

Mikko Nääppä

Tienviitta aurinkosähköön: aurinkosähköjärjestelmän toteutus elintarvikemyymälään

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

8.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mikko Nääppä Tienviitta aurinkosähköön: aurinkosähköjärjestelmän toteutus elintarvikemyymälään 57 sivua + 2 liitettä 8.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Sampsa Kupari
<p>Aurinkosähkö on viimeisen parin vuoden aikana ollut kovassa kasvussa Suomessa. Aurinkosähköjärjestelmien roima hinnanlasku ja omavaraisuuden lisääminen ovat suurelta osin kasvattaneet suomalaisten kiinnostusta aurinkoenergiaan. Hyödyntämällä energiaturvaa ja suunnittelemalla järjestelmä, jossa suurin osa tuotetusta aurinkosähköstä käytetään itse, saadaan investoinnista kannattava.</p> <p>Insinööritöiden tavoitteena oli tutkia ja luoda kokonaisvaltainen tietopaketti aurinkosähköjärjestelmistä kenelle tahansa aurinkoenergiasta kiinnostuvalle taholle, olipa kyseessä sitten yleinen mielenkiinto aurinkoenergiaa kohtaan tai investointi mielessä.</p> <p>Osana opinnäytetyötä toteutettiin 53 kW:n aurinkosähköjärjestelmä K-Supermarket elintarvikemyymälään. Kohteeseen asennettiin kahden sadan paneelin aurinkosähköjärjestelmä itä-länsi suuntauksella. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa ratkaisut tehtiin pohjatuennin järjestelmän toimivuuteen ja hyötysuhteeseen vaikuttaviin osatekijöihin. Työssä katsotaan vaiheittain koko projektin läpivienti. Asennustyön vaiheet dokumentoitiin ja kuvattiin.</p> <p>Aurinkosähkön hyödyntämisessä K-Supermarketin vahvuutena toimii tasainen ja korkea sähkön kulutus vuorokauden ympäri. K-Supermarkettiin voitiin helposti mitoittaa suurehko aurinkovoimala niin, että kaikki tuotettu aurinkosähkö voidaan käyttää suoraan kohteessa. Korvaamalla ostosähköä aurinkosähköllä tuotetaan taloudellisesti enemmän kuin takaisin verkkoon myymällä. Hieman takaisinmaksun nopeutta kohteessa kompensoi paneelien itä-länsi suuntaus, jossa jäädään vuosituotannossa eteläiseen suuntaukseen verrattuna.</p>	
Avainsanat	Aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmät, toteutus, suunnittelu

Author Title	Mikko Nääppä Signpost to solar power: solar power system execution to grocery store
Number of Pages Date	57 pages + 2 appendices 8 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Sampsa Kupari, Lectuer
<p>In the past few years, solar power growth has been strong in Finland. The sturdy fall in cost of solar power systems and self-sufficiency augmentation has for the most part added Finns interest towards solar energy. Utilizing energy supports and designing a system, where most of the generated solar energy is used itself, the investment can be made profitable.</p> <p>The objective of Engineers thesis is to study and create a comprehensive information package for anyone interested in solar energy, no matter if in case of just general interest or investment in mind.</p> <p>As part of this bachelor's thesis an 53kW solar power system was made for K-Supermarket grocery store. A two hundred panel east-west oriented solar power systems, was built to the destination. In planning of solar power system, decisions were made based on factors which effect the systems operability and efficient. In this work, we'll view in stages the whole execution of the project. Installation work was documented and photographed.</p> <p>K-Supermarkets strong point in solar power utilizing is constant and high electricity consumption around the clock. For K-Supermarket, it was easy to scale a rather big plant solar plant so that all produced solar electricity can be used straight at the destination. By replacing market electricity with solar, can we get a better financial value than selling it back to the grid. Orientating the panels to east-west has a small compensation effect on pay-back period compared to south orientation, because of the overall production differences.</p>	
Keywords	Solar power, solar power system, execution, planning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
3	Aurinkosähköjärjestelmät	5
3.1	Aurinkopaneelit	6
3.2	Tyypit	6
3.3	Paneelityyppien vertailu	9
3.4	Ominaiskäyrä	13
3.5	Mekaniikka	14
3.6	Järjestelmäkokonaisuus	18
3.6.1	Paneelien kytkentä	19
3.6.2	Vaihtosuuntaaja	19
3.6.3	Invertteri mallit ja soveltuvuudet	20
3.6.4	Akut	24
3.6.5	Muut komponentit	25
4	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	27
4.1	Optimointi	29
5	Kannattavuus	30
5.1	Aurinkopaneelien hinnan lasku	31
5.2	Takaisinmaksu	31
5.3	Kannattavuuden osatekijöitä	34
6	K-Supermarket aurinkosähköjärjestelmä	36
6.1	Kohteen tiedot ja toimittaja	37
6.2	Esisuunnittelu	37
6.2.1	Kulutusprofiilit ja mitoitus	37
6.2.2	Paneeli	39
6.2.3	Katto	40
6.2.4	Invertterin valinta	41

