



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

INTEGROIDUT AURINKO- PANEELIT JA TUOTANNON OPTIMOINTI AUTOMATII- KALLA

TEKIJÄ:

Jaakko Purmonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Jaakko Purmonen	
Työn nimi Integroidut aurinkopaneelit ja tuotannon optimointi automatiikalla	
Päiväys 10.04.2021	Sivumäärä/Liitteet 31
Toimeksiantaja Sähköasennus Sähkömestarit Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena olivat integroituihin aurinkopaneeliin tutustuminen ja niiden tuotannon optimoinnin hyödyntäminen kustannustehokkain ratkaisuin. Työssä perehdyttiin yhden valmistajan integroituu aurinkopaneeliin, joka on yrityksen kannalta tällä hetkellä kilpailukykyisin vaihtoehto, niin suorituskyvyn kuin ominaisuuksien puolesta. Tuotannon optimoinnin osalta tutustutaan erilaisiin tapoihin, joilla tuotettu aurinkosähkö saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti kiinteistön omaan käyttöön. Tällä mahdollistetaan aurinkopaneelijärjestelmän investointikustannuksien mahdollisimman nopea takaisinmaksuaika.</p> <p>Työ on suoritettu yritystoimintalähtöisesti, joka mahdollistaa työn sisällön hyödyntämisen yrityksen toiminnassa niin tarjouslaskijalle, asentajille, kuin myös asiakkaalle. Työllä pyritään selkeyttämään erilaisten optimointikeinojen hyödyllisyyttä ja toimintaa niin asiakkaan kuin yrityksen kannalta. Lisäksi työ antaa erilaisia optimointivaihtoehtoja erilaisiin kohteisiin ja mahdollisuuksia asiakkaiden toiveiden huomioon ottamiselle.</p> <p>Olenaisena osana oli perehtyä valitun integroidun aurinkopaneelijärjestelmän kustannuksiin kuvitteellisessa kohteessa ja kuinka lyhyeksi investoinnin takaisinmaksuaika on mahdollista saada hyödyntämällä kohteeseen parhaiten sopivia kulutuksen optimointikeinoja. Lisäksi järjestelmän kustannuksia verrataan samankokoiseen perinteisillä aurinkopaneeleilla toteutetun järjestelmän kustannuksiin.</p> <p>Integroidut aurinkopaneelit tulevat kuulumaan tulevaisuuden keinoihin, joilla päästään lähemmäksi asetettuja ilmastotavoitteita, parempaa omavaraisuusastetta sähkönkulutuksessa ja energian tuotannon tarpeen kasvattamisen pienentämistä kasvavasta energiankulutuksesta huolimatta. Lisäksi integroidut aurinkopaneelit hyödyntävät tehokkaasti kiinteistön kattopinta-alan ja on erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto uudelle perinteiselle katolle saneeraus sekä uudiskohteissa.</p>	
Avainsanat Integroidut aurinkopaneelit, aurinkosähkö, tuotannon optimointi	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Jaakko Purmonen	
Title of Thesis Integrated Solar Panels and Optimization of Production with Automation	
Date 10 April 2021	Pages/Appendices 31
Client Organisation Sähköasennus Sähkömestarit Oy	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to study the integrated solar panel which was chosen to be the best option for the commissioning organisation. In specific, it was necessary to research the special requirements which must be considered while using the integrated solar panel system. In addition, the thesis included different methods of optimizing the production of the photovoltaic systems. The purpose of the optimization was to decrease the repayment time of the photovoltaic system.</p> <p>The technical specification of the chosen integrated solar panel system and different optimization equipment for specific use to gain the best outcome of the optimization was studied and is presented in this thesis report. Repayment time of the different optimization equipment was estimated in the review of optimal conditions. After the presentation of the solar panel system, the cost of the system was demonstrated with an example building.</p> <p>As a result of this thesis, it was shown that the price of the integrated solar panel system is in reasonable level compared to a traditional solar panel system which is combined with the replacement of the old rooftop. In conclusion, with the usage of the right optimization equipment it is also possible to decrease the repayment time of the investment in the integrated solar panel system.</p>	
Keywords Integrated solar panel system, photovoltaic system, optimization of production	

ESIPUHE

Haluan esittää erityiskiitokset opinnäytetyöstä Sähköasennus Sähkömestarit Oy:lle ja varsinkin yrityksen työn ohjaajalle Joonas Niemeläiselle mietiskelytuokioista, joita kerkesi opinnäytetyön valmistumiseen menevässä ajassa olemaan useita. Lisäksi kiitän erittäin mielenkiintoisesta ja teknologian kehityksen kärjessä olevasta aiheesta, josta on toivottavasti hyötyä yrityksen sisäisenä selvityksenä, kuin myös aiheeseen perehtyville henkilöille.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖASENNUS SÄHKÖMESTARIT OY.....	8
3	AURINKOENERGIA.....	9
3.1	Aurinkoenergia Suomessa.....	9
3.2	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	10
3.3	Aurinkopaneelijärjestelmä.....	11
4	INTEGROIDUT AURINKOPANEELIT	13
4.1	Erilaiset markkinoilla olevat vaihtoehdot	13
4.2	Integroidut aurinkopaneelit	13
4.3	Asentaminen	14
4.4	Sateen kestävä kattorakenne.....	16
4.5	Vesitiivis katonrakenne.....	16
5	TUOTANNON TEHOKAS OPTIMOINTI.....	18
5.1	Sähköhinnan muodostuminen ja sen vaikutus optimointiin.....	18
5.2	Kulutuksen optimointi yleisesti	19
5.3	Optimointivaihtoehdot.....	19
5.3.1	Lämmivesivaraajan ohjaus kellokytkimellä	19
5.3.2	Invertterin ohjauslähden käyttäminen	21
5.3.3	Nibe aurinkosähkömoduuli EME 20.....	22
5.3.4	Fronius Ohmpilot.....	23
5.3.5	Akusto.....	25
5.3.6	Ilmalämpöpumppu	25
6	ESIMERKKIKOhteet	27
6.1	Esimerkkikohde.....	27
6.2	Omakotitalo uudisrakennus	28
6.3	Saneerauskohteet (peltikatto, tiilikatto, huopakatto).....	28
6.4	Jälkiasennetut aurinkopaneelit	29
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
8	LÄHTEET	32

KUVALUETTELO

KUVA 1. Photovoltaic geographical information system PVGIS-aurinkosähkölaskuri. (European Commission, 2019)	10
KUVA 2. aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno, 2010).....	11
KUVA 3. Solitek Solrif integroitu aurinkopaneelijärjestelmä. (Solitek, 2020).....	13
KUVA 4. Solistek Solrif tuotto takuu. (Solitek, 2020).....	14
KUVA 5. Solitek SOLID Solrif, integroitut aurinkopaneelit kattorakenne. (Schweizer, 2019).....	15
KUVA 6. Sateen kestävä katon alusrakenne. (Ernst Schweizer AG, Metallbau, 2013).....	16
KUVA 7. Vesitiivis katon alusrakenne. (Ernst Schweizer AG, Metallbau, 2013).....	17
KUVA 8. Sähkön hinnan muodostuminen. (Loiste Sähkönmyynti Oy, 2020).....	18
KUVA 9. Kostal kulutuksen ohjauksen liitäntä. (Kostal, 2020).....	21
KUVA 10. Periaatekaavio aurinkosähkömoduulin EME20 kytkennästä. (Nibe Energy Systems, 2020).....	23
Kuva 12. Fronius Ohmpilot esimerkkikytkentä 9 kW. (Fronius, 2019).....	24

1 JOHDANTO

Aurinkopaneelien määrä kiinteistöissä on kasvanut vuosittain merkittäväällä nopeudella niiden hinnan laskun ja tekniikan kehittymisen vuoksi. Aurinkopaneelit voidaan todeta olevan tänä päivänä jo kannattava sijoitus oletusarvolla, että sijoitus maksaa itsensä takaisin ennen järjestelmän käyttöönsä saattamista. Lisäksi aurinkopaneelien kannattavuus vain kasvaa sähkön hinnan ja verkkopalvelumaksujen kehityksen myötä. Aurinkopaneelien yleistymisen mahdollistaa aurinkopaneelien ja niihin liittyvien järjestelmien jatkuvan kehittymisen ja uusien tuotteiden markkinoille tuleminen.

Työssä tutustutaan Solitek Solrif SOLID integroituun aurinkopaneeliin, sen käytettävyyteen erilaisissa kohteissa ja asennuksessa huomioon otettaviin asioihin. Integroidun aurinkopaneelin vahvuus verrattuna perinteiseen aurinkopaneeliin on se, että sillä voidaan korvata rakennuksen vesikatto kokonaan. Täten katon pinta-alaa voidaan hyödyntää erittäin tehokkaasti, eikä katolle tarvitse tehdä erilisiä telineitä perinteisiä aurinkopaneeleita varten, jolloin pienennetään rakennuksen kattoon kohdistuvaa kuormaa, poistetaan tarve vesikaton läpäiseville kiinnityksille, sekä saadaan samalla uusittua vesikatto vähintään seuraavaksi 30 vuodeksi. Näiden seikkojen vuoksi integroidut aurinkopaneelit ovat erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto perinteiselle katon saneeraukselle, kuin myös uudiskohteille, jos kiinteistö on sijainniltaan sopiva aurinkosähkön tuottoon.

Työssä perehdytään ensin aurinkosähkön tuoton periaatteeseen ja sijainnin vaikutukseen aurinkosähkön tuotossa. Tätä seuraa tutustuminen yrityksen valitseman integroidun aurinkopaneelin ominaisuuksiin ja asennettavuuteen.

Aurinkosähkön tuotannon optimointi osiossa tutustutaan erilaisiin optimointikeinoihin: kuinka mahdollisimman suuri osa tuotetusta aurinkosähköstä saadaan hyödynnettyä erilaisissa kiinteistöissä riippuen kiinteistön lämmitysmuodosta, sekä vaihtoehtoisin tapoihin mahdollistaen myös asiakkaan yksilöidyn tarpeen huomioon ottamisen, kuten mahdollisen sähköajoneuvon latausaseman käyttämisen osana optimointia.

Tuotannon optimoinnilla voidaan parantaa merkittävästi aurinkosähköjärjestelmän investoinnin takaisinmaksuaikaa oikein suunniteltuna ja toteutettuna. Arvioitu säästöpotentiaali erilaisilla optimointikeinoilla on arvioitu siten, että kohde on sopiva kyseisen järjestelmän käyttämiselle. Suurin osa työssä tutkituista optimointikeinoista on valittu täyttämään erityisesti pientalon tarpeet.

Lopussa verrataan integroidun aurinkopaneelijärjestelmän hyötyjä, haittoja ja kustannuksia perinteiseen aurinkopaneelijärjestelmään nähden, jossa on uusittu vesikatto aurinkopaneelijärjestelmän yhteydessä.

