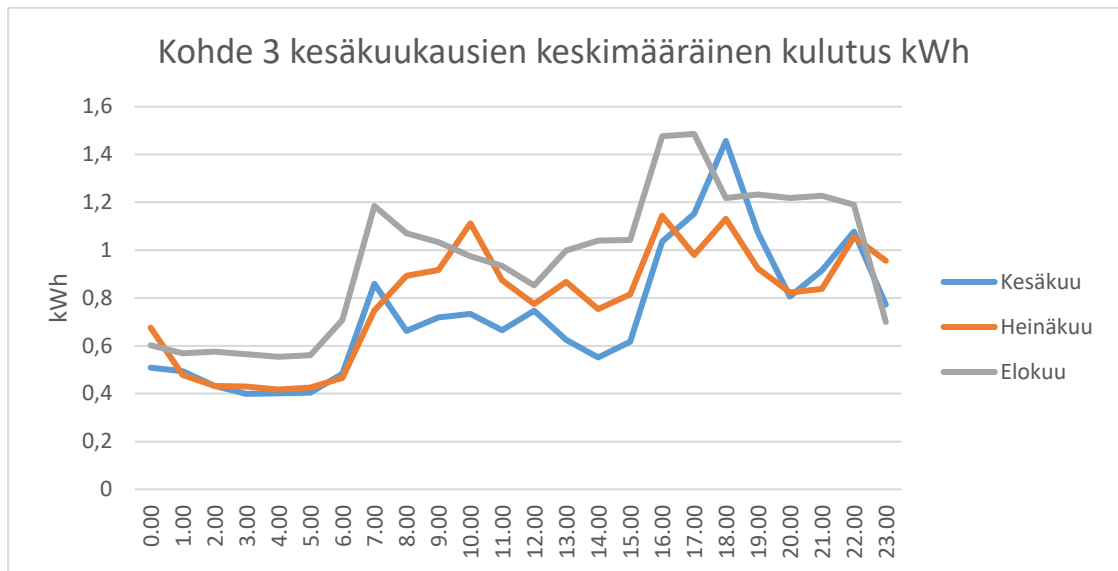
Koska kohteen suurin kulutus syntyi lämminvesivaraajasta, jota käytettiin yösähköllä ei kulutuksen siirtämisellä illalta ollut kovin suurta vaikutusta ylituotantosähkön talti-oimiseksi tarvittuun akustoon.

Kohteeseen voitiin myös mitoittaa järjestelmä, joka kattoi vain päivän kulutuksen ja jonka kanssa lämminvesivaraajan käyttö jätettiin edelleen yösähkölle. Tähän riittäisi 30 m²:iä paneeleita, kuten kuviosta 20 nähdään, ja mikäli ylituotettu 9 kWh:ia sähköä haluttiin myös talteen akustoon, tuli sen kapasiteetin olla 1590 Ah:ia. Tällöin ostetta- van sähkön määräksi jäi 13 kWh:ia päivässä.

6.5 Kohde 3, kaukolämpö

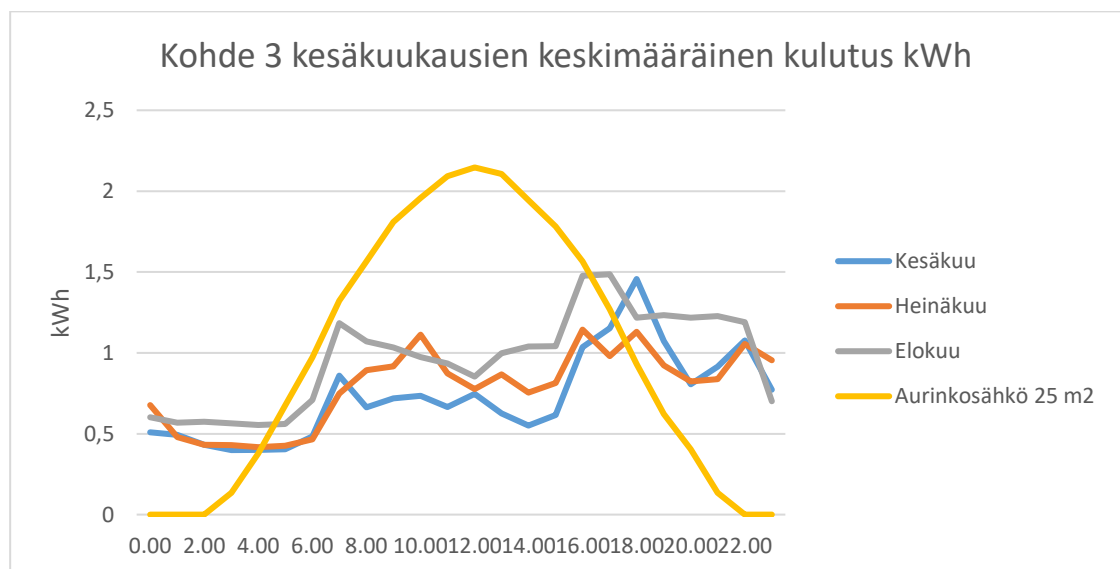
Kaukolämpöä lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tekemiseen käyttävä kohde 3 kulutti keskimäärin kaikista tarkasteltavista kohteista vähiten sähköä. Kuten kuviosta 21 nähdään, oli yön aikainen sähkön kulutus pientä verrattuna muihin kohteisiin. Päi- vän aikainen kulutus näytti vaihtelevan kuvaajan 21 mukaan paljonkin, mutta todelli- suudessa vaihteluväli oli vain hieman suurempi kuin muissa kohteissa. Myöskään ku- lutuksen taso keskipäivällä ei poikennut paljoa muista kohteista.

Kohteen sähkönkäyttö eri kesäkuukausina erosi toisistaan hieman suuruusluokiltaan, mutta oli pääpiirteiltään hyvin samankaltaista. Esimerkiksi kesä- ja elokuun sähkön- käyttöprofiilien eroina oli, että elokuussa sähköä oli kulutettu keskimäärin enemmän. Heinäkuu erosi kahdesta muusta kesäkuukaudesta hieman. Heinäkuussa aamuinen kulutus lähti nousemaan samaan aikaan kuin muina kuukausina, mutta kulutuspiikki oli siirtynyt noin kello kymmeneen. Heinäkuussa kello 16:00–19:00 esiintynyt kulu- tuspiikki oli myös muita kuukausia maltillisempi. Tämä selittynee muita kuukausia vä- hemmällä sähkökiukaan käytöllä.