6.3	Tarjouksen laadinta	42
6.4	Paneeliryhmien mitoitus ja kytkentä	44
6.5	Suojalaitteet	45
6.6	Kaapelit	47
6.7	Projektin toteutus	49
6.7.1	Mekaniikan ja paneelien asennus	50
6.7.2	Paneelien kaapelointi	51
6.7.3	Maadoitus	52
6.7.4	Inverterien asennus ja syöttö keskukselle	53
6.8	Kannattavuuden tarkastelu	54
7	Yhteenveto	57
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1. Kytkenäkaavio	
	Liite 2. Pääpiirikaavio	

Lyhenteet

A	Ampeeri. Virran yksikkö
V	Voltti. Jännitteen yksikkö
W	Watti. Tehon yksikkö
Ah	Ampeeritunti. Varaus, jonka ampeerin sähkövirta kuljettaa tunnin aikana
kW	Yksi kilowatti on tuhat wattia
kWp	Kilo-Watt-Peak tarkoittaa laitteen huipputehoa
kWh	Kilowattitunti. Kertoo tunnin aikana tuotetun energian määrän
kVA	Kilovolttiampeeri. näennäistehon yksikkö
GW	Gigawatti. 1 000 000 kW
MW	Megawatti. 1 000 kW
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
ELY	Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System. Euroopan komission tarjoama aurinkosähkön tuotantolaskuri.
LCOE	Levelized Cost of Energy. Energian tuotantohinta paneelien toiminta-ajassa.
STC	Standard Test Conditions. Standardoitu testi olosuhde, jossa laitteet testataan ja minkä puitteissa tehollisarvot ilmoitetaan.

MPPT	Maximum Power Point Tracking. Piiri, joka seuraa tehon huippupistettä ja säätelee jännitteen ja virran suhdetta.
AGM	Suljettu lyijyakku

1 Johdanto

Työssä käydään laajalti läpi aurinkosähköjärjestelmän tekniseen sekä kannattavuuteen liittyviä yksityiskohtia. Opinnäytetyössä käytetty aineisto koostuu kirjallisuudesta, kotimaisista ja ulkomaisista tutkielmista, internet-julkaisusta, SMA ja Solaredge tuotanto-tietokannasta sekä paljon aurinkoenergia yrityksen kautta saaduista opeista.

Osana opinnäytetyötä toteutettiin 53 kW:n aurinkosähköjärjestelmä K-market-elintarvikemyymälään. Esimerkkikohdeosiossa katsotaan projektin läpivienti aurinkosähköjärjestelmän toimittajan näkökulmasta. Esitetään tarjouksen laadintaan vaadittavaa esisuunnittelua, aurinkosähköjärjestelmän kokonaisuuden suunnittelua ja lopuksi itse projektin toteutus. Kohteessa tehdyissä ratkaisuihin havainnollistetaan osalta opinnäytetyössä esitettyä tietoa. Tehdään myös katsaus K-Supermarketin kannattavuuteen vaikuttavista seikoista.