2 SÄHKÖASENNUS SÄHKÖMESTARIT OY

Työ on suoritettu tutkimus ja selvityspohjaisena yritykselle Sähköasennus Sähkömestarit Oy. Yrityksen kotipaikka on Kuopio ja yritys on perustettu vuonna 2015. Yritys on täyden palvelun sähköyritys, jonka palvelutarjontaan kuuluu muun muassa sähkösuunnittelu, sähköasennukset, kunnossapito ja huoltotyöt, ilmalämpöpumppujen asennus, energiasuunnittelu sekä aurinkosähköjärjestelmien asennukset. Lisäksi yritys harjoittaa sähkötarvikkeiden myyntiä ja sähkölaitteiden korjausta Kuopion keskustassa sijaitsevassa liikkeessä. Yritys palvelee yksityis- ja yritysasiakkaita. (Sähköasennus Sähkömestarit, 2021)

3 AURINKOENERGIA

3.1 Aurinkoenergia Suomessa

Maapallo kiertää aurinkoa ellipsin muotoista rataa pitkin. Maapallo on lähimpänä aurinkoa tammikuussa ja kaukaisimpana kesäkuussa. Maapallon pyörimisakseli on kallistunut $23,5^\circ$; kallistuman takia pohjoinen pallonpuolisko saa vähemmän auringon säteilyä vuodenvaihteessa, jolloin eteläisellä pallonpuoliskolla on kesä. (Suntekno, 2010)

Ilmakehän yläosiin tulee auringon säteilyä keskimäärin 1368 W/m^2 , jota kutsutaan aurinkovakioksi. Maan kiertoradan takia säteilyn määrä vaihtelee vuoden eri aikoina. Säteilyn määrä on suurimmillaan tammikuussa (1410 W/m^2) ja pienimmillään kesäkuussa (1320 W/m^2), joten säteilyn määrän vaihtelevuus on n. 3,3 %. Säteilyn määrä maanpinnalla on kirkkaalla säällä n. $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$, joka on laskennallisesti n. 60 % aurinkovakiosta. Maanpinnalle saapuvan säteilyn määrän pieneneminen johtuu ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta. Ilmakehän absorboiva luonne johtuu pääasiassa ilmakehässä olevasta vesihöyrystä (H_2O), hiilidioksidista (CO_2), sekä ilmakehän hapesta (O_2, O_3). (Suntekno, 2010)

Ilmatieteenlaitos on tilastoinut aurinkoenergiaa jo 30 vuoden ajan, joista on laskettu auringonpaisteille kuukausi- ja vuosikeskiarvot eri puolella Suomessa olevista mittauspisteistä. Suomessa auringonpaistetunnit vaihtelevat suuresti eri vuodenaikoina ja eri paikkakunnilla. (Suntekno, 2010)

Taulukossa 1 on esitetty vasemmanpuoleisella pystyrivillä kuukaudet alkaen tammikuusta joulukuuhun. Seuraavalla pystyrivillä on kuukausikeskiarvot auringonpaisteesta, joiden yksikkönä on megajoule neliömetrillä (MJ/m^2). keskiarvot on mitattu vuosien 1981–2010 aikana. Seuraavaksi esitetään suurin kyseisen kuukauden MJ/m^2 määrä ja vuosi, jolloin se on tilastoitu. Vastaavasti viimeisillä kahdella rivillä on pienin kyseisen kuukauden aikana tilastoitu MJ/m^2 määrä ja vuosi, milloin se on tilastoitu.

TAULUKKO 1. Auringon säteilyenergian määrä Siilinjärven Kuopion lentoasema. (Ilmatieteenlaitos, 2012)

Kuukaudet	Ka. Auringonpaiste mittausjaksolla (MJ/m^2)	Maks. ka. auringonpaiste (MJ/m^2)	Maks. arvon mittaus vuosi	Min. ka. Auringonpaiste (MJ/m^2)	Min. arvon mittaus vuosi
Tammikuu	28	50	1995	10	1986
Helmikuu	65	128	1994	21	2008
Maaliskuu	121	199	1998	39	1992
Huhtikuu	194	330	2004	106	1992
Toukokuu	254	362	1981	166	2007
Kesäkuu	258	351	1992	143	1987
Heinäkuu	271	385	2006	194	2007
Elokuu	203	339	1996	104	2008
Syyskuu	116	192	1999	56	1987
Lokakuu	57	117	1988	11	1984
Marraskuu	22	63	1988	3	1996
Joulukuu	12	34	2002	1	2008
	1601				

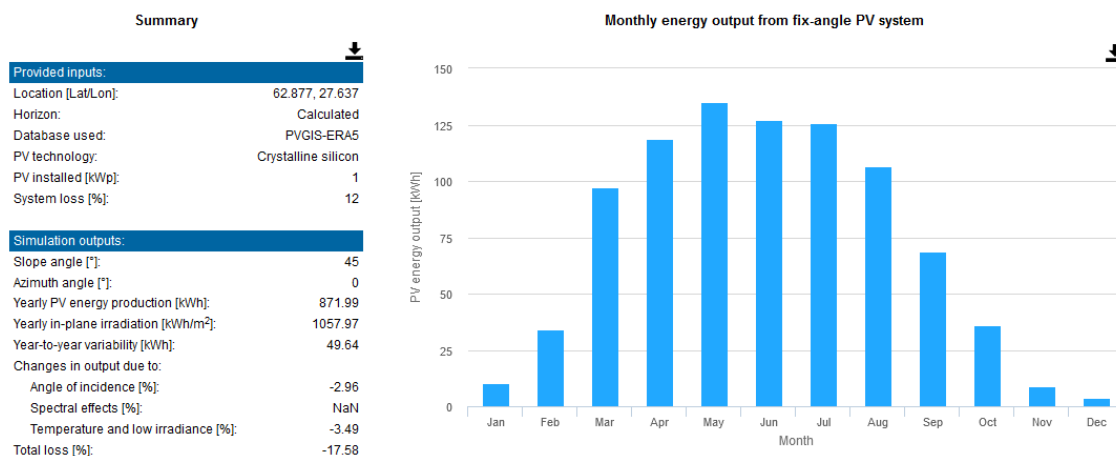
Taulukosta 1 voidaan havaita, että Siilinjärven Ilmatieteenlaitoksen mittausaseman mukaan alueella auringonsäteilyn energiamäärä neliometriä kohden toukokuun ja elokuun välillä on keskimäärin

986 MJ/m². Koko vuoden aikana auringonsäteilyenergiaa on saatavilla keskimäärin 1601 MJ/m² tilastoidulla ajanjaksolla. Tällöin toukokuun – elokuun aikana auringon energiasta on saatavilla koko vuoden säteilymäärästä noin 62 %.

Kuopiossa saatavilla olevan aurinkoenergian määrää voidaan nykyisin arvioida käyttämällä erilaisia aurinkoenergielaskureita. Seuraavaksi esitetään yksi yleisesti käytössä olevan aurinkosähkölaskuri (PVGIS), jolla voidaan ottaa huomioon kohteen tarkka sijainti, paneelin asennuskulma, järjestelmän häviöteho ja suuntaus ilmansuunnan mukaan.

Kuvassa 1 nähdään Euroopan komission ylläpitämän aurinkosähkön tuotantolaskurilla (PVGIS) saadut arvot, jos Kuopioon asennetaan 1 kW_p aurinkopaneelijärjestelmä optimaaliseen 45° kulmaan ja atsimuutti suuntaan 0° (suoraan etelään päin) ja järjestelmän häviöteho on 12 %. Tällöin saadaan optimaalisella asennuksella tuotettua vuodessa n. 872 kWh sähköenergiaa.

Käytettäessä laskuria arvioidessa aurinkopaneelijärjestelmän tuottoa on hyvä ottaa huomioon, että aurinkopaneelin tuotto on suhteessa lämpötilan muutokseen. Aurinkopaneelien tehon tuotto laskee noin 0,5 % / °C. Paneelille ilmoitetut arvot on mitattu standardiolosuhteissa, jotka ovat yleensä lämpötilan osalta 25 °C. Tehon tuotannon vaihtelu lämpötilan mukaan on erityisesti otettava huomioon mitoitettaessa aurinkopaneelijärjestelmää, ettei sarjaan kytkettyjen aurinkopaneelien jännite nouse yli invertterin salliman arvon kylminä kausina ja vastaavasti aurinkopaneelien tuottoa kesällä on hyvä tarkastella suhteessa arvioituun lämpötilaan. Tästä syystä aurinkopaneelien tuuletus on otettava huomioon suunnittelussa ja toteutettaessa asennusta.

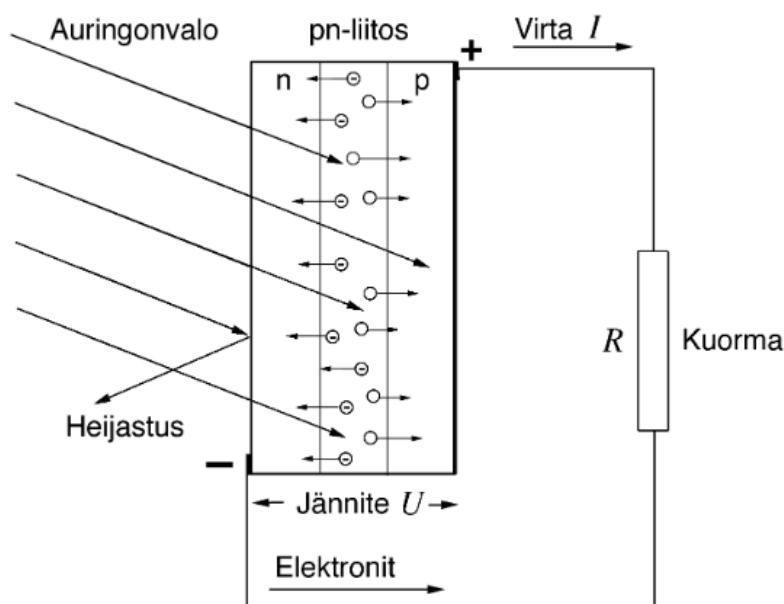


KUVA 1. Photovoltaic geographical information system PVGIS-aurinkosähkölaskuri. (European Commission, 2019)

3.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Markkinoilla olevista aurinkopaneeleista 90 % muodostuu yksi- tai monikiteisestä piistä. Piistä muodostuvien aurinkopaneelien hyötysuhde kaupallisissa sovelluksissa on noin 15–17 %. Aurinkopaneelit muodostetaan kahdesta puolijohdemateriaalista (p-tyyppi ja n-tyyppi). Auringonsäteily koostuu fotoneista, jotka vapauttavat puolijohdemateriaaliin osuessaan elektroneja, jotka ovat lepotilassa sitoutuneena pn-liitokseen. (Motiva Oy, 2020)

Kuvasta 2 voidaan tarkastella aurinkopaneelin toimintaperiaatetta. Aurinkopaneelin kennossa aurin-
gon säteilyn energia muutetaan potentiaalieroksi kahden erityyppisen puolijohdemateriaalin (p ja n)
avulla, josta syntyy sähkövirta. Aurinkokenno toimii suuren fotodiodin tavoin, kun auringonvalo koh-
distuu kennoon, niin osa auringon valon fotoneista (valohiukkasista) kuljettaa niin paljon energiaa,
että se läpäisee ohuen pintakerroksen ja pääsee pn-liitokseen. Päästessään pn-liitokseen valohiukka-
set muodostavat elektroniaukkopareja. Irronneet elektronit alkavat siirtymään n-puolelle ja aukot
siirtyvät p-puolelle. Tällöin rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea
vain yhteen suuntaan ja yhdistyäkseen takaisin aukkoon joutuvat elektronit kulkemaan ulkoisen joh-
timen kautta sähkövirran muodossa. (Suntekno, 2010)



KUVA 2. aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno, 2010)

3.3 Aurinkopaneelijärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä muodostuu yksinkertaisimmillaan seuraavien vähimmäisvaatimus kompo-
nenttien ympärille. Kotitalouskäytössä, jossa rakennus on liitetty myös sähköverkkoon, vaaditaan
mahdollisesti sähkömittarin vaihto, jolla voidaan mitata verkkoon menevän ylijäämäsähkön määrä.
Mittari kuuluu sähköverkkoyhtiölle, joka myös huolehtii mittarin vaihdosta tarpeen vaatiessa.