Kuvio 21. Kohde 3, kesäkuukausien keskimääräinen päiväkulutus

Kohteen päivän kulutus saatiin katettua 25 m²:llä paneeleilla. Tällöin suoraan käyttämättä jäävää ylituotantoa tuli enimmillään 12 kWh:a, kuten kuviosta 22 nähdään, ja sen varastoisiksi tarvittiin 2110 Ah:in akusto. Tämän akuston avulla kohteen koko päivän kulutus saataisiin katettua aurinkosähköllä.



Kuvio 22. Kohde 3, aurinkosähkö tuotto ja kulutus

Kohteen 3 omistajalta saatiin tarkat tiedot sähköä käyttävistä laitteista ja niiden käytön yleisistä ajankohdista. Koska kohteessa oli kaukolämmitys, ei lämmitykseen tai

lämpimän veden tekoon ei kulunut paljoa sähköä. Tällaisissa kaukolämpötoteutuksissa lämmityksessä sähköä vievät lähinnä kiertovesipumput, joiden maksimiteho on vain muutamia kymmeniä watteja.

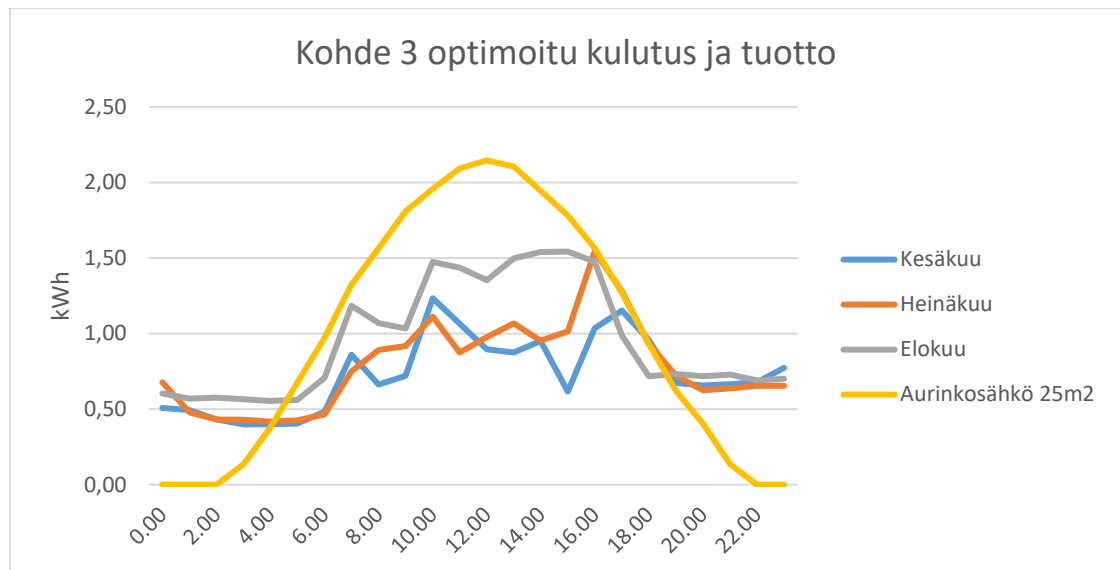
Pohjakuromaa loi koneellinen ilmanvaihto, joka oli jatkuvasti päällä. Kuten kohteessa 2, olisi kohteen 3 koneellinen ilmanvaihto järkevää pitää minimi teholla silloin, kun talossa ei ole asukkaita. Tämän toteutus voisi olla samanlainen kuin kohteessa 2. Muita jatkuvasti päällä olevia latteita olivat jääkaappi ja pakastin. Nämä kuitenkin kuluttivat sähköä vain ajoittain, kun niiden kompressorit ja kylmälaitteet käyvät.

Aamuisen kulutuspiikin aiheuttajina toimivat 1520W:in tehoinen kahvinkeitin noin 06:30–07:30 välisenä aikana sekä pyykinpesukone, jota käytettiin aikavälillä 06:00–13:00 yhdestä neljään kertaa päivässä. Lisäksi aamulla kului lämmintä käyttövetä, joskin veden käytön sähkönkulutus oli varsin pientä kaukolämpöratkaisun takia.

Aamuisen piikin jälkeen kulutus laski. Kulutus kasvoi kuukaudesta riippuen joko kello kahdestatoista, tai neljästätoista alkaen, ja nousi aina kello kahdeksaentoista asti. Tällä aikavälillä taloudessa käytettiin usein perjantaisin 1400 W:in tehoista keskuspolynimuria noin 1-2 tunnin ajan. Tällä aikavälillä taloudessa myös valmistettiin ruokaa, eli sähköä kuluttivat uuni, sähköliesi ja liesituuletin. Illan sähkönkulutuksen huipun aiheuttajana toimi 6 kW:in sähkökiuas, joka lämmitettiin yhdestä kahteen kertaa viikossa kello 17:00–19:00. Illan kulutushuipun jälkeen käyrä lähti laskuun. Laskun pysäytti astianpesukone, jota käytettiin yleensä aikavälillä 20:00–22:00 lähes joka päivä. Astianpesukoneen sähkönkulutus oli kuitenkin perinteistä maltillisempi, sillä se oli kytketty suoraan lämpimään käyttöveteen, joten astianpesukone käytti normaalia vähemmän sähköä veden lämmitykseen.

Kuten muissakin kohteissa, kohteen 3 suurimmat kulutushuiput olivat iltapäivällä, illalla sekä aamulla. Osa päivän kulutuksesta painottui myös keskipäivän ympärille, mikä on aurinkosähköjärjestelmän hyödyntämisen kannalta hyvä asia. Käyttöä siirrettiin parhaalle aurinkosähkön tuotantoajalle muuttamalla kulutustottumuksia. Iltapäivällä ja illalla tapahtuvia astianpesukoneen ja keskuspolynimurin käyttöä siirrettiin keskipäivälle. Myös välillä aamulla käytettävän pyykinpesukoneen käyttöä voitaisiin siirtää lähemmäksi keskipäivää, mutta kuten kuvioista 23 nähdään, ei se ole välttämä-

töntä. Näin kohteen sähkönkäyttöä saataisiin painotettua keskipäivälle ja aurinkosähköjärjestelmästä saataisiin paras hyöty. Kuviossa 23 nähdään kohteelle arvioitu sähkön käyttö, kun kulutusta siirrettiin keskipäivälle.