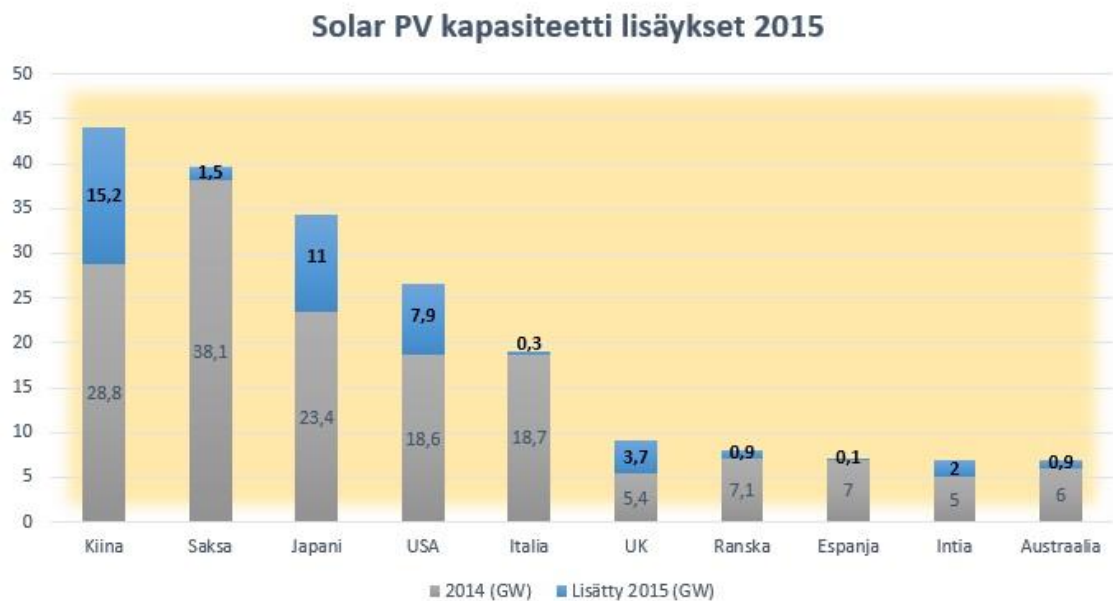
Energiatuen lisäksi K-Supermarketin kannattavuutta vahvistaa tuotetun aurinkosähkön helppo hyödyntäminen kohteessa. Haasteena monille pienemmille aurinkosähköjärjestelmille on käyttää kaikki voimalan kesäaikana tuottama sähkö parhaimman tuoton aikaan. Verkkoon myydyn sähkön määrä pidetään alhaisena mitoittamalla aurinkovoimala tarkkaan, mutta monesti tästä huolimatta pieniosa tuotetusta aurinkosähköstä päädytään myymään takaisinverkkoon. Elintarvikemyymälöissä kulutus pysyy kesäisin korkealla kellon ympäri. K-kaupalle kyettiin rakentamaan reilun kokoinen voimala, jonka tuotosta kaikki sähkö menee suoraan kiinteistön omaan käyttöön vuorokauden ajasta riippumatta.

2 Aurinkoenergia

Ensimmäinen sähköpaneeli (PI-aurinkokenno) keksittiin jo vuonna 1954. Hyötysuhde oli kuitenkin vielä alhainen ja tuotanto liian kallista maailmanlaajuisen kasvuun. Kehitys oli pitkään hyvin hidasta, mutta tekniikan kehittyessä ja massatuotannon lisääntyessä päästiin jo tilanteeseen, jossa aurinkosähkö oli varteenotettava energiantuotannon menetelmä. Globaalisti 2000-luvun alussa asennusten määrä alkoi selvästi kasvamaan ja Suomessa 2014 otettiin iso askel eteenpäin aurinkoenergian kasvussa. Elämme parhailaan hyvin jännittäviä hetkiä maailman energiantuotannon kehittämisessä, jonka suuntana näyttää olevan puhtaat uusiutuvat energiat. Tässä aurinkoenergia on hyvin keskeisessä roolissa. [1. s.25.]

Aurinkoenergia maailmalla

Vuosi 2015 oli uusi ennätys vuosi aurinkoenergian kasvussa maailmalla. Uutta aurinkoenergiaa asennettiin yhteensä 50 gigawattia, joka on neljänneksen enemmän kuin vuonna 2014 ja kasvu on kymmenen kertaa suurempi, mitä aurinkoenergian kokonaiskapasiteetti oli vuonna 2005. Global status reportin julkaisemien tilastojen mukaan (kuva 1) maailmalla on nyt asennettu aurinkoenergiaa yhteensä 227 GW. Vuotuiset valtiokohdattaiset kasvut ovat vaihtelevia, mutta globaalissa skaalassa kasvun nopeus on ollut jatkuvassa noususuhdanteessa. Kolme aurinkoenergiaa edes vievää ja kapasiteetiltaan johtavaa maata ovat Kiina, Saksa ja Japani sekä mainittakoon vielä Yhdysvallat, jossa



Kuva 1 Aurinkoenergian kasvu maailmalla [2.]

kasvu on viime vuosina ollut huimaa. Kiina lisäsi vuonna 2015 aurinkoenergiaa yhteensä 15,2 GW ja ohitti pitkään kärjessä olleen Saksan aurinkoenergian kapasiteetin johtajana. Japani on kaksinkertaistanut aurinkoenergian määränsä viimeisen kolmen vuoden aikana. Yhdysvallat tekivät myös ennätysvuotensa lisäämällä 7,3 GW ja ensimmäistä kertaa ohittivat luonnonkaasuista tuotetun energian kapasiteettinsa. Intian kasvu on ollut toistaiseksi maltillista, mutta heillä on hyvin intohimoiset tavoitteet, peräti 100 GW vuoteen 2022 mennessä. [2.]