Aurinkopaneelijärjestelmä itsessään muodostuu aurinkopaneeleista, DC-piirin katkaisimesta ja invert-
teristä, jolla aurinkopaneelien tuottama sähkö muunnetaan tasasähköstä vaihtosähköksi, joka on
laadultaan standardin vaatimuksien mukaista. Invertteriä seuraa AC-puolen katkaisin, jonka jälkeen
vaihtosähköpuoli kytketään sulakkeen kautta sähkökeskukseen, josta tuotettu sähkö kulkeutuu ensi-
sijaisesti kiinteistön käyttöön. Jos kiinteistön kulutus ei vastaa tuotettua sähkön määrää, kulkeutuu
tuotettu sähkö verkkoyhtiön mittarin kautta yleiseen sähköverkkoon.

Edellä mainittuun perusaurinkosähköjärjestelmään voidaan kytkeä haluttaessa lisälaitteita kuten kiin-
teistön energiankulutusmittari, mistä kerron luvussa 5.3 lisää.

Suunniteltaessa mikrotuotantolaitosta kohteeseen vaaditaan sille aina verkkoyhtiön hyväksyntä. Mikrotuotantolaitos tarkoittaa energian tuotantolaitosta, jonka nimellisteho on pienempi kuin 100 kVA. Ennen laitteiston kytkentää yleiseen sähköverkkoon vaaditaan liittynälle verkkoyhtiön hyväksyntä. Laitteistosta täytyy tehdä mikrotuotannon yleistietolomake, joka lähetään paikalliselle sähköverkkoyhtiölle. (Keravan energia, 2021)

Ylijäämäsihköön myynnistä pitää tehdä myös ostosopimus jonkun sähkömyyjän kanssa, jos siitä halutaan rahallinen korvaus. Tuloverotuksen osalta tuotettu sähkö on verovapaata omassa käytössä. Ylijäämäsihköstä ei myöskään tarvitse maksaa tuloveroa, jos kiinteistön vuoden aikana kuluttama sähkömäärä on suurempi, kuin tuotettu sähkö vuoden aikana.

4 INTEGROIDUT AURINKOPANEELIT

4.1 Erilaiset markkinoilla olevat vaihtoehdot

Viimeaikainen huikea aurinkopaneelitekniikoiden kehitys on tuonut markkinoille paljon uutuuksia. Lisäksi aurinkopaneelien kasvava yleistymisen on laskenut aurinkopaneelien ja niihin liittyvän tekniikan hintatasoa ja siten mahdollistanut asiakaskunnan kasvua, joka tulee todennäköisesti jatkumaan myös tulevaisuudessa.

Tuotteiden käyttöikä on parantunut, takuuajat pidentyneet ja hinta halventunut. Tämä parantaa paneeli-investoinnin takaisinmaksuaikaa entisestään ja takaisinmaksuaika lyhenee myös kasvavien sähkönsiirtomaksujen ja energian hinnan nousun seurauksena. Myös tulevaisuuden epävarmuus sähkönsiirron ja energian hinnan suhteen parantaa aurinkopaneeli kauppaa mahdollistaen ihmisten suuremman omavaraisuuden. Lisäksi ympäristöystävällisyys ja ”vihreystrendi” ohjaa ihmisiä kohti aurinkopaneeleja.

Integroitujen aurinkopaneelien osalta markkinoille on tullut viime vuosina runsaasti uutuuksia, joihin kuuluu erilaisia integroitavia aurinkopaneeleja peltikatolle, tiilikatolle, sekä huopakatolle. Lisäksi saatavilla on esimerkiksi vanhan peltikaton pintaan liimattavia aurinkopaneelimattoja.

4.2 Integroidut aurinkopaneelit

Vertailemalla eri integroitujen aurinkopaneelien vaihtoehtoja tultiin loppupäätökseen, että yrityksellemme parhaiten sopiva vaihtoehto markkinoilla on tällä hetkellä Solitek Solid Solrif integroidut aurinkopaneelit. Suurimpana etuna kyseisessä valinnassa on integroidun aurinkopaneelijärjestelmän saaminen suoraan tukkurilta, sekä järjestelmän edukkuus, asennettavuus ja se on sertifioitu pohjoisiin olosuhteisiin. Lisäksi kyseinen paneeli on ollut markkinoilla jo melkein kymmenen vuoden ajan.

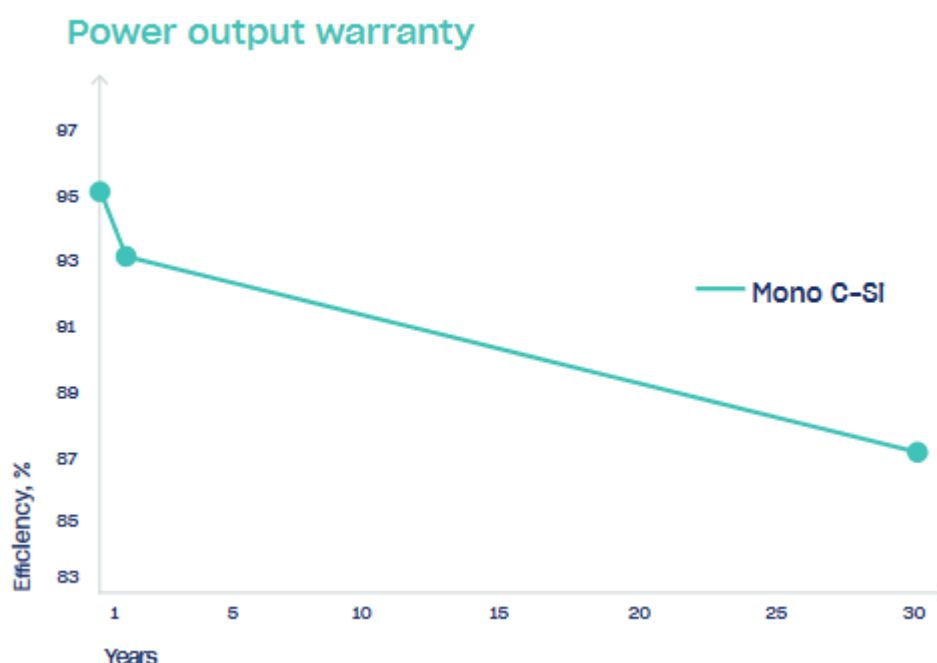


KUVA 3. Solitek Solrif integroitu aurinkopaneelijärjestelmä. (Solitek, 2020)

Solitek SOLID Solrif integroidut aurinkopaneelit valmistetaan Euroopassa Liettuassa. Paneeleille myönnetään 30 vuoden takuu, joka vastaa nykyisin jo monen peltikattovalmistajan takuuta.

Solitek SOLID Solrif paneelit on valmistettu yksikiteisestä piistä (C-SI) ja maksimiteho on 320 W. Pinta-alaltaan paneeli on $1,81 \text{ m}^2$ (1037 mm x 1745 mm). Paneelin sisäiset kennot on jaettu 3 ohi-tusdiodilla, jotka estävät paneelin tehontuoton tippumisen kokonaan pois, jos paneeli varjostuu osittain. Paneelit on rakennettu itsepuhdistuviksi, suolasumun ja ammoniakin kestäväksi, paloluokaltaan A luokkaan, pölyn ja hiekan kestäväksi, sekä kestävänsä suurta kuormaa. Paneelien toimintalämpötila on $-40...+46 \text{ }^\circ\text{C}$ astetta. Näiden ominaisuuksien suhteen kyseiset paneelit soveltuvat erinomaisesti Suomen ilmastoon asettamiin olosuhteisiin. (Solitek, 2020)

Kuvan 4 graafisesta kuvaajasta voimme nähdä Solistek SOLID Solrif paneeleille myönnettävän 30 vuoden takuun energiantuotannon osalta. Ensimmäisenä vuonna paneeleille luvataan 95 % tuotto maksimitehosta, joka takuun mukaan saa laskea arvoon 87 % 30 vuoden aikana. Jos paneelien tuotto laskee alle kuvaajassa näkyvän prosentuaalisen tehokäyrän 30 vuoden aikana asennuksesta ja ongelma liittyy paneelin tehontuottoon, niin valmistaja on velvollinen korvaamaan uuden paneelin asiakkaalle.



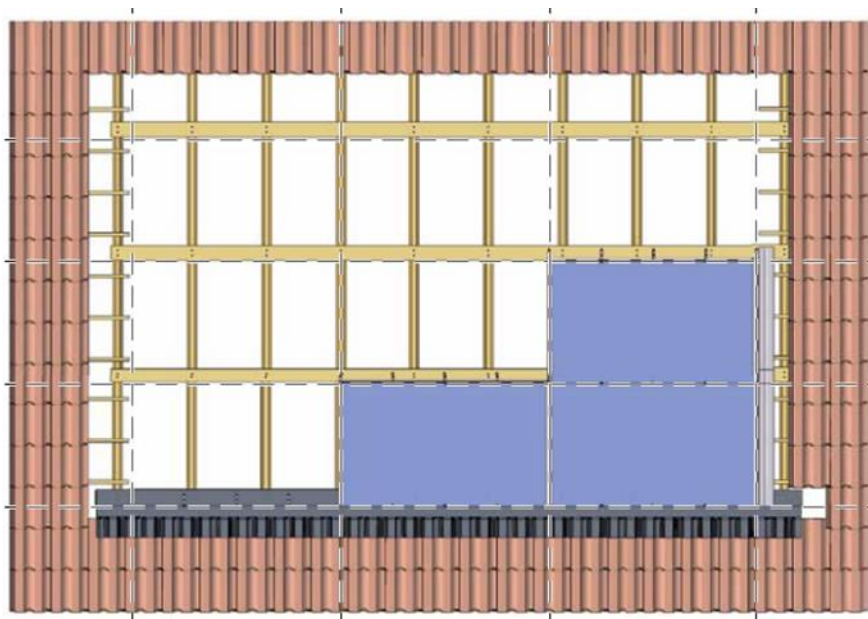
KUVA 4. Solistek Solrif tuotto takuu. (Solitek, 2020)

4.3 Asentaminen

Solistek SOLID Solrif integroitu katto on suunniteltu toimimaan rakennuksen vesikattona. Järjestelmä muodostuu lasi/lasi paneeleista, jotka toimivat suurina ja turvallisina fotosähköisinä kattotiilinä. Integroiduilla paneeleilla on mahdollista toteuttaa koko katon pinta-ala, mutta yleisimmin kustannus- ja kannattavuussyistä katon reunat toteutetaan perinteisillä kattotiilillä, jotka ovat yhteensopivia järjestelmän kanssa. Tällöin paneelien sivuissa, sekä ylhäällä ja alhaalla käytetään erinäisiä katteita, joilla estetään veden pääsy rakenteisiin. Järjestelmä voidaan asentaa kohteeseen, jossa on harjakatto, jonka kattokulma on $10\text{--}65$ astetta noudattaen valmistajan suosituksia. (Schweizer, 2019)

Järjestelmä on suunniteltu toimimaan tiilikaton yhteydessä. Jos saneerauskohteessa on valmiina tiilikatto, puretaan tiilikatto suunnitellun järjestelmän kokoinen alue. Jos kyseessä on uudiskohde, voidaan katto rakentaa alusta alkaen Solrif integroitujen paneelien vaatimusten mukaiseksi. Jos saneerauskohteessa on vanha käyttöikänsä päähän tuleva katto, on tällöin kannattavinta purkaa katto kokonaan rimoituksia myöten, jolloin saadaan uusittua kaikki katon alusrakenteet ja optimoituja katto integroituja paneeleita varten. Tällöin saavutetaan myös varmasti rakenteellinen kestävyys vähintään seuraavaksi 30 vuodeksi.