Kuvio 23. Kohde 3, optimoitu kulutus ja tuotto

Kuviossa 23 kohteen illan, kello 18:00 eteenpäin olevaa, kulutusta on siirretty aiemmaksi. Kesäkuussa kulutusta siirrettiin illalta yhteensä 1,7 kWh:a keskipäivälle kello kymmenen ja neljäntoista välille. Heinäkuun kulutusta siirrettiin 1,5 kWh:a kello kahdentoista ja seitsemäntoista välille.

Elokuun kulutus oli muita kuukausia suurempaa ja myös sen arvioitu siirtomäärä oli muita kuukausia suurempi, 3 kWh:a. Tämä jaoteltiin kello kymmenen ja viidentoista väliselle ajalle.

Näillä kulutuksen siirroilla aurinkosähkön suora käyttö lisääntyi ja ylituotannon määrä väheni kahdestatoista kilowattitunnista kymmeneen kilowattituntiin ja tarvittava akusto oli 1840 Ah:a.

Kaukolämmöllä lämmitettyyn kohteeseen ei ollut kannattavaa mitoittaa aurinkosähköä niin, että se olisi kattanut lämpimän veden tekemiseen kuluvan sähkön. Kaukolämpöratkaisu kuluttai tähän sähköä todella vähän ja vain silloin kun lämmintä vettä käytettiin. Paras ratkaisu olisi akuilla varustettu järjestelmä tai järjestelmä, jonka kaikki tuotto saadaan käytettyä suoraan.

7 Tulokset

7.1 Kohde 1 Maalämpö

Maalämpöpumpulla lämmitettävään kohteeseen mitoitettiin 30 m²:ä aurinkopaneeleja, joilla katettiin päivän kulutus yhdessä 2200 Ah:n akustolla, johon aurinkopaneelin ylituotanto ladattaisiin. Tämä mitoitus perustui kohteen päivän aikaiseen kokonaiskulutukseen, joka kesäkuukausina oli suurimmillaan 28 kWh:a päivässä. Tässä mitoituksessa kohteen kulutukseen ei tehty muutoksia.

Kun kohteen illan aikaisia kulutuksia siirrettiin päivälle, saatiin aurinkosähköä hyödynnettyä paremmin ja tarvittava akusto pieneni 1870 Ah:iin.

Kohteessa tarkasteltiin myös mitoitusta, jossa paneelit tuottaisivat lämpimän käyttöveden tekemiseen tarvittavan energian. Maalämpöpumppu kulutti lämpimän veden tekemiseen viisihenkiselle perheelle 5,8 kWh:a energiaa. Aurinkopaneeleja ei kannattanut mitoitaa niin, että ne tuottaisivat suoraan maalämpöpumpun tarvitseman energiamäärän, sillä tarvittava paneelien määrä olisi tällöin ollut todella suuri. Tämä johtui pumpun käyttämästä suuresta tehosta. Lisäksi maalämpöpumpun tehon tarve on yleensä vain muutamia kymmeniä minuutteja, joten järkevämmäksi ratkaisuksi osoittautui akullinen järjestelmä. Tarvittava paneelimäärä akulliseen maalämpöpumpun kulutuksen kattamiseen oli 7 m²:ä ja akusto sähkön varastointiin 1020 Ah:ia.

7.2 Kohde 2, suora sähkölämmitys

Suoralla sähköllä lämmitettävän kohteen kesäkuukausien kokonaissähkönkulutus oli kaikista tarkasteltavista kohteista suurin. Eniten sähköä kului kesäkuun keskiarvoisessa päivässä. Kohteen kesäkuun päivän kulutus oli 41 kWh:a. Tätä kulutusta kattamaan tarvittiin 44 m²:ä aurinkopaneeleita, jolloin suoraan käyttämättä jäänyttä tuotantoa syntyi 21 kWh:a. Ylituotannon varastointiseksi mitoitettiin 3700 Ah:n akkujärjestelmä.

Kohteen käyttöveden tekoon tarvittiin laskennallisesti 19,3 kWh:a päivässä ja tämän kattamiseen riitti 21 m²:n paneelisto ja 3400 Ah:n akusto, josta varaaja ottaisi sähköä

tarvittaessa. Käyttöveden lämmitys oli mahdollista toteuttaa myös suoraan aurinkosähköllä ilman akkuja, mutta varaajan ollessa päällä kohteen kulutus nousee lähes 4,5 kWh:n tasolle. Tämä tarkoitti, että paneelien määrää tulisi kasvattaa, jotta ne olisivat tuottaneet tarpeeksi tehoa varaajalle. Tarvittava paneelimäärä olisi ollut 55 m²:ä, jolloin tuotto olisi riittänyt keskipäivällä kolmen tunnin ajan kattamaan varaajan tehontarve. Tämä ei ollut kuitenkaan järkevä vaihtoehto, sillä järjestelmä olisi tuottanut tällöin 9 kWh:a ylimääräistä sähköä, jota ei oltaisi saatu hyödynnettyä kohteessa. Lisäksi 55m²:n aurinkopaneelien sijoittaminen olisi voinut käytännössä olla hankalaa.

Kohteen illan kulutuksen siirtoa tarkasteltaessa tultiin siihen tulokseen, että illan kulutuksesta ei saatu siirrettyä kuin arviolta 2 kWh:a. Tällä siirrolla ei ollut suurta vaikutusta lopun kulutuksen kattamiseen tarvittavaan akustoon.

Kohteelle mitoitettiin myös pienempi järjestelmä, jolla saatiin katettua päivän aikainen kulutus. Tällöin lämminvesivaraaja jätettiin toimimaan yösähköllä, kuten aiemminkin. Mitoituksen tulokseksi saatiin 30 m²:n paneelisto, jonka rinnalle mitoitettiin 1590 Ah:n akusto. Tällä järjestelmällä ostettavaa sähköä jäi 13 kWh:a, josta suurin osa oli lämminvesivaraajan yösähkön käyttöä.

7.3 Kohde 3, kaukolämpö

Kaukolämpökohteen päivän sähkönkulutus kesäkuukausina oli tarkasteltavista kohteista pienintä ja kulutuksesta osa oli valmiiksi keskipäivän aikana. Päivän kulutuksen kattava paneelikoko oli 25 m²:ä, jolla ilman kulutuksen siirtämistä syntyi 12 kWh:a sähköä, jota ei saatu käytettyä suoraan. Tämän varastointiin mitoitettiin 2110 Ah:n akusto.

Kaukolämmöllä lämpimän veden tekemiseen kuluvan sähkön vähyyden ja hetkittäisyyden takia kohteelle ei kannattanut mitoitaa käyttöveden lämmitystä kattavaa järjestelmää erikseen.