Ilmastonmuutos ja tietoisuus fossiilisten polttoaineiden ja ydinvoiman haitoista ovat siirtäneet globaalisti tavoitteen kohti ekologisempaan tulevaisuutta. Energiantuotannon kehitys on ollut viime vuosina suuresti median keskeisyydessä. Poliittisella tasamaalla ollaan myös laadittu tavoitteita ilmastonmuutoksen rauhoittamiseksi. EU allekirjoitti maailmanlaajuisen Pariisin ilmastopöytäkirjan ja tavoitteena olisi, että vähintään 27 % tuotetusta energiasta olisi uusiutuvaa energiaa vuoteen 2050 mennessä. Yksi maailman tunnetuin mediayhtiö Bloomberg teki energian katsauksen, jonka mukaan vuoteen 2040 mennessä energiaan sijoitetaan satoja miljardeja euroja ja suurimpana sijoituksen kohteena on aurinkoenergia. [3.]

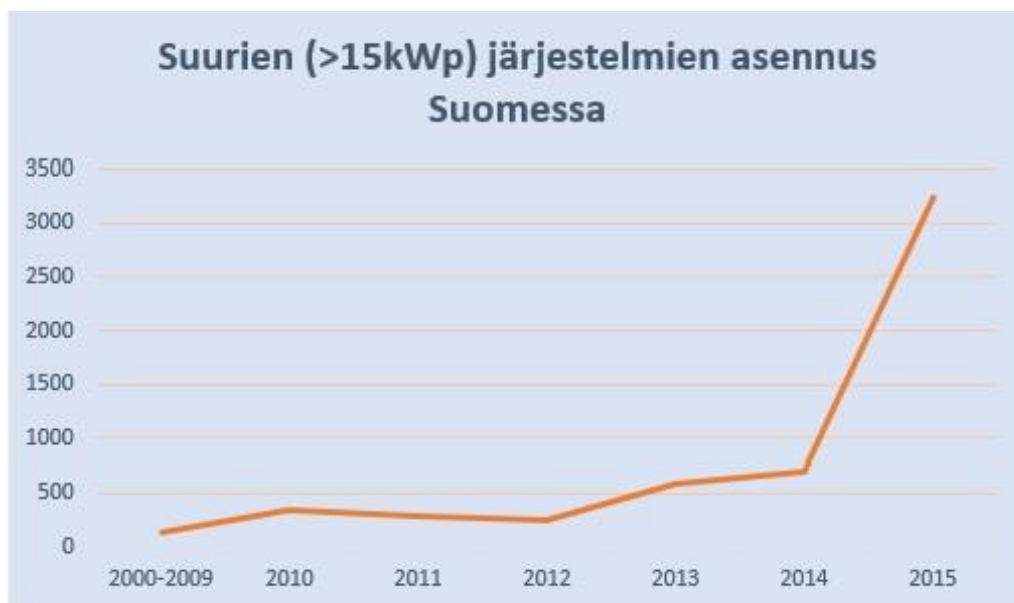
Energiapoliittiset päätökset vaikuttavat niin yksityisiin sijoittajiin, yrityksiin kuin kotitalouksiin siinä mielessä, että maat voivat vaikuttaa kannattavuuteen säätelemällä sähkötarifit ja verotusta tai jakamalla energiatukia sijoituksiin. Toinen suurin muutos sijoittajan näkökulmasta on paneelien voimakas hinnanlasku viimeisen viiden vuoden aikana, mikä on seuraamusta tekniikan kehityksestä, tuotannon optimoinnista ja valtavan markkina-kilpailun johtamasta tarjonnasta.