Integroidun aurinkopaneelikaton pohjarakenne on käytännön näkökulmasta sama kuin perinteisellä tiilikatolla. Kuvasta 5 ilmenee katon rakenne ja rimoitus. Pystyruoteet kiinnitetään perinteisesti katto-tuolien kohtaan, jolloin saadaan tukeva pohja kiinnitykselle. Tämän jälkeen asennetaan aluskate, joka kiinnitetään pystyrimoituksella paikalleen. Pystyrimoituksen päälle asennetaan vaakasuuntaiset laudat sopiviin kohtiin integroitujen aurinkopaneelien kiinnitystä varten. Jos järjestelmän sivuille tulee vielä perinteistä tiilikattoa, lisätään sinne tiheä vaakasuuntainen rimoitus tiilille. Tiilien ja paneelien väliin jäävään alueeseen tulee vesipellitys. Pellitys lisätään myös integroitujen aurinkopaneelien ylä- ja alapuolelle. Jos katto katetaan kokonaan integroiduilla aurinkopaneeleilla niin, vesipellitys tulee suoraan talon katon lappeesta integroituihin paneelisiin asti.



KUVA 5. Solitek SOLID Solrif, integroitut aurinkopaneelit kattorakenne. (Schweizer, 2019)

Taulukosta 1 näemme valmistajan vaatimukset vesieristykselle katon kulman mukaan käytettäessä Solitek SOLID Solrif integroituja aurinkopaneeleja. Järjestelmän asentaminen tulee suorittaa valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. Tämän takia on tärkeää ymmärtää, mikä ero on sateen kestävällä alusrakenteella ja vesitiiviillä alusrakenteella.

TAULUKKO 2. Solrif katon kulman vesitiiveys vaatimus. (Ernst Schweizer AG, Metallbau, 2013)

Katon kaltevuus	Vaatimus
> 10 °	Minimi vaatimus kattokulmalle käytettäessä Solrif kattoa
10 °-22 °	Vesitiivis katon rakenne vaadittu
> 22 °	Sateen kestävä kattorakenne vaadittu
< 32 °	Alushuopa vaaditaan juoksuttamaan vesi kouruun
	Saneerauskohde
> 32 °	Ei tarvetta päivittää vanhan katon rakennetta
< 32 °	Vanhan katon rakenne saattaa vaatia päivityksen sateen kestäväksi

4.4 Sateen kestävä kattorakenne

Kuvassa 6 on viitteellinen kuva sateen kestävästä katon alusrakenteesta. Sateen kestävä alusrakenne vaatii vettä läpäisemättömän aluskatteen (kuvassa ruskea kangas). Aluskate on asennettu kiinteästi alakattoon horisontaalisesti katsoen yläkolmannekseen. Aluskatteen limitykset tiivistetään vesitiiviiksi. Alusruoteita ei kuitenkaan tarvitse peittää. Kaikki aluskatteen läpäisevät rakenteet, kuten sähköliitokset täytyy asentaa vesitiiviisti. Tuuletetussa rakenteessa ei voida kuitenkaan estää tuiskuava lumen ja vesisateen tunkeutumista rakenteeseen tuuletusaukkojen kautta. Sateen kestävä aluskatto toimii lisäksi esteenä kondensoituvan veden pääsulle syvemmälle kattorakenteisiin.



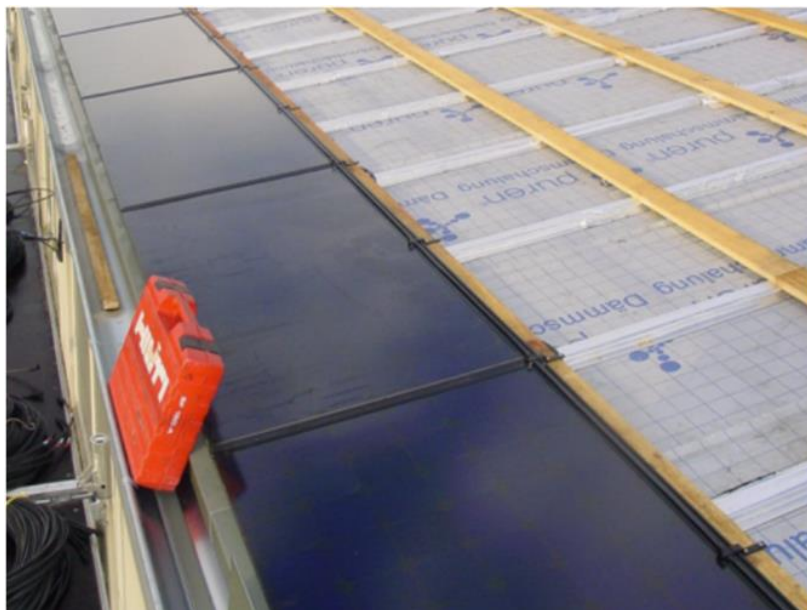
KUVA 6. Sateen kestävä katon alusrakenne. (Ernst Schweizer AG, Metallbau, 2013)

4.5 Vesitiivis katonrakenne

Kuvassa 7 on vesitiivis katonrakenne. Vesitiivis rakenne vaatii saman vettä läpäisemättömän aluskatteen kuin sateen kestävä aluskatto. Lisänä rakenne vaatii toisen aluskatteen myös kattamaan alus-

ruoteet. Tällä varmistetaan, että tiiliruode nousee aluskatteen päälle suhteellisen ylhäällä. Tiheämpää tiilikaton alusruodetta tulisi käyttää kohdissa, joissa oletetaan liikkuvan paljon johtunutta vettä tai tuiskulunta.

Puusia ei kuulu tiivistää kokonaan läpäisemättömällä aluskatteella, koska sisään pääsevä vesi voi johtaa puun lahoamiseen. Vaihtoehtoisesti on mahdollista käyttää tiilikaton alusruoteina lahoamatonta puuta. Kaikki aluskatteen läpäisevät rakenteet (esimerkiksi sähköputket) pitää eristää vesitiiviisti. Vesitiivis kattorakenne toimii lisäksi esteenä rakenteisiin kondensoituvalla vedelle.



KUVA 7. Vesitiivis katon alusrakenne. (Ernst Schweizer AG, Metallbau, 2013)

5 TUOTANNON TEHOKAS OPTIMOINTI

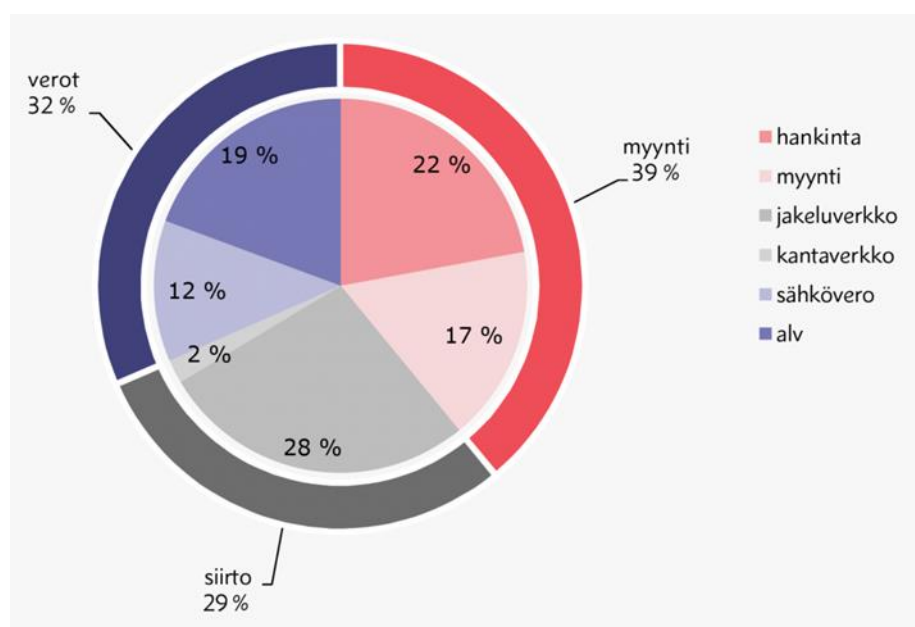
5.1 Sähkön hinnan muodostuminen ja sen vaikutus optimointiin

Sähkön hinta muodostuu kolmesta komponentista kuvan 8 mukaisesti. Sähkön hinnan muodostumisen rakenne vaikuttaa aurinkopaneelien investoinnin takaisinmaksuaikaan merkittävästi. Ostetun energian kustannus muodostuu varsinaisesta sähköenergian hinnasta, joka riippuu sähkön myyntiyhtiöstä, sähkönsiirron hinnasta, jota asiakas ei voi kilpailuttaa sähkönsiirron monopoliaseman vuoksi, sekä sähkö- ja arvonlisäveroista, joiden suuruutta ohjaa Suomen valtio.

Sähköenergian myyntihinta tarkemmin määriteltynä sisältää sähkön tukkumarkkinahinnan sekä myyntikustannukset. Riippuen sähkönmyyntiyhtiön ostosopimuksista sekä normaalien myynnin ja markkinoinnin kustannuksista, kuten laskutuksesta, asiakaspalvelusta sekä hallinnosta aiheutuvista kustannuksista.

Sähkönsiirron kokonaishinta syntyy sähkön siirtohinnasta ja erinäisistä veroista. Asiakas maksaa sähköveron verkkopalvelusta laskun yhteydessä. Siirtomaksulla katetaan sähköyhtiön sähköverkkotoimintaan liittyvät palvelut. Sähköverkkoyhtiön kustannukset muodostuvat sähköverkkoon sitoutuneesta pääomasta, sähköverkon ylläpidosta, kehittämisestä ja uudistamisesta, kuten uuden verkkoalueen rakentamisesta ja vanhan verkon uusimista. Hintaan sisältyy myös sähköverkon käytönvalvonta ja vikapalvelu.

Tällä hetkellä tyypillisen kotitalouskäyttäjän siirtomaksun osuus ostetusta sähköstä on hieman yli puolet sähkön kokonaishinnasta.



KUVA 8. Sähkön hinnan muodostuminen. (Loiste Sähkönmyynti Oy, 2020)

Aurinkopaneeleilla saatava keskiarvoinen säästöpotentiaali saadaan selville energiaviraston ylläpitäältä verkkosivulta, jossa pidetään rekisteriä Suomen energian- ja siirtohintojen kehittyvistä keskihintoista. Taulukon mukaan pientalon, jossa pääsulakkeena on 3x25A pääsulake ja vuosittainen sähkönkulutus on n. 18 000 kWh on sähköenergian myynnin keskihinta (1.3.2021) 7,36 snt/kWh ja

sähköenergian siirron keskihinta 4,92 snt/kWh. Näiden lisäksi energian hintaan lisätään sähkövero, jonka suuruus on 2,79 snt/kWh. Omalla aurinkovoimalalla tuotetulla sähköllä säästetään täten makсамasta siirtomaksua ja alle 100 kVA mikrotuotantolaitokset on vapautettu sähköverovelvollisuudesta, joten Suomen energiaviraston mukaisilla keskihinnoilla saavutettava säästöpotentiaali on tällä hetkellä 15,07 snt/kWh. Tulemme käyttämään tätä arvoa laskettaessa aurinkovoimalan ja optimoinnin takaisinmaksuaikaa. (Energiavirasto, 2021)

5.2 Kulutuksen optimointi yleisesti

Sähkön kulutusta on pyritty optimoimaan yhtä pitkään, kuin sähköä on ollut tarjolla. Tänä päivänä sähkön kulutusta yritetään optimoida mukailamalla sähkön markkinahintaa. Sähkömarkkinat kannustavat kuluttajia kuluttamaan sähköä aikoina, jolloin sähköä on tarjolla enemmän kuin kulutusta. Tällä hetkellä suurin sähkön kulutus kohdistuu päivälle, jolloin ihmiset käyttävät sähköä arkielämän käyttökohteisiin, kuten lämmitykseen, valaistukseen, viihde-elektroniikkaan ja auton lämmitystolppiin.