Kaukolämpökohteen kulutuksen siirtämisellä saatiin illan kulutuksesta osa siirrettyä keskipäivälle. Muista kohteista poiketen kaukolämpökohteella eri kuukausien kulu-

tuksien siirtomäärät poikkesivat toisistaan, johtuen kulutuksien epätasaisuudesta toisiinsa verrattuna. Siirroilla aurinkosähkön ylituotanto saatiin pienemmään kymmeneen kilowattituntiin.

7.4 Muutoksia mitoitukseen

1.1.1 Mitoitus olemassa olevien energiavarastojen mukaan

Mikäli rakennuksessa johon aurinkosähköjärjestelmää suunnitellaan, on jonkinlainen energiavarasto, tulisi se ottaa mitoituksessa huomioon. Mitoituksen pohjana olisi paras käyttää vedenlämmitysjärjestelmän kulutustietoja, mutta koska niitä ei aina ole saatavilla, voidaan käyttää olemassa olevia tai arvioituja lämpimän veden kulutustietoja ja laitteen teknisiä tietoja, joiden pohjalta sähkön kulutus lasketaan.

Hyvin yleinen energiavaraaja kodeissa on lämminvesivaraaja, jonka veden lämmittämiseen tarvitaan eri ratkaisuista riippuen lähes aina sähköä. Nämä järjestelmät ovat yleensä ohjattu käynnistymään joko ajallisesti tai veden lämpötilan mukaan. Tätä ohjausta tulisi muuttaa niin, että järjestelmä lämmittää varaajan myös aina kun aurinkosähköä tuotetaan riittävästi. Opinnäytetyön kohteissa ei voitu käsitellä kunnolla energiavaraajan mukaan mitoittamista, sillä rakennusten energiavaraajien kokoja ei tiedetty. Lämminvesivarastojen oletettiin riittävän kattamaan lämpimän käyttöveden määrä.

2.1.1 Mitoitus lämpimän veden käytön mukaan

Mitoitus voidaan perustaa lämpimän veden kulutuksen mukaan. Tällöin selvitetään lämpimän käyttöveden kulutus ja lasketaan kuinka paljon tämä kuluttaa kyseisellä järjestelmällä sähköä. Tämä mitoitus tapa ei ole suositeltava kaukolämpökohteille tai muille järjestelmille, joissa lämmin käyttövesi tehdään vain sitä tarvittaessa. Muissa järjestelmissä, joissa lämmin vesi tehdään varastoon, tämä mitoitus on toimiva ratkaisu. Mitoitustapaa varten tulisi myös selvittää lämmitysjärjestelmän lämpövaraajan koko sekä riittävyys päivän tarpeisiin, jotta saadaan selville, kuinka monta kertaa varaaja tulee ladata päivässä.

3.1.1 Mitoitus vuorokausitasolla

Vuorokausitasolla mitoittaminen antaa mahdollisuuden tarkempaan mitoittamiseen kuin kuukausitaso. Vuorokauden tuotantoa ja kulutusta tarkastellessa nähdään miten kulutus ja tuotto kohtaavat, kuten työn tarkastelussa huomattiin. Näin on helpompi mitoittaa järjestelmä niin, ettei se tuota enempää sähköä kuin mitä käytetään, ja tehdä tarvittavia muutoksia kulutustottumuksiin. Pidempien aikavälien mitoittamisessa tarkastellaan lähinnä tuoton ja kulutuksen määrää tietyllä aikavälillä, mutta tällöin ei pystytä huomioimaan onko aurinkosähkön tuottohetkellä oikeasti tarvetta energialle. Vuorokausitasolla mitoittaminen vaatii kuitenkin pidemmän aikavälin kulutustiedot, joista tehdään keskimääräinen kulutustieto vuorokaudelle. Muutoin on vaarana, että tarkasteluun valikoituu päivä, jolloin kulutus poikkeaa normaalista ja mitoitus ei vastaa normaalia kulutusta. Mitoitukseen tarvitaan myös auringon säteilymäärät vuorokauden aikana halutulla alueella.

Itse mitoittamien ei poikkea paljoa normaalista kuukausitason mitoituksesta. Työssä käytetyssä laskennassa ei muutettu kuin vuoden kokonaissäteilymäärä vuorokauden säteilymääräksi, joka jyvitettiin tunnittaiseksi käyttäen hankittuja vuorokauden säteilytietoja.

Vuorokauden tasolla tehtävää tarkastelua kannattaisi käyttää pidemmän aikavälin tarkastelun rinnalla. Tällöin lyhyellä tarkastelulla voitaisiin hakea muutoksia kulutustottumuksiin ja sähköä kuluttavien laitteiden ajastuksiin ja pidemmän välin tarkastelulla hakea suuruusluokka laitteistolle. Lyhyen välin tarkastelulla nähdään myös, mikäli aiotun laitteiston tuotto on liian suuri tai pieni. Näin aurinkosähkölaitteisto saadaan vastaamaan kulutusta sekä kulutus ja tuottomäärien, että niiden ajankohtain suhteen.

4.1.1 Olemassa olevan kulutuksen siirtäminen

Koska aurinkosähkön tuoton ajankohtaa ei voida siirtää, on järkevää siirtää kulutusta aurinkosähkön tuoton ajalle, jotta tuotettu sähkö saadaan käytettyä itse ja mahdollisesti välttyään uusien energiavarastojen hankinnalta. Näin aurinkosähkölaitteiston hyötyä saadaan nostettua ja kustannuksia pienennettyä. Kulutuksen siirto tarkoittaa

yksinkertaisimmillaan kuluttajan oman käyttäytymisen muuttamista ja kodinkoneiden sekä lämmitysjärjestelmän sisäisten ajastimien käyttöä. Tämä on kuluttajan kannalta edullisin ratkaisu.

Monipuolisin ratkaisu laitteiden ajastukseen olisi rakennuksen sisäinen HEMS-järjestelmä, johon syötetään tieto aurinkosähkön tuotannosta. Järjestelmä ohjaisi kodin sähkölaitteita käymään tuotannon mukaan. Tällaisia järjestelmiä on kuitenkin käytössä vain uusissa ja hyvin varustelluissa rakennuksissa, eivätkä ne vielä ole kovin yleisiä. Tulevaisuudessa HEMS-järjestelmät tulevat todennäköisesti yleistymään älykkäiden sähköverkkojen ja kysyntäjoustopon sekä IOT:tä hyödyntävien kodinkoneiden kanssa.