Aurinkoenergia Suomessa

Suomi on hieman viiveellä mukana aurinkosähköön siirtymisessä suuremmissa mittakaavassa, vaikka hyödyntämispotentiaali on verrattavissa Pohjois-Saksaan. Finnsolarin tutkimusten mukaan Suomessa oli vuoteen 2015 syksyyn mennessä asennettu 7,9 megawattia verkkoon kytkettyä aurinkosähköä. Tilastoista kuitenkin puuttuu täysin verkkoon kytkemättömät (off-grid) järjestelmät, joita joidenkin arvioiden mukaan Suomessa olisi jo noin 80 000. Tilastokeskus arvioi vuonna 2014 Suomen aurinkosähkökapasiteetiksi 11 MWp. Suomessa aurinkosähkön suosio alkoi juuri mökillä hyödynnettävistä järjestel-

mistä. Mökkien syrjäisistä sijainneista johtuen liittyminen sähköverkkoon on monissa tapauksissa kallista ja tällöin investointi aurinkosähköön maksaa vähemmän kuin sähköverkkoon liittyminen.

Paneelien hintojen laskun johdosta ollaan viimeisen parin vuoden aikana nähty Suomessa positiivisia merkkejä hyvään kasvuun. Varsinkin suurempien järjestelmien asennusmäärissä on tapahtunut eksponentiaalinen kasvu vuonna 2014 (kuva 2). [1; 3.]

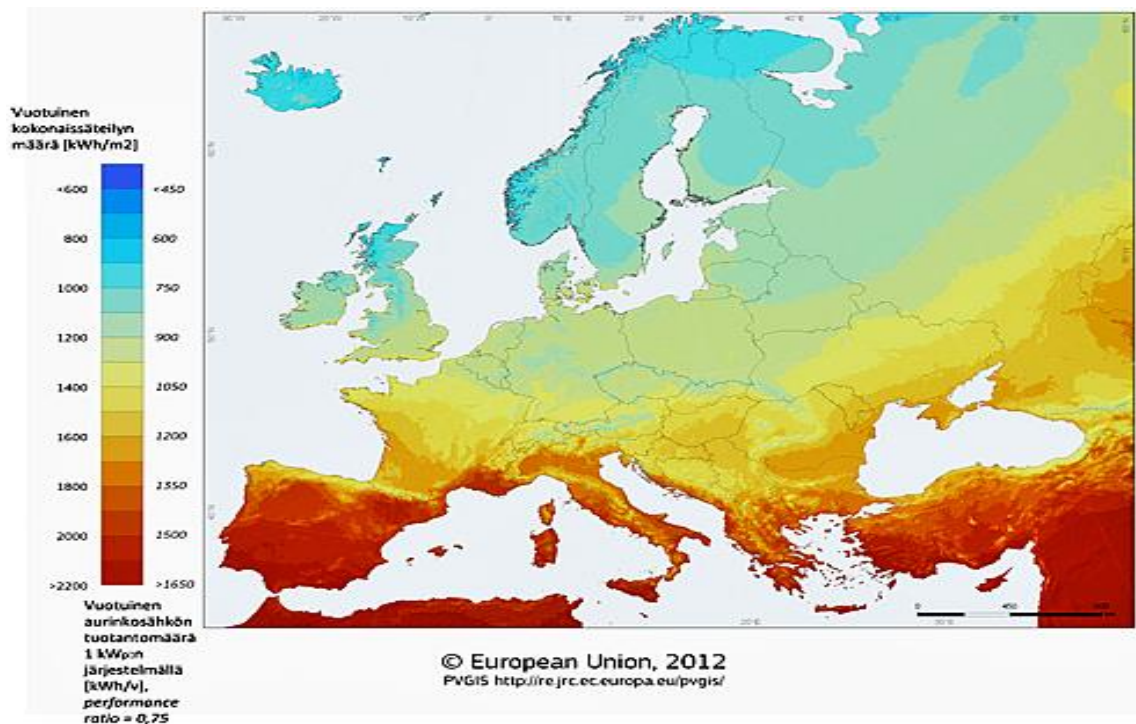


Kuva 2 Kasvu Suomessa kWp [3. s.12]

Kasvun potentiaalia on hyvä verrata juuri Saksaan, koska Etelä-Suomessa auringon säteilyn määrässä ja vuosituotannossa yletään samalle tasolle. Kallistamalla paneelit optimaalisesti voidaan Lappeenrannassa tuottaa sama määrä sähköä vuodessa kuin Frankfurtissa. Säteily painottuu täällä pohjoisessa keväästä loppusyksylle. Saksassa on tällä hetkellä yli kolme ja puoli tuhatta kertaa suurempi aurinkoenergiakapasiteetti kuin Suomessa. Tästä energiasta ei kuitenkaan kaikki ole pelkästään paneeleilla tuotettua, vaan saksalaiset ovat myös rakentaneet valtavia aurinkovoimaloita, joissa keskitetään auringon säteet ja energia varastoidaan lämpönä. [3.]