Kuluttajaa ohjataan kuluttamaan sähköä yöaikaan, jolloin sitä on saatavilla enemmän kuin on kulutusta. Kannustimina käytetään muun muassa tariffeja: sähkön tariffi on edullisempi yöaikaan, koska tällöin sähköverkon rasitus on pienempi siirtokapasiteetin osalta pienemmän sähkönkulutuksen johdosta. Tämän takia sähkönsiirtoyhtiöt tarjoavat pääsääntöisesti edullisempaa sähkönsiirtomaksua yöaikaan.

Mikrotuotantolaitos, joka saa energiansa auringosta tuottaa sähköä parhaiten päivällä auringon paistaessa. Auringon paistaessa asuinrakennukset ovat usein tyhjillään, jonka vuoksi osa normaalista energian kulutuksesta puuttuu (valaistus, viihde-elektroniikka, mahdollisesti pienennetty lämmityksen tarve). Tämän takia aurinkopaneelit saattavat tuottaa ylimääräistä sähköä, jota ei saada normaalisti kiinteistön käyttöön. Myyty sähköenergia on kannattavuudeltaan vain noin kolmannes verrattuna itse tuotettuun ja kulutettuun sähköenergiaan. Tämä huonontaa investoidun aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikaa merkittävästi. Mikrotuotantolaitoksen tuottama sähkö kannattaa tämän vuoksi saada kulutettua kiinteistössä, jonka eri keinoihin tutustumme seuraavaksi.

5.3 Optimointivaihtoehdot

5.3.1 Lämminvesivaraajan ohjaus kellokytkimellä

Yksinkertaisimmillaan optimointikeinona voidaan käyttää esimerkiksi kellokytkimellä toimivaa lämminvesivaraajaa. Kellokytkin asetetaan kytkemään sähkö lämminvesivaraajaan päiväaikaan, jolloin on oletettavasti auringonpaistetta. Kyseinen järjestelmä on melko karkea keino optimoinnin osalta, mutta myös samaan aikaan äärimmäisen luotettava ja yksinkertaisuuden vuoksi edullinen. Riippuen aurinkopaneelijärjestelmän koosta ja kohteesta, olisi kellokytkimellä varustettu lämminvesivaraaja tehokas keino energian hyödyntämiseen.

Lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla kaikkialla lämminvesiverkossa vähintään +55 astetta, jotta mahdollinen bakteeri- ja mikrobikasvu tuhoutuisi. Tämän takia Lämminvesivaraajan lämpötila

asetetaan yleensä 58 asteeseen. Eri lämminvesivaraaja valmistajilla on eri maksimilämpötilat vesivaraajan vedelle, mutta esimerkiksi Nibe Compact C-300 lämminvesivaraajan maksimilämpötila on säädettävissä 80 °C. Tällöin voidaan laskea energian määrä, joka voitaisiin käyttää veden lämmittämiseen 60 asteesta 80 asteeseen seuraavalla kaavalla:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \text{ jossa} \quad (1)$$

Q on energian määrä

c on aineen ominaislämpökapasiteetti (vesi $4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)

m on massa (266 kg)

$$\Rightarrow Q = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 266 \text{ kg} \cdot (80 - 60)^\circ\text{C} = 22,3 \text{ MJ} \quad (2)$$

Kaavan tuloksena saadaan, että veden lämmittämiseen energiaa vaaditaan 22,3 MJ.

Veden lämmittämiseen tarvitaan siis 6,2 kWh, joka tarkoittaa 6 kW vastuksella ajallisesti 1 tuntia ja 2 minuuttia. Laskelmassa ei ole lämminvesivaraajan hyötysuhdetta, jonka takia energiaa menee todellisuudessa enemmän. Lisäksi on huomioitava, että vesikeskuslämmitteisessä rakennuksessa lämmityksen paluuvesi on jäähtynyt, joka vaatii jatkuvaa uudelleen lämmitystä. Vastaavasti käytettäessä lämmintä vettä esim. suihkussa on lämminvesivaraajaan otettava korvausvesi n. 8 °C asteista, jolloin korvausveden lämmittäminen takaisin vähintään 60 °C vaatii huomattavasti enemmän energiaa. Tällä tavoin 10 kW aurinkovoimalan ylituotanto energia saataisiin kulutettua tehokkaasti päivään vesivaraajan lämmitykseen.

Kyseinen optimointikeino sisältäisi kellokytkimen ja kontaktorin, joilla ohjaus tapahtuisi. Näiden hinta olisi aurinkopaneelijärjestelmän asennuksen yhteydessä n. 125 € ja asennus 110 €. Lämminvesivaraajasta riippuen järjestelmä saattaa vaatia lisäksi erillisen lämpötilamittarin ja termostaatin.

Optimointijärjestelmän kustannusten ollessa 235 € voidaan arvioida, kuinka monta kilowattituntia pitää saada hyödynnettyä optimoinnilla omaan käyttöön myyntiin menemisen sijaan, että investointi maksaa itsensä takaisin. Säästöpotentiaali omaan käyttöön menevällä energialla on 15,07 snt/kWh, jolloin:

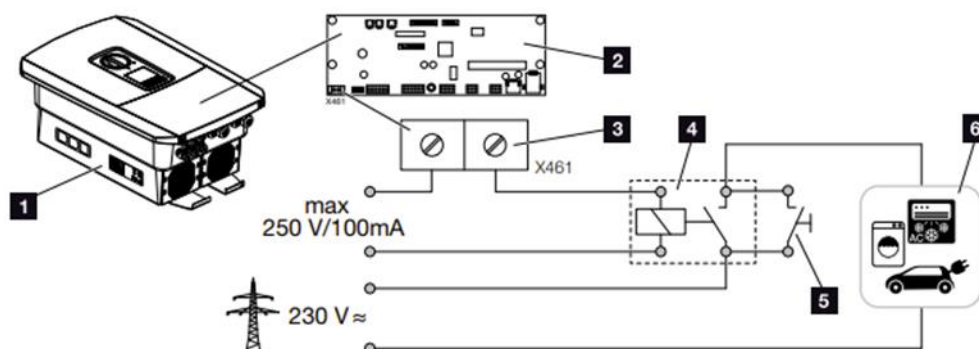
$$\frac{\text{Investoinnin kustannus (€)}}{\text{Säästöpotentiaali } \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)} = \text{Takaisinmaksuun vaadittava energia (kWh)} \quad (3)$$

$$\frac{235 \text{ (€)}}{0,1507 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)} = 1,56 \text{ (MWh)} \quad (4)$$

Tuloksesta käy ilmi, että optimointikeinolla on saatava kulutettua 1,56 MWh energiaa omaan käyttöön myymisen sijasta, jolloin investointi on maksanut itsensä takaisin. Tulosta voidaan hyödyntää arvioidessa kyseisen optimointikeinon kannattavuutta kohdekohtaisesti. Varsinainen takaisinmaksuaika on täysin riippuvainen kohteen sähkönkulutuksesta, aurinkopaneelien tuotosta ja huipputehosta sekä rakennuksen lämmitysjärjestelmästä.

5.3.2 Invertterin ohjauslähdön käyttäminen

Yrityksessä käytetään tällä hetkellä pääsääntöisesti Kostalin Plenticore Plus invertteriä aurinkosähkövoimalaitosten vaihtosuuntaajana sen lukuisien hyväksi havaittujen ominaisuuksien vuoksi. Kyseinen invertteri mahdollistaa erittäin monipuolisen konfiguroinnin tarpeen mukaan. Kostalin invertterissä on mahdollisuus käyttää kuvan 9 mukaisesti yhtä ohjauslähtöä, joka voidaan ohjelmoida kytkemään kontaktori päälle, kun haluttu aurinkopaneelien tuottama tehotaso ylittyy. Tätä ominaisuutta käytettäessä on mahdollista muun muassa kytkeä suuren energiantuoton aikaan sähkönsyöttö päälle esimerkiksi sähköauton latauspistokkeeseen, lämminvesivaraajaan tai muuhun haluttuun kiinteistön kulutuskohteeseen.



KUVA 9. Kostal kulutuksen ohjauksen liitäntä. (Kostal, 2020)

Invertterin ohjauslähdön käyttökohteesta riippuen vaatii se toimiakseen vähintään energiankulutusmittarin, jolla saadaan tieto käytettävissä olevan aurinkoenergian määrästä. Ohjauslähdön aktivoimisen raja-arvot asetetaan invertteriin verkkopalvelimen kautta. Yksinkertaisimmillaan järjestelmä ei tarvitse toimiakseen kuin kontaktorin, joka ohjaa sähkön kulutuslaitteelle.

5.3.3 Nibe aurinkosähkömoduuli EME 20

Markkinoilla on tällä hetkellä jo saatavilla lämpöpumppuvalmistaja NIBE:n aurinkosähkömoduuli EME 20. Aurinkosähkömoduulilla mahdollistetaan aurinkopaneelien "ylituotannon" käyttö ilmave-silämpöpumppuun, maalämpöpumppuun tai poistoilmalämpöpumppuun, joka ilman moduulia olisi ennen mennyt myyntiin verkkoon huonolla katteella. Aurinkosähkömoduuli mahdollistaa siten aurin-gon energian varastoimisen lämpimään käyttöveteen ja rakennukseen.

Aurinkosähkömoduuli mahdollistaa aurinkopaneelien tuottotiedon välityksen invertteriltä NIBE:n maalämpöpumpulle. Moduuli ohjaa aurinkosähköjärjestelmän "ylituotannon" lämpöpumpulle, joka nostaa esimerkiksi huonelämpötilaa tai käyttöveden lämpötilaa pienentäen lämmitystarvetta illalla, jolloin muutoin jouduttaisiin käyttämään "kalliimpaa" ostosähköä. Aurinkosähkömoduulin toimintaa on mahdollista seurata muun muassa lämpöpumpun näytöltä tai NIBE Uplink sovelluksen kautta esi-merkiksi puhelimella tai tabletilla. Aurinkosähkömoduuli mahdollistaa myös erilaiset konfigurointi-mahdollisuudet.