Kodin aurinkosähkölaitteisiin on usein järjestelmän tarjoajalla erilaisia ohjelmia, joilla järjestelmän tuottoa voidaan seurata esimerkiksi mobiililaitteilla. Näiden ohjelmien rinnalle lisättäisiin ohjausyksikkö, jolla ohjataan kodin lämmityslaitteiden käyntiä tai taataan käyttäjälle mahdollisuus ohjata kodin laitteita verkkokäyttöliittymän avulla. Tämä järjestelmä vaatii, että laitteessa, jota halutaan ohjata, on jonkinlainen mahdollisuus ohjaukselle. Hyvin usein lämmitysratkaisuissa on mahdollisuus ohjauksille, joilla niitä ohjataan toimimaan esimerkiksi yösähköllä. Tämän ohjausmahdollisuuden avulla laite liitetään aurinkosähkön yksikköön.

5.1.1 Älykkäät sähköverkot

Älykkäiden sähköverkkojen vision mukaan yhteisien energiavarojen ja kysyntäjoustopon yleistyessä oman aurinkosähkölaitteiden mitoitus voi muuttua monella tavalla. Koko kulutuksen kattava mitoittaminen voi olla kannattava vaihtoehto, kun tuotettu energia saadaan helposti talteen myöhempää käyttöä varten yhteiseen varastoon. Kysyntäjoustopon mukanaan tuomat muutokset sähkön ostoon ja myyntiin voivat muuttaa oman ylituotannon kannattavuutta. Myös aurinkosähkön tuet ja tariffit voivat muuttua, mikä vaikuttaa järjestelmien kannattavuuteen ja voi saada aikaan monenlaisia muutoksia mitoituksen kannattavuuksiin. Älykkäiden verkkojen mukana aurinkosähkölle saattaa myös tulla uusia toimintamalleja, kuten esimerkiksi oman katopinta-alan vuokraaminen sähköyhtiölle aurinkopaneeliasennusta varten. Myös tekniikan muutokset järjestelmissä tuovat omat vaikutuksensa. Näitä tulevia muutoksia

voidaan vain spekuloida ennen kuin tiedetään tarkempaa suuntaa tuleville verkkojärjestelmille.

8 Pohdinta

8.1 Tavoitteet ja tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä keinoja aurinkosähköjärjestelmien optimointiin tarkastelemalla järjestelmien mitoitus- ja aurinkosähkön käyttöä, ja optimoimalla niitä. Ennen tarkastelua perehdyttiin aurinkosähköön ja aurinkosähköjärjestelmiin, älykkäisiin sähköverkkoihin, järjestelmien mitoitukseen, energian varastointiin, sähkön myyntiin, paneelien asennukseen ja kulutukseen vaikuttaviin tekijöihin. Tarkastelua varten kohteille laskettiin kesäkuukausien keskiarvolliset päiväkulutukset ja aurinkosähkön tuotto tuntitasolla.

Tarkastelu suoritettiin vertailemalla kolmen erilaisella lämmitysratkaisulla olevan omakotitalon sähkönkulutusta kesäkuukausina ja laskettua mahdollista aurinkosähkön tuottoa erilaisilla mitoitus- ja optimointimenetelmillä.

Tuloksina saatiin jokaiselle lämmitysmuodolle optimoidut kulutukset ja nykyisistä menetelmistä poikkeavat mitoitus- ja aurinkosähkön tuotto. Kohteiden tarkastelun johdosta syntyi ehdotuksia uusille aurinkosähkön mitoitusmenetelmille, sekä keinoja, joilla kulutusta ja tuottoa voidaan optimoida. Työn tuloksista saatiin myös esimerkki siitä, miksi aurinkosähköjärjestelmien tuottoa ja talouksien sähkön kulutusta tulisi tarkastella tuntitasolla, mikäli tuotetusta aurinkosähköstä halutaan saada mahdollisimman suuri hyöty, ja siitä miksi energiavarastot ovat tärkeässä osassa tässä. Työssä myös pohdittiin älykkäiden sähköverkkojen tuomia vaikutuksia aurinkosähköön.

8.2 Rajoitukset ja hyödyntäminen

Älykkäiden verkkojen käyttö ja hyödyt kohteissa jäi työssä pohdinnan tasolle, sillä älykkäitä verkkoja tai niihin liittyviä laitteistoja ei kohteissa ollut. Tämän lisäksi älyverkkojen tuomia vaikutuksia ja toimintamalleja voidaan vielä vain spekuloida ennen kuin järjestelmät alkavat yleistymään. Älykkäiden verkkojen tarkempi tutkiminen on yksi työn jatkokehittämisideoista.

Kuten tuloksista huomattiin, aurinkosähköä voidaan hyödyntää talouksissa tehokkaasti, mutta todellisuudessa sähköä käyttävien laitteiden sähkön tarve on usein vain hetkellistä. Todellisuudessa kotitalouksien sähkön käyttö koostuu useista pienistä ja isoista kulutuspiikeistä, joita sähkölaitteet aiheuttavat. Piikit eivät varsinaisesti näy erikseen työssä käytettävissä sähkön kulutustiedoissa, koska tiedot ovat tunnin välein. Sähkön todellinen kulutus tuntitasoakin tarkemmin tarkasteltuna saattaa olla hetkittäin tasaisempaa ja sisältää pieniä hyvin jyrkkiä kulutuspiikkejä. Tällaisten hetkellisten kulutuspiikkien takia hyvinkin mitoitettu ja optimoitu aurinkosähköjärjestelmä todellisuudessa joko tarvitsee ostosähköä tai tuottaa ylijäämäsähköä. Tarkempi kulutuksen seuranta on myös yksi tarkempaa tutkimista vaativa aihe.

Aurinkosähkön tuotanto on todellisuudessa hyvinkin vaihtelevaa myös kesäkaudella. Aurinko paistaa kesällä Suomessa keskimäärin eniten, mutta kesäaikana aurinko ei paista aina. Tälle auringon paisteen vaihtelulle ei voida mitään, mutta tehokkaalla energian varastoinnilla näitä auringottomia hetkiä voitaisiin kompensoida. Valitettavasti sähköenergian varastointitekniikat eivät vielä ole tarpeeksi kehittyneitä tekniikaltaan tai hinnaltaan, jotta niitä voitaisiin kannattavasti käyttää kattamaan omakotitalojen sähkön käyttöä pitkällä aikavälillä.

Opinnäytetyössä tutkittiin kolmea omakotitaloa ja niiden kulutuksia kesäaikana, jolloin aurinkosähkön tuotto on Suomessa korkeimmillaan. Sähkön tarve on yleensä keväisin ja syksyisin kesäkautta suurempaa muun muassa suuremman lämmitystarpeen vuoksi, mutta tällöin tarjolla oleva aurinkosähköpotentiaali ei ole aivan yhtä suuri kuin kesällä. Työn tuloksia voidaan soveltaa myös kevät- ja syyskaudelle, mutta näille vuodenajoille voitaisiin tehdä myös omat tarkastelunsa.

Kolmen kohteen tarkastelua voidaan pitää myös varsin pienenä otoksena kotitalouksien kulutuksen tarkasteluun. Käytännössä jokaisen omakotitalon sähkökäyttöprofiili on erilainen, vaikka lämmitysjärjestelmä olisikin sama. Aurinkosähköä mitoitettaessa jokaista kohdetta tulee käsitellä omana tapauksenaan ja tämän opinnäytetyö antaa siihen mallin.

Lähteet

A148/200/2013. Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus. Annettu 17.9.2014. Viitattu 17.10.2017. https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/48484/kotitalouden_sahkontuotannon_tuloverotu/.

Ahtela, J. Hirsomäki, K. & Pihlgren, P. N.d. Toimintaperiaate. Verkkojulkaisu akun toiminnasta Netlab verkkosivuilla. Viitattu 16.11.2017. <https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>.

Akkujen kapasiteetin laskenta. N.d. Verkkojulkaisu akkujen kapasiteetinlaskemiseen Sunlux.fi sivuilta. Viitattu 8.5.2018. <http://www.sunlux.fi/text/Akkuteho.pdf>.

Alanen, R. Heimonen, I. Hänninen, S. Lahti, P. Pihala, H. & Sipilä, K. 2011. Aurinkosähkön mahdollisuudet Helsingin Östersundholmin alueella. VTT:n tutkimusraportti. Viitattu 12.10.2017. https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2011-12.pdf.

Auringosta sähköä. 2017. Artikkelit Motiva Oy:n verkkosivuilta. Viitattu 1.7.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_p_ erusteet/auringosta_sahkoa.

Aurinkoenergia. 2010. Aurinkoenergian ABC-opas. Verkkojulkaisu Sunteknon verkkosivuilla. Viitattu 24.7.2017. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>.

Aurinkoenergian tulevaisuus. 2017. Artikkelit Vattenfall Oy:n sivuilta. Viitattu 1.7.2017. <https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammontuotanto/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tulevaisuus/>.

Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus. N.d. Verkkojulkaisu Ahjo Energian verkkosivuilla. Viitattu 14.10.2017. <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/sijoitus-ja-asennus>.

Aurinkopaneelin toimintaperiaate. 2010. Verkkojulkaisu Sunteknon verkkosivuilla. Viitattu 2.7.2017. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>.

Aurinkosähkö. N.d. Verkkojulkaisu Energiategollisuuden sivuilla. Viitattu 24.7.2017. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima.

Aurinkosähköt teknologiat. 2017. Artikkelit Motiva Oy:n verkkosivuilta. Viitattu 1.7.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat.

Auvinen, K. & Jalas, M. 2017. Aurinkosähkölaitteiden hintatasot ja kannattavuus. Artikkelit Finsolarin verkkosivuilla. Viitattu 5.10.2017. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>.

- Concorde SunXtender AGM-akut. N.d. Tuotetietoja akusta Repts.fi sivustolla. Viitattu 3.4.2018. <http://www.reps.fi/fi/main-prod-concorde-fi.htm>.
- Energiavaraaja Jäspi GTV hybrid500. N.d. Verkkokaupan tuote-esittely. Viitattu 16.11.2017. <https://www.lvi-tarvikkeet.net/Energiavaraaja-Jaespi-GTV-Hybrid-500>.
- Hajautettua sähkön pientuotantoa. N.d. Verkkojulkaisu Energiateollisuuden sivuilla. Viitattu 25.10.2017. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto.
- Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja -sähkön energiatuoton laskennan opas. VTT. Viitattu 5.10.2017. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe/Ima/Energiatehokkuus.
- Huld, T. & Pinedo-Pascua, I. 2012. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. European Union. Viitattu 30.4.2018. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_publication.png.
- Järjestelmän sijoitus, suuntaus ja mitoitus. N.d. Artikkelin Aurinkosähkökotiin.fi sivustolta. Viitattu 14.10.2017. <http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/miten/huomioitavaa/>.
- Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai progradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu
- Kumpulainen, L. Rinta-Luoma, J. Voima, S. Kauhaniemi, K. Sirviö, K. Koivisto-Rasmussen, R. Valkama, A-K. Honkapuro, S. Partanen, J. Lassila, J. Kaipia, T. Haakana, J. Annala, S. Järventausta, P. Valkealahti, S. Repo, S. Verho, P. Suntio, T. Rautiainen, A. Nikander, A. Pakonen, P. 2015. Roadmap 2025. Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & 2025. Verkkojulkaisu Vaasanseudun verkkosivuilla. Viitattu 1.9.2017. <http://vaasanseutu.fi/app/uploads/sites/7/2015/02/Loppuraportti.pdf>.
- Käyttöveden kulutuksen säätely. N.d. Verkkojulkaisu Eneopt.fi sivustolla. Viitattu 3.4.2018. <http://www.eneopt.fi/vinkit/kaytto-ja-yllapito/k%C3%A4ytt%C3%B6veden-kulutus/>.
- L 30.12.1996/1260. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta. Annettu 19.12.1997. Viim. muutos 25.8.2017. Viitattu 17.10.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260#P7>.
- L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki. Annettu 9.8.2013. Viim. muutos 1.9.2017. Viitattu 15.10.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>.
- Laitinen, A. Ruska, M. & Koreneff, G. 2011. Impacts of large penetration of heat pumps on the electricity use. VTT:n tutkimusraportti. Viitattu 4.4.2018. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/maat/2011/VTT-R-03174-11.pdf>.
- Laitio, M. 2017. Maankäyttö- ja rakennuslain muutokset 1.5.2017. Ympäristöministeriön Powerpoint-diat. Viitattu 15.10.2017. https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/21124509/Laitio_Varkaus30052017/82a99198-6e9a-400b-8a7a-a8d6e4fb031c.

Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2017. Artikkelin lämpimästä käyttövedestä Motivan sivuilla. Viitattu 8.5.2018.

https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi.

Lead Acid Battery. N.d. Artikkelin Circuitglobe verkkosivuilla. Viitattu 12.10.2017.