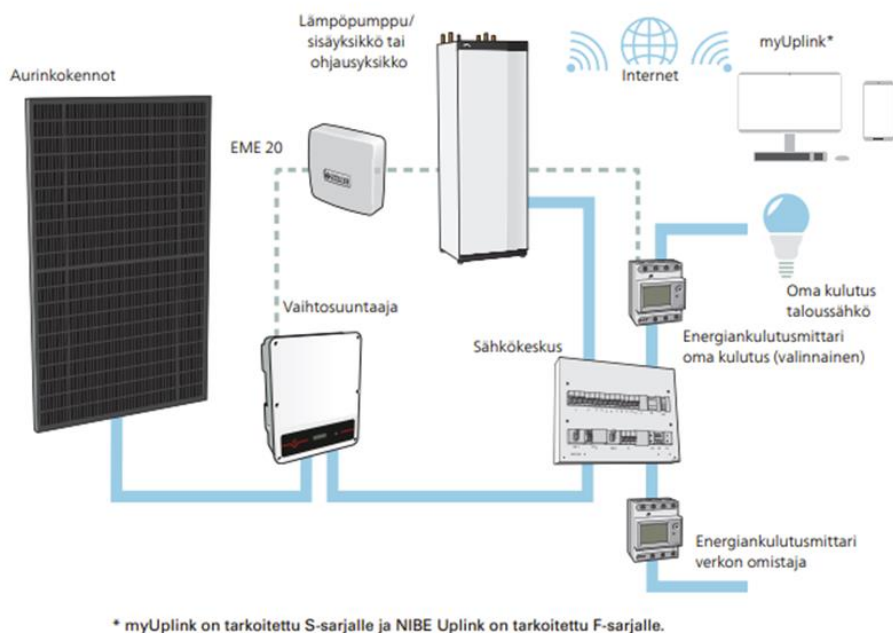
Aurinkosähkömoduuli kytketään aurinkosähköjärjestelmään Sunspec tiedonsiirtoprotokollalla RS485-portilla. Jos kyseinen protokolla ei ole käytössä, niin sitten käytetään aurinkosähkömoduulia EME 10, joka soveltuu muihin aurinkosähköjärjestelmiin.

Kuvasta 10 näemme periaatteellisen kytkentäkaavion NIBE EME 20 aurinkosähkömoduulille. Aurin-kokennon tuottama sähkö menee vaihtosuuntaajalle, johon aurinkosähkömoduuli on kytketty. Aurin-kosähkömoduuli on vastaavasti yhteydessä lämpöpumpun sisäyksikköön tai ohjausyksikköön. Järjes-telmään voidaan laittaa lisäksi optiona omaa kulutusta seuraava energiankulutusmittari, joka mah-dollistaa paremman optimoinnin kiinteistön sähkökulutuksen tietojen kautta. Invertteriltä tuotettu sähkö kytketään sähkökeskukseen, josta on lähtö lämpöpumppuun ja muihin kiinteistön sähkösyöt-töihin. Sähkökeskus on aina myös kytketty verkkosähköön. Aurinkosähkömoduulia voidaan ohjata ja seurata myUplink verkkosovelluksessa tai suoraan lämpöpumpun ohjausnäytöstä.

Moduulin hinta on n. 250 € ja muut tarvikkeet asennuksineen n. 170 €. Tällöin investoinnin kustan-nus olisi 420 €. Tällöin takaisinmaksuun vaadittava optimoidun energian määrä olisi:

$$\frac{420 \text{ (€)}}{0,1507 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)} = 2,79 \text{ (MWh)} \quad (5)$$

PERIAATEKAAVIO KYTKENTÄ EME 20



KUVA 10. Periaatekaavio aurinkosähkömoduulin EME20 kytkennästä. (Nibe Energy Systems, 2020)

5.3.4 Fronius Ohmpilot

Fronius valmistaa tuotetta nimeltä Ohmpilot, jolla voidaan ohjata aurinkopaneelijärjestelmän tuottamaa sähköä erittäin tehokkaasti hyödynnettäväksi lämminvesivaraajaan, lämpöpumppuun tai ilmastointilaitteeseen. Ohmpilot moduuli vaatii toimiakseen Froniuksen valmistaman energiamittarin, jonka jälkeen sitä voidaan käyttää muiden valmistajien invertterien kanssa, joissa on käytössä RS485 väylä, jonka kautta moduuli tekee aurinkosähkön ohjaukseen liittyvät ratkaisut itsenäisesti alkuarvojen asettamisen jälkeen. Fronius Ohmpilot mahdollistaa portaattoman aurinkoenergian ohjauksen 0...9 kW välillä.

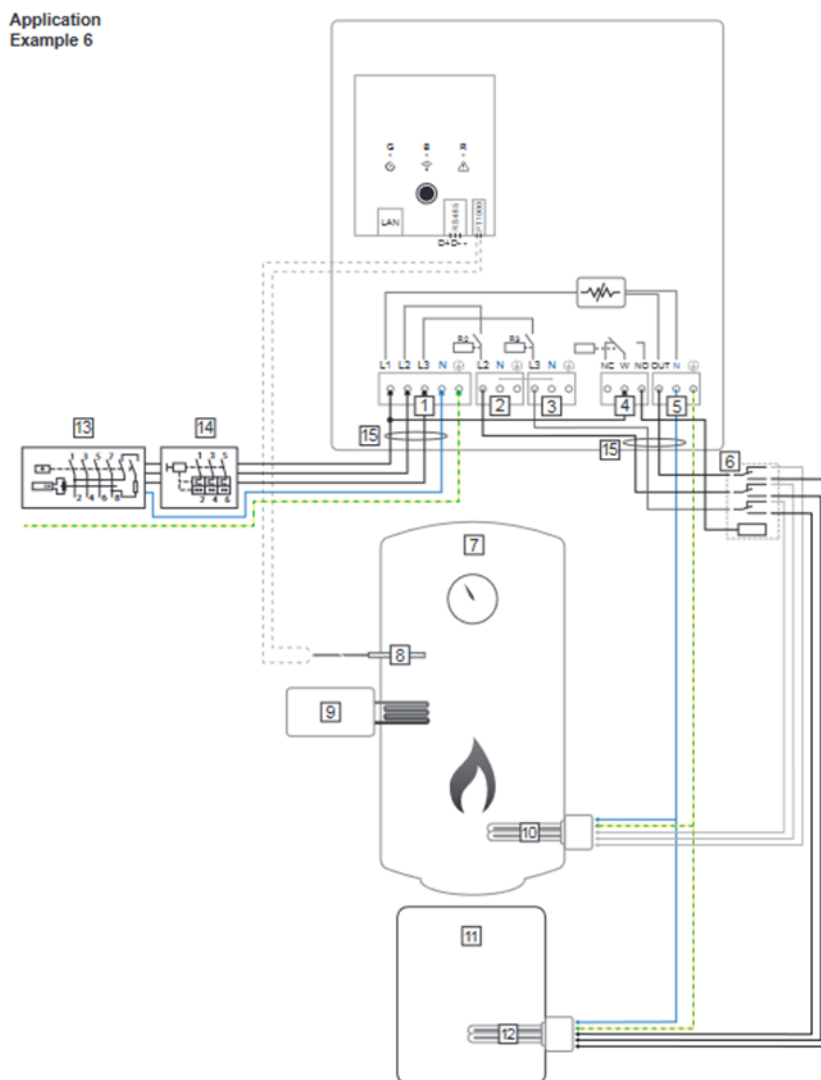
Fronius Ohmpilot mahdollistaa aurinkosähkön ohjauksen periaatteessa mihin tahansa resistiiviseen kuormaan perustuvaan laitteeseen. Näitä ovat muun muassa lämminvesivaraaja, lämpöpumput, ilmastointikoneet ja infrapunalämmittimet, sekä vastukseen perustuvat lattialämmitykset.

Ilmastointikoneen ohjaus tapahtuu integroidun ajan ja lämpötilan perusteella. Ilmanvaihtokone (ilmalämpöpumppu) on hyvä kohde ohjauksen suhteen, koska ilmastoinnin tarve on yleensä kesällä ja päiväaikaan. Ilmastointi voidaan ohjata päälle sopivasti esimerkiksi iltapäivällä, jolloin asunnossa on yleensä suurin tarve jäähdytykselle ja siten hyödyntää päivän muu aurinkoenergian tuotto, vaikka lämminvesivaraajaan.

Lämpöpumppua voidaan ohjata digitaalisella signaalilla RS485 väylän kautta, kun aurinkovoimalan ylituotantoenergiaa on saatavilla. Energian ylituotanto ohjataan lämminvesivaraajaan tai suoraan huonelämpötilaan hyvällä hyötysuhteella, jonka lämpöpumput mahdollistavat. Varastoimalla energiaa reserviin, voidaan pienentää lämmitysenergian ostotarvetta myöhemmin päivällä, jolloin aurinkoenergiaa ei ole enää saatavilla.

Lämminvesivaraajan lämmitysvastusta voidaan ohjata portaattomasti varaamaan ylituotantoenergia suoraan lämminvesivaraajan veteen. Fronius Ohmpilot voidaan käyttää suuressa lämminvesivaraajassa, jossa on ylä- että alavastus kuvan 11 mukaisesti.

Kuvassa 11 on esitelty järjestelmän kannalta keskeisimmät komponentit. Numerolla 1 on merkattu syöttöjännitteen kytkentä liittimet, josta otetaan sähkö myös numerolla 4 merkattuun ohjaukseen. Ohjaukärki ohjaa sähkön syöttöä vastuksille kontaktorilla, joka on merkattu numerolla 6. Lämminvesikattila ohjaa vastusta sisäisellä lämpötila-anturilla. Lisävastuksen ohjaus tapahtuu pt1000 lämpötila-anturilla, joka kytketään Fronius Ohmpilot moduuliin.



Kuva 11. Fronius Ohmpilot esimerkkikytkentä 9 kW. (Fronius, 2019)

Pienemmän energian tuotannon aikaan voidaan energia ohjata ylävastukseen, jolla lämmitetään käyttövetä ja kun käyttövesi on saatu maksimilämpötilaan, voidaan energia ohjata alavastukseen, joka on tarkoitettu lähinnä kiinteistön lämmitykseen.

Tällä mahdollistetaan suurempi energian varastoimiskapasiteetti. Lämminvesivaraajan alaosassa on matalalämpoisempi vesi rakennuksen vesikiertoiselle lämmitykselle. Ohjaamalla energia alavastukseen ja kuumentamalla lämminvesivaraajan matalalämpoisempi lämmitysvesi kuumemmaksi kuin

normaalisti, saadaan energiaa varastoitua enemmän ja pienennettyä ostoenergian tarvetta rakennuksen lämmittämiseen käytettävään veteen. Tällä tavoin on mahdollista varastoida energiaa rakennuksen lämmitystarpeeseen jopa kahden päivän ajaksi riippuen vesisäiliön tilavuudesta ja lämmitysveden normaalista lämpötilasta.

Fronius Ohmpilot moduuli maksaa n. 920 € ja asennus n. 165 €. Lisäksi Froniuksen energiamittari maksaa n. 235 €. Käyttökohteesta riippuen järjestelmä voi vaatia myös pt1000 lämpötila-anturin ja mahdollisen suojataskun asennuksineen. Tällöin investoinnin takaisinmaksuun vaadittava optimoidun energian määrä olisi vähintään:

$$\frac{1320 \text{ (€)}}{0,1507 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)} = 8,76 \text{ (MWh)} \quad (6)$$

5.3.5 Akusto

Akustoa käytetään yleisimmin off-grid-järjestelmissä, jotka ovat pääasiallisesti suhteellisen pieniä vapaa-ajan kiinteistöjä, joiden energian käyttöaste on hetkittäistä ja melko pientä. Akusto on kuitenkin ideaalisimpia energian varastoimistapoja, koska hyötysuhde varastoidulle energialle on hyvä ja energia saadaan käyttöön haluttuun aikaan sähkön muodossa. Aurinkosähkön tuoton optimointiin riittää suhteellisen pienellä kapasiteetillä oleva akusto, koska kiinteistöjen sähkönkulutus on melko tasaista ja optimitilanteessa akkua ladataan päivällä ja käytetään esimerkiksi illalla, jolloin akuston kapasiteetti on valmiina käyttöön taas seuraavana päivänä.

Akuston suurimpana ongelmana on-grid-aurinkosähköjärjestelmässä on hinta. Optimointiin sopivien korkeajänniteakkujen hinta vaihtelee n. 700-850 €/kWh järjestelmän koosta riippuen. Tämän takia akkujen käyttö tuoton optimoinnissa on vielä suhteellisen harvinaista, koska investoinnin takaisinmaksuaika olisi pitempi, kuin akuston keskimääräinen elinkaari. Tulevaisuudessa tilanne voi muuttua kehityksen johdosta, joka pienentäisi akkujen valmistuskustannuksia, sekä mahdollisesti nousevan sähköenergian ostohinnan johdosta.