<https://circuitglobe.com/lead-acid-battery.html>.

Lupa-asiat. 2017. Artikkelin aurinkosähkön lupa-asioista Motivan verkkosivuilla. Viitattu 15.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat.

Minkkinen, R. 2017. Pientuotannon liittäminen Elenian verkkoon. Elenia Oy:n Powerpoint-diat. Viitattu 16.10.2017.

<https://www.jamk.fi/globalassets/tapahtumakalenteri--events/teknologian-tapahtumat/aurinkosahkojarjestelmat-5.10.2017/pientuotannon-liittaminen-elenian-verkkoon.pdf>.

Mitoitusmenetelmiä. 2016. Artikkelin Motivan verkkosivuilla. Viitattu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia.

Mäkinen, J. 2017. Aurinkosähkö osana energiamurrosta. PV-voimalan suunnittelijan opas. ABB.

Newkirk, M. 2014. How Solar Power Works, On-Grid, Off-Grid And Hybrid. Verkkajulkaisu Cleanenergyreviewsin verkkosivuilla. Viitattu 1.8.2017.

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>.

Nollaenergiamitoitus. 2016. Artikkelin Motivan verkkosivuilla. Viitattu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/nollaenergiamitoitus.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer/Karisto.

Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. 2016. Artikkelin Motivan verkkosivuilla. Viitattu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus.

Sähköenergian omavaraisuus. 2016. Artikkelin Motivan verkkosivuilla. Viitattu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/sahkoenergian_omavaraisuus.

Sähkön pientuotanto. 2017. Artikkelin Motiva Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 26.7.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto.

Sähkön hinta. N.d. Verkkajulkaisu Energiatieteiden sivuilla. Viitattu 17.10.2017.

<https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hinta>.

Sähkön hinta. N.d. Verkkajulkaisu Loiste.fi verkkosivuilla. Viitattu 10.11.2017.
<https://www.loiste.fi/sahkon-hinta>.

Sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti yli kolminkertaistui vuodessa. 2017. Uutinen Energiaviraston www-sivuilla 21.6.2017. Viitattu 26.7.2017
<https://www.energiavirasto.fi/-/sahkoverkkoon-kytketty-aurinkosahkokapasiteetti-yli-kolminkertaistui-vuodessa>.

Sähköä kannattaa käyttää joustavasti. N.d. Verkkajulkaisu Energiateollisuuden sivuilta. Viitattu 2.9.2017. <https://energia.fi/perustietoa/energia-alasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kysyntajousto>.

Varaajat. N.d. Verkkajulkaisu Kaukoenergia.fi sivustolla. Viitattu 16.11.2017.
<http://www.kaukoenergia.fi/varaajat>.

Virtanen, S. 2017. Suomen suurin aurinkoseinä ylitti tuotto-odotukset – alkuvuoden tuotto yli 100 % parempi kuin vastaavassa kattoasennuksessa. Tekniikka & Talous 4.9.2017. Viitattu 15.10.2017.
<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/suomen-suurin-aurinkoseina-ylitti-tuotto-odotukset-alkuvuoden-tuotto-yli-100-parempi-kuin-vastaavassa-kattoasennuksessa-6673621>.

Älykäs sähköverkko on energian internet. 2015. ABB:n verkkajulkaisu. Viitattu 1.9.2017.
https://library.e.abb.com/public/08e1c4dbe70dc30cc1257dd500293bd5/Smart%20Grids_2015.pdf?filename=Smart%20Grids_2015.pdf.

Liitteet

Liite 1. Kohteiden kesäkuukausien keskiarvolliset kulutukset tunneittain

Kello	Kohde 1 Maalämpö		
	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
	kWh	kWh	kWh
0:00	0,98	1,22	1,28
1:00	0,77	1,11	0,87
2:00	0,70	0,72	0,68
3:00	0,66	0,56	0,66
4:00	0,70	0,61	0,66
5:00	0,73	0,58	0,66
6:00	0,78	0,75	0,81
7:00	1,06	1,19	1,05
8:00	0,80	0,69	0,69
9:00	0,67	0,65	0,84
10:00	0,71	0,82	0,86
11:00	0,74	1,01	1,01
12:00	1,02	1,24	1,02
13:00	1,02	1,45	1,04
14:00	1,13	1,62	1,15
15:00	1,19	1,09	1,09
16:00	1,19	1,24	1,29
17:00	1,15	1,32	1,51
18:00	1,33	1,43	1,53
19:00	1,58	1,33	1,77
20:00	1,31	1,32	1,94
21:00	1,51	1,45	2,05
22:00	1,41	1,80	2,05

Kello	Kohde 2 Suora sähkö		
	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
	kWh	kWh	kWh
0:00	3,41	2,53	3,50
1:00	2,47	1,62	2,41
2:00	1,43	0,91	1,56
3:00	0,83	0,85	1,13
4:00	0,76	1,03	1,00
5:00	0,78	0,97	1,02
6:00	1,18	0,93	1,07
7:00	0,92	0,98	1,07
8:00	1,10	1,25	1,17
9:00	1,16	1,45	1,15
10:00	1,42	1,28	1,05
11:00	1,55	1,11	1,03
12:00	1,45	1,72	1,10
13:00	1,53	1,39	1,11
14:00	1,31	1,18	1,13
15:00	1,47	1,15	1,18
16:00	1,42	1,07	1,35
17:00	1,20	1,32	1,42
18:00	1,48	1,51	1,44
19:00	2,69	1,08	1,95
20:00	2,45	2,00	2,33
21:00	1,95	1,97	2,10
22:00	3,28	2,46	3,27

Kello	Kohde 3 Kaukolämpö		
	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
	kWh	kWh	kWh
0:00	0,51	0,68	0,60
1:00	0,49	0,48	0,57
2:00	0,43	0,43	0,58
3:00	0,40	0,43	0,56
4:00	0,40	0,42	0,55
5:00	0,40	0,43	0,56
6:00	0,48	0,47	0,71
7:00	0,86	0,75	1,18
8:00	0,66	0,89	1,07
9:00	0,72	0,92	1,03
10:00	0,73	1,11	0,97
11:00	0,67	0,87	0,93
12:00	0,75	0,78	0,85
13:00	0,63	0,87	1,00
14:00	0,55	0,75	1,04
15:00	0,62	0,81	1,04
16:00	1,04	1,14	1,48
17:00	1,15	0,98	1,49
18:00	1,46	1,13	1,22
19:00	1,07	0,92	1,23
20:00	0,81	0,82	1,22
21:00	0,92	0,84	1,23
22:00	1,08	1,06	1,19