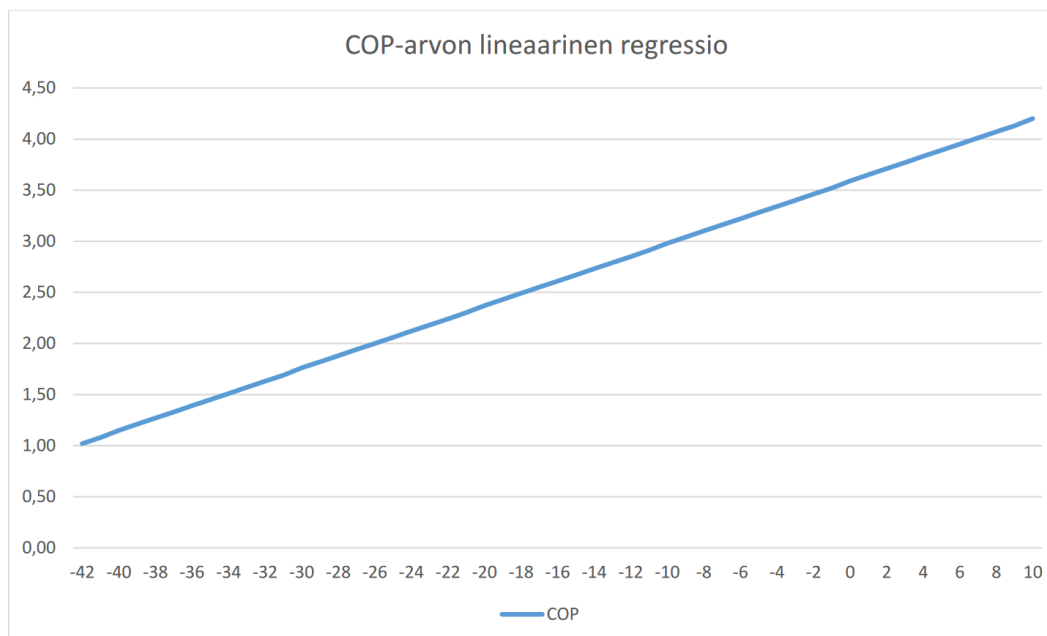
5.3.6 Ilmalämpöpumppu

Yrityksen toimialaan kuuluu myös ilmalämpöpumppujen asennus, jonka asennusta kannattaa harkita kiinteistöstä riippuen aurinkosähköjärjestelmän asennuksen yhteydessä yhtenä aurinkosähkön optimointikeinona ja kiinteistön energian kulutuksen pienentämiskeinona.

Ilmalämpöpumppu ainoana kiinteistön lämmitysmuotona ei ole koskaan riittävä, mutta voi olla saaneerauskohteessa erinomainen keino pienentää kiinteistön lämmityskustannuksia. Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu faasimuutokseen, jolla mahdollistetaan ulkoilman lämpöenergian talteen ottaminen ja käyttäminen rakennuksen sisäilman lämmittämiseen.

Kuvasta 12 voimme havaita, että ilmalämpöpumpun COP on parhaimmillaan lämpimällä säällä, jolloin ilmassa on runsaasti hyödynnettävää energiaa. Ilmalämpöpumpun COP-arvosta voidaan laskea

saadun lämpöenergian määrä suhteessa käytettyyn sähkön määrään. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde pienenee ulkoilman lämpötilan laskiessa, mutta siitä nähdessä ilmalämpöpumpun hyötysuhde pysyy positiivisenä aina jopa -42 °C asteeseen asti. Esimerkiksi lämpötilan ollessa 0 °C , saadaan käyttämällä 1 kW sähkötehoa lämpöenergiaa $3,5\text{ kW}$. Tämän ominaisuuden vuoksi saneerattavassa suoräsähkölämmitteisessä rakennuksessa voidaan saada huomattavia säästöjä lämmitysenergiassa suhteellisen pienellä investoinnilla.



KUVA 12. Ilmalämpöpumpun COP arvo suhteessa lämpötilaan. (Kontio, 2020)

Aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa Kuopion leveyspiirillä aurinkosähköä parhaiten aikavälillä helmikuu-lokakuu, joka voidaan todeta kuvasta 1. Tämän suhteen saatavilla oleva potentiaalinen aurinkosähkö on hyödynnettävissä ilmalämpöpumpulla erittäin tehokkaasti. Ilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa lämpöä hyvällä hyötysuhteella kylminä aikoina ja kesällä ilmalämpöpumpua voidaan hyödyntää rakennuksen viilentämiseen. Viilentämisen tarve on pääsääntöisesti päivä- ja ilta-aikaan, jolloin aurinkosähköä on useimmiten runsaasti tarjolla. Tällä tavoin aurinkopaneelin tuotto saadaan maksimoitua rakennuksen lämpötilan säätelyssä samalla pienentäen verkkoon myytävän sähkön määrää.

Aurinkopaneelijärjestelmän yhteydessä asennettuna Mitsubishi LN25 ilmalämpöpumpun hinta olisi n. 1950 € .

6 ESIMERKKIKOHTTEET

6.1 Esimerkkikohde

Integroidun aurinkopaneelijärjestelmän koon suunnittelussa otetaan huomioon katon pinta-ala, kalistus sekä ilmansuunta. Järjestelmän teho-hintasuhde muuttuu järjestelmän koon muuttuessa. Lisäksi kattoprojektin kokonaiskustannuksissa täytyy ottaa huomioon myös katon rakenteiden mahdolliset muutos- ja korjaustyöt.

Esimerkkikohteille tehdyt hinta-arviot ovat vain viitteellisiä. Jokainen toteutukseen tuleva kohde arvioidaan yksilöllisesti paikan päällä käyden. Tällä tavoin saadaan tarkempi arvio työn hinnasta. Useimmiten integroidut aurinkopaneelit asennetaan vain talon katon yhdelle lappeelle, joka on optimaalisessa ilmansuunnassa (etelään päin). Talon katon toisen lappeen uusiminen on huomioitava projektin kokonaiskustannuksissa, jos sille on tarvetta saneerauksen yhteydessä. Vastaavasti uudiskohteissa katto rakennetaan alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti siten, että se on yhteensopiva integroidun aurinkopaneelijärjestelmän kanssa.

Laskennan pohjana työssä käytetään pientaloa, jonka katon lappeen pinta-ala olisi $71,5 \text{ m}^2$ ($11 \text{ m} * 6,5 \text{ m}$). Tällöin koko pientalon kattopinta-ala olisi 143 m^2 ($2 * 71,5 \text{ m}^2$). Harjakaton kulman oletetaan olevan sähköntuotannon kannalta optimi 45° ja katon lape olisi kohtisuorassa etelään päin.

Kyseiselle katon lappeelle saataisiin mahdutettua 36 Solrif integroitua aurinkopaneelia. Tällöin järjestelmän teho olisi $11,52 \text{ kW}_p$. Suuremman järjestelmän asentaminen pientalo kohteeseen ei keskiverkoluokituksen kannalta ole tarkoituksenmukaista. Lisäksi invertterin mitoituksessa kannattaa huomioida myös mahdollisuus tulevaisuudessa järjestelmän laajennukselle. Integroituun aurinkopaneelijärjestelmään tulevien tarvikkeiden hinta on 15900 € ja asennuksen hinta 4090 € . Tällöin järjestelmän kokonaiskustannus on 19990 € .

Optimaalisessa tilanteessa, jossa $11,52 \text{ kW}_p$ integroitu aurinkopaneelijärjestelmä on asennettu 45° kulmaan ja atsimuutti suuntaan 0° saadaan PVGIS laskurilla arvioiduksi vuosituotoksi n. 9800 kWh . Kyseisellä arvolla järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan:

$$\frac{\left(\frac{\text{Investointi kustannus (€)}}{\text{Säästöpotentiaali (€)} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)} \right)}{\text{Tuotettu energia vuodessa (} \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \text{)} = \text{takaisinmaksu aika (a)} \quad (7)$$

$$\frac{\left(\frac{19\,900 \text{ (€)}}{0,1507 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)} \right)}{9800 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right)} = 13,54 \text{ (a)} \quad (8)$$

Optimaalisessa tilanteessa integroitu aurinkopaneelijärjestelmä kuolettaa investointikustannuksen n. 13,5 vuodessa. Todellisuudessa takaisinmaksu aika on kuitenkin pitempi, koska osa aurinkosähkön

tuotannosta menee kuitenkin myyntiin, koska tuotettua sähköä ei saada optimoitua koskaan täysin omaan käyttöön ja lisäksi asennuskulma ja suunta on harvoin paras mahdollinen. Myös varjostavat esteet paneelien edessä on huomioitava yksilöllisessä arvioinnissa.

6.2 Omakotitalo uudisrakennus

Valitsemamme Solistek SOLID solrif integroidut aurinkopaneelit ovat parhaimmillaan uudiskohteessa, jolloin katto voidaan rakentaa suoraan integroiduille paneeleille sopivaksi. Tällöin voidaan varmistua myös katon pohjarakenteiden oikeellisuudesta ja kestävydestä integroitujen aurinkopaneelien käyttöajan, sekä käyttää normaaliin kattoon varattu budjetti integroituun aurinkopaneelikattoon, joka laskee suhteellista kustannusta merkittävästi.

Uudiskohde on myös selkein toteutukseltaan, koska asennuksen yhteydessä ei tarvitse varmuudella uusia vanhoja rakenteita, eikä tehdä rakenteiden korjauksia. Yleisimmin ostettaessa valmis talopaketti, kuuluu katon alusrakenteiden tekeminen talonrakennus urakoitsijalle, jolloin yrityksen toteutettavaksi jää enää aluskatteen ja paneelien asennukseen sopivan rimoituksen tekeminen katon osalta.

Kustannusarvio on laskettu siten, että se sisältää kaiken tarvittavan asennuksineen, jolloin asiakas saa valmiin aurinkopaneelijärjestelmän käyttöönotettuna. Arvioon ei ole laskettu tuotannon optimointia, jolla on mahdollisuus vaikuttaa järjestelmän takaisinmaksuaikaan.

6.3 Saneerauskohteet (peltikatto, tiilikatto, huopakatto)

Saneerauskohde asettaa integroidulle aurinkopaneelijärjestelmälle hieman lisätyötä entisen katon purkamisen muodossa. Käytännössä eri kattotyyppien vaihtaminen integroiduksi aurinkopaneelijärjestelmäksi on työmäärältään hyvin samantasoinen. Kannattavinta on purkaa kokonaan entinen katto (joka on oletettavasti käyttöikänsä lopussa) ja rakentaa pohjat tällöin kokonaan uusiksi. Tällä saavutetaan myös varmuus katon pohjarakenteiden kunnosta aurinkopaneelien käyttöikänsä ajaksi.

Peltikattoinen saneerauskohde

Peltikatollisessa saneerauskohhteessa olisi mahdollisuus pienentää työn määrää asennuksen yhteydessä hyödyntämällä peltikaton alusrakennetta. Esimerkiksi aluskatteen uusiminen ei ole välttämätöntä, jos peltikatteen alusrakenne on muuten kunnossa ja sen voidaan todeta kestävänsä vielä integroidun aurinkopaneelikaton eliniän ajan.

Tiilikattoinen saneerauskohde

Tiilikatollisessa kohteessa alusrakenne on suoraan yhteensopiva integroitujen aurinkopaneelien kanssa. Tästä syystä työn määrä on pienin. Integroituun aurinkopaneelien asentaminen entiseen tiilikattoon on mahdollista minimaalisin muutoksilla, jos alusrakenne on tarkistettaessa hyvässä kunnossa ja sen voidaan olettaa kestävänsä integroidun aurinkopaneelikaton elinkaaren ajan. Kyseisessä tapauksessa voidaan tiilet purkaa katolta, asentaa integroidut aurinkopaneelit ja korvata mahdollisesti paneelien sivuille jäävät tiilet uusilla.

Huopakattoinen saneerauskohde

Huopakattoisessa saneerauskohteessa on eniten työtä verrattuna muihin saneerauskohteisiin. Perinteisessä kattoremontissa tai kattotyypin vaihdossa huopakatto voidaan jättää purkamatta alle, jolloin huopakatto toimii itsessään aluskatteena. Ongelmana integroidun katon asentamisessa huopakaton päälle tulee muun muassa se, että katon profiili nousee huomattavasti. Jos kattoa ei toteuteta kokonaan integroiduilla aurinkopaneeleilla, niin esim. varjopuolen normaali katto jäisi merkittävästi matalammaksi. Tämän vuoksi huopakatto kohteessa, jossa asennetaan integroidut aurinkopaneelit on kannattavinta purkaa huopakatto kokonaan ja asentaa tämän jälkeen integroidut paneelit pohjineen. Tästä syntyvä lisätyö pitää huomioida tarjousta laskiessa.

6.4 Jälkiasennetut aurinkopaneelit

Jos esimerkki kohde toteutettaisiin samankokoisella perinteisellä aurinkopaneelijärjestelmällä, joka koostuu perinteisistä kattoon kiinnitettävistä telineisiin asennettavista aurinkopaneeleista, olisi investointikustannus merkittävästi edullisempi. Samankokoisen (11,4 kW_p) järjestelmän hinta perinteisillä aurinkopaneeleilla on tarvikkeiden osalta 9100 € ja asennuksen 3890 €. Tällöin järjestelmän kokonaihinta olisi 12990 €.

Optimaalisessa tilanteessa perinteiset aurinkopaneelit kuolettavat investoinnin hinnan erittäin lyhyessä ajassa edullisemman hinnan ansiosta. 11,4 kW_p aurinkopaneelijärjestelmä asennettuna 45° kulmaan ja atsimuutti suuntaan 0° saadaan PVGIS laskurilla arvioiduksi vuosituotoksi n. 9700 kWh. Kyseisellä arvolla järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan:

$$\left(\frac{12\,990 \text{ (€)}}{0,1507 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)} \right) \frac{1}{9700 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right)} = 8,9 \text{ (a)} \quad (9)$$

Optimaalisessa tilanteessa perinteinen aurinkosähköjärjestelmä maksaa itsensä takaisin n. 9 vuoden aikana. Järjestelmän takaisinmaksuaikaa kriittisesti tarkastellessa pitää ottaa kuitenkin huomioon, kuinka suuri osa tuotetusta aurinkosähköstä saadaan kulutettua omassa käytössä, mahdolliset varjostukset, asennuskulma, suunta ja mahdolliset erot sähkön ja siirtomaksujen hinnoissa.

Perinteisten aurinkopaneelien kustannusta verrattaessa integroituihin aurinkopaneeleihin on huomioitava, että perinteiset aurinkopaneelit ovat lisäkustannus, jos kohteessa joudutaan suorittamaan lisäksi kattosaneeraus. Tämä kannattaa huomioida erityisesti, jos rakennuksen katon elinkaari alkaa olla käyttöiän loppupuolella. Tässä tapauksessa paneelien purkaminen ja uudelleenasennus voi olla merkittävä lisäkustannus saneerauksen yhteydessä, jota ei vastaavasti tule integroitujen aurinkopaneelien tapauksessa, koska vesikatto "uusitaan" integroitujen aurinkopaneelien kohdalta automaattisesti.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutustuttiin integroituihin aurinkopaneelisiin, joista ei yhteistyöyrityksellä ollut omakohtaisia kokemuksia. Yrityksellä on runsaasti aiempaa kokemusta perinteisistä aurinkopaneelijärjestelmistä ja niiden asennuksesta. Selvitystyön perusteella voin suositella integroituja aurinkopaneelijärjestelmiä erityisesti asennettavaksi uudisrakennuskohteisiin sekä kattosaneerauskohteisiin. Tällöin voidaan hyödyntää perinteiseen kattoon jo muutenkin varattava summa integroituu aurinkopaneelijärjestelmään. Tällöin integroiduista aurinkopaneeleista muodostuva ”lisäkustannus” on varsin kohtuullinen verrattuna siihen, että purettaisiin perinteinen katto, jolla on vielä käyttöikä jäljellä ja asennettaisiin integroidut aurinkopaneelit. Ajatus rakennuksen katosta, joka mahdollistaa itsensä takaisinmaksamisen elinkaarensa aikana ja jopa sijoituksena on vähintäänkin harkinnan arvoinen vaihtoehto perinteiselle vesikatolle, joka ei kuoleta investoinnin hintaa missään vaiheessa elinkaartaan.

Perinteiset vesikatteen päälle asennettavat aurinkopaneelit ovat kannattavampi vaihtoehto, jos katto on vielä elinkaarta jäljellä perinteisten aurinkopaneelien käyttöajan ajan, jolloin niitä ei tarvitse purkaa vesikatteen uusimisen vuoksi ja uudelleen asentaa tämän jälkeen uudelleen. Perinteisten aurinkopaneelien purkaminen katolta vesikaton uusimisen vuoksi asettaa uudelleenasennukselle uusia haasteita muun muassa kiinnikkeiden tiivisteiden painumisen vuoksi, joka edellyttää käytännössä myös kiinnikkeiden uusimista. Tämä nostaa järjestelmän elinkaari kustannuksia, jolla on negatiivisia vaikutuksia järjestelmän takaisinmaksu-aikaan. Perinteisiä aurinkopaneeleja en voi suositella enää uudiskohteisiin, jos rakennusvaiheessa tiedetään, että kohteeseen on tarkoitus laittaa aurinkovoimala. Vesikatteen asennuksen ja perinteisten aurinkopaneelien yhteishinta vastaa käytännössä melkein integroidun aurinkopaneelikaton hintaa.

Aurinkopaneelijärjestelmien yleistyessä tarve erilaisille aurinkosähkön kulutuksen optimointikeinoille kasvaa tasaista tahtia. Työssä esiteltiin erilaisia optimointikeinoja todella edullisista ja yksinkertaisista järjestelmistä kehittyneisiin ja huomattavasti tehokkaampia tapoja. Erilaisten optimointikeinojen valinta täytyy tehdä kohdekohtaisesti ja tarvelähtöisesti. Oikean optimointikeinovalinnan valinta voi olla investointina erittäin kannattava asiakkaalle ja tämän vuoksi aurinkopaneelijärjestelmän tarjoajan kuuluisi tarjota tuotannon optimointia osana aurinkopaneelijärjestelmää. Tuotannon optimoinnin tarpeellisuus korostuu etenkin aurinkosähköjärjestelmän koon kasvaessa, koska sitä suuremmalla todennäköisyydellä verkkoon menevän myyntisähkön osuus tuotetusta energiasta kasvaa. Suuren aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksu-aika voi venyä jopa pidemmäksi kuin paneelien elinkaari, jos tuotettua energiaa ei saada kulutettua kiinteistössä. Ongelma mahdollisesti kasvaa integroitujen aurinkopaneelien kanssa, koska asiakas luultavasti haluaa toteuttaa kattopinta-alasta mahdollisimman suuren osan paneeleilla jo pelkästään esteettisten syiden vuoksi.

Tarjouslaskijan on edellä mainittujen seikkojen vuoksi laskelmoitava tarkkaan, mikä on asiakkaalle kannattavin vaihtoehto aurinkopaneelijärjestelmän koon suhteen. Laskentaan vaikuttaa sähkön hinta, siirtomaksun hinta, sähkön ja siirtomaksujen hintakehitys tulevaisuudessa, kiinteistön sähkönkulutus, rakennuksen lämmitysjärjestelmä, aurinkopaneelijärjestelmän tukkuhinnat, sekä liittymän

suuruuden ja säädöksiä asettamat rajat aurinkosähköjärjestelmän teholle. Edellisiä asioita tärkeämpänä osana on tietenkin varmistaa, että kohteen sijainti on kelvollinen aurinkopaneeleille tuotannon suhteen ja rakennuksen kattokulma mahdollistaa mahdollisimman tehokkaan energian keräämisen.

Kaiken kaikkiaan näen aurinkosähköjärjestelmät jo tänä päivänä erittäin kannattavana sijoituskohteena. Teknologian kehittyessä sekä järjestelmien hinnan tippuessa massatuotannon seurauksena aurinkopaneelit ovat tulevaisuuden energian tuotannon oikea suunta kasvavan energian tarpeen tyydyttämiseen. Vaikka aurinkosähköä ei voidakaan kerätä vuorokauden ympäri ovat erilaiset optimointikeinot mahdollistamassa energian hyödyntämisessä niin yöllä kuin päivällä. Tuotannon optimointi tulee olemaan seuraava urauurtava ala uusiutuvan energian kehityksessä.

8 LÄHTEET

- Energiavirasto. (2021). *Energiavirasto sähkön hintatilatot*. Haettu 27. 3. 2021 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilatot>
- Ernst Schweizer AG, Metallbau. (2013). *Solrif Range of Application Relating to Water-tightness*. Hedingen.
- European Commission. (15. 10. 2019). *Photovoltaic geographical information system*. Haettu 20. 3. 2021 osoitteesta https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Fronius. (2019). *Fronius Ohmpilot*. Wels: Fronius International GmbH .
- Ilmatieteenlaitos. (2012). *Tilastoja Suomen ilmastosta*. Helsinki: Ilmatieteenlaitos. Haettu 1. 4. 2021 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Keravan energia. (2021). *Mikrotuotanto*. Haettu 5. 5. 2021 osoitteesta <https://www.keravanenergia.fi/aurinkosahko/mikrotuotanto/>
- Kontio, J. (2020). *Ilmalämpöpumpun lämpökerrointutkimus*. Theseus.
- Kostal. (2020). *Käyttöohje PLENTICORE plus*. Hagen: Kostal-solar-electric.
- Loiste Sähkönmyynti Oy. (2020). *Loiste*. Haettu 8. 3. 2021 osoitteesta <https://www.loiste.fi/sahkon-hinta>
- Motiva Oy. (5. 8. 2020). *Motiva.fi*. Haettu 22. 3. 2021 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
- Nibe Energy Systems. (2020). *EME 20*.
- Schweizer. (2019). *Solar Energy Systems by Schweizer: Installation Manual-Photovoltaic In-Roof Mounting System Solrif*. Hedingen: Ernst Schweizer AG.
- Solitek. (2020). *SOLID Solrif*. Vilna: www.solitek.eu.
- Solitek. (9. 3. 2020). *Solistek SOLID Solrif*. Haettu 5. 2. 2021 osoitteesta <https://www.solitek.eu/en/solutions/solid-solrif>
- Suntekno. (2010). *Aurinkoenergia ABC-opas*.
- Suntekno. (2010). *Aurinkopaneelin toimintaperiaate*.
- Sähköasennus Sähkömestarit. (2021). *Sähköasennus Sähkömestarit*. Haettu 10. 5. 2021 osoitteesta <https://www.sahkoasennusmestarit.fi/>