23:00	1,30	1,73	1,81
Yht	24,40	26,92	28,33

23:00	4,05	2,97	4,23
Yht	41,29	34,75	39,76

23:00	0,77	0,96	0,70
Yht	17,59	18,93	23,02

Liite 2. Aurinkosähkön tuoton laskenta ja esimerkki (Heimonen, 2011, 20-23)

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla (11)

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (11)$$

jossa

E_{sol} on vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [$\text{kWh}/\text{m}^2, \text{a}$]

P_{maks} aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref}=1 \text{ kW}/\text{m}^2$, referenssilämpötilassa $25 \text{ }^\circ\text{C}$) [kW]

$F_{käyttö}$ käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]

I_{ref} referenssisäteilytilanne [$1 \text{ kW}/\text{m}^2$]

Kennostoon kohdistuva auringonsäteilyn energia vuoden aikana lasketaan kaavalla (12)

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot F_{asento} \quad (12)$$

jossa

$E_{sol,hor}$ on rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa [$\text{kWh}/\text{m}^2, \text{a}$]. Taulukosta 3.

20

F_{asento} aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-].

Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F_{asento} lasketaan kaavalla (14)

$$F_{\text{asento}} = F_1 F_2 \quad (14)$$

jossa F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin
 F_2 on kallistuksen mukainen kerroin

Taulukko 8. F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin (-).

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 9. F_2 on kallistuksen mukainen kerroin (-)

Kallistus- Kulma	Kerroin
$<30^\circ$	1
$30^\circ \dots 70^\circ$	1,2
$>70^\circ$	1

Aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho P_{max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN 61829. Mikäli testattua tulosta ei ole käytettävissä, lasketaan P_{max} kaavasta (13).

$$P_{\text{max}} = K_{\text{max}} \cdot A \quad (13)$$

jossa K_{max} on huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä [kW/m^2]. Taulukosta 10.
 A aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä)

Taulukko 10. Huipputehokerroin K_{max} , joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (kW/m^2).

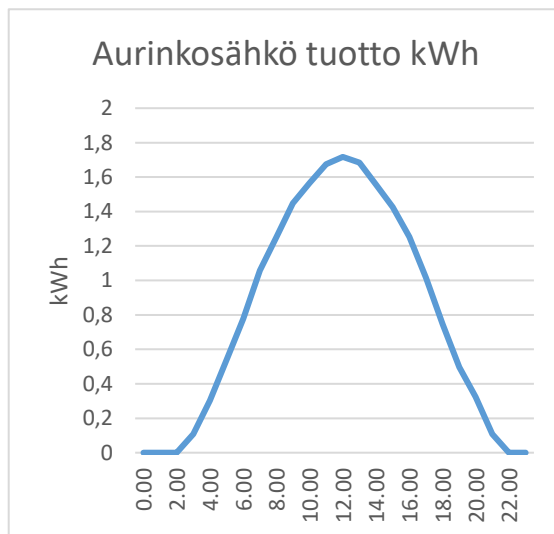
Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{max} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe_2 kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys $>80\%$	

Taulukko 11. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ [-]

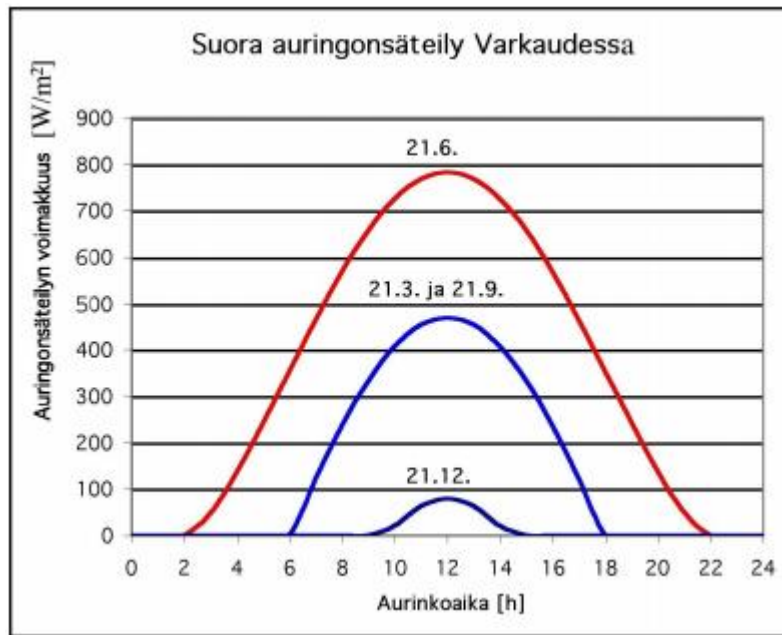
Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ [-]
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuulettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuulettu moduli	0,80

E _{sol,hor}	8,82	kWh/m ² /d
F _{asento}	1,2	
F ₁	1	
F ₂	1,2	
K _{max}	0,12	kW/m ²
A Muuttuja	20	m ²
F _{käyttö}	0,75	
I _{ref}	1	kW/m ²
E _{sol}	10,584	kWh/m ² /d
P _{max}	2,4	kW
E _{s,pv,out}	19,0512	kWh/d

klo	kWh
0:00	0
1:00	0
2:00	0
3:00	0,108
4:00	0,3024
5:00	0,54
6:00	0,7776
7:00	1,0584
8:00	1,2528
9:00	1,4472
10:00	1,566
11:00	1,674
12:00	1,7172
13:00	1,6848
14:00	1,5552
15:00	1,4256
16:00	1,2528
17:00	1,0152
18:00	0,7452
19:00	0,4968
20:00	0,324
21:00	0,108
22:00	0
23:00	0
Yht. kWh	19,0512



Liite 3. Auringon säteily määrä vaakatasolle sekä kuviosta otetut arvot.



Klo	W/m2	%
0:00	0	0,00
1:00	0	0,00
2:00	0	0,00
3:00	50	0,57
4:00	140	1,59
5:00	250	2,83
6:00	360	4,08
7:00	490	5,56
8:00	580	6,58
9:00	670	7,60
10:00	725	8,22
11:00	775	8,79
12:00	795	9,01
13:00	780	8,84
14:00	720	8,16
15:00	660	7,48
16:00	580	6,58
17:00	470	5,33
18:00	345	3,91
19:00	230	2,61
20:00	150	1,70
21:00	50	0,57
22:00	0	0,00
23:00	0	0,00
yht	8820	100,00