Suomessa paras mahdollinen tuotto saavutetaan suuntaamalla paneelit 40 asteen kulmassa kohti Etelään. Lounaaseen suuntauksella saavutetaan lähes yhtä hyvä tuotto kuin eteläisellä. Itään ja Länteen suunnatut paneelit tuottavat paremmin aamu- ja iltapäivän aikana.

Kokonaistuotossa Itä ja länsi suuntauksessa jäädään noin 10–15 % eteläiseen suuntaukseen verrattuna. Paneelien suuntaus pohjoiseen ei ole missään tapauksessa kannattavaa. Yhden kilowatin järjestelmä tuottaa Suomessa keskimäärin 800–900 kWh vuodessa (kuva 3).



Kuva 3 Suomessa 1 kW:n järjestelmä tuottaa keskimäärin 800–900 kWh sähköä vuodessa [4.]

3 Aurinkosähköjärjestelmä

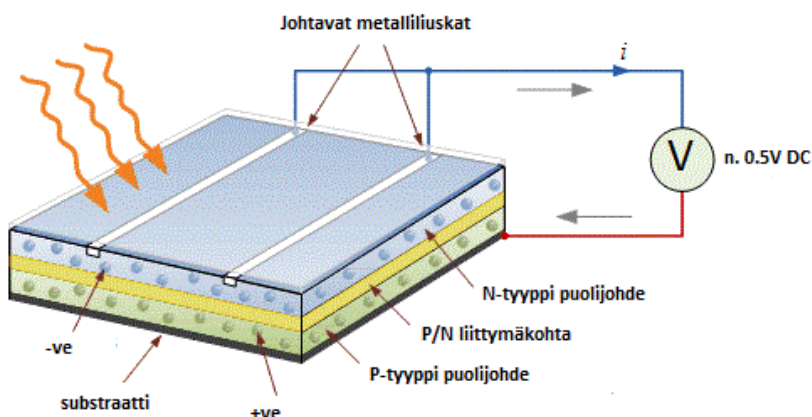
Aurinkosähköjärjestelmät suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Peruskomponentteihin kuuluvat paneeli, vaihtosuuntaaja ja AC-puolen katkaisija. Asennusmekaniikan valinta perustuu asennettavaan kattotyyppiin ja katon rakenteisiin. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan järjestelmän eri komponentteja, mitä niiden valintaan vaikuttaa ja mihin käyttötarkoitukseen ne yleisesti sopivat.

3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit ovat kiinteitä ja passiivisia laitteita, eli niissä ei ole mitään liikkuvaa mekaniikka, jonka johdosta hyvälaatuisille paneeleille annetaan 25 vuoden nimellisteho- takuu ja odotettu toiminta-aika voi olla peräti 40 vuotta. Valosähköistä ilmiötä hyödyntäen paneelien kennot muuntavat auringonvalon sähköksi. Yksi kenno tuottaa keskimäärin 0,5 voltia. Kiinteistö käyttöön tarkoitetuissa (noin 1,65 x 1 m) paneeleissa on kennoja 60, joten näin ollen paneeli tuottaa noin 30 V. Paneeleja valmistetaan aivan pienistä 20 W paneeleista yli 300 W tehosiin paneeleihin. Tällä hetkellä selvästi yleisimmät paneelit ovat keskimäärin teholtaan 260 W. Australiassa onnistuttiin viime vuonna tuottamaan ulko-olosuhteisiin paneeleita, joiden hyötysuhde oli ennätyselliset 35 %. Korkean hyötysuhteen paneeleita on ainakin tällä hetkellä vielä hyvin hankalaa ja kallista tuottaa, mikä johtaa korkeaan tuotantohintaan. Kannattavuuden kannalta on edullisempaa hankkia normaali 15–20% hyötysuhteen paneeli. Kuluttajan kannalta on parempi katsoa paneelien euroa per watti €/W hintaa ja luvattua takuu-aikaa. [1; 5.]

3.2 Tyypit

Aurinkokennotekniikkaa hyödyntäviä tyyppejä on yksi- ja monikide paneelit sekä ohutkalvo tekniikka eli aforminen muoto. Kennot ovat kooltaan keskimäärin 90–160 mm x 120–160 mm ja 0.2–0.3 mm paksuja (kuva 4.1). Laadukkaissa paneeleissa kennot ovat suojattu paksulla rakennelasilla. Rakennelasin rakenteessa on pieniä prismoja, joiden kautta epäsuora säteily heijastuu tehokkaammin kennoille. [5.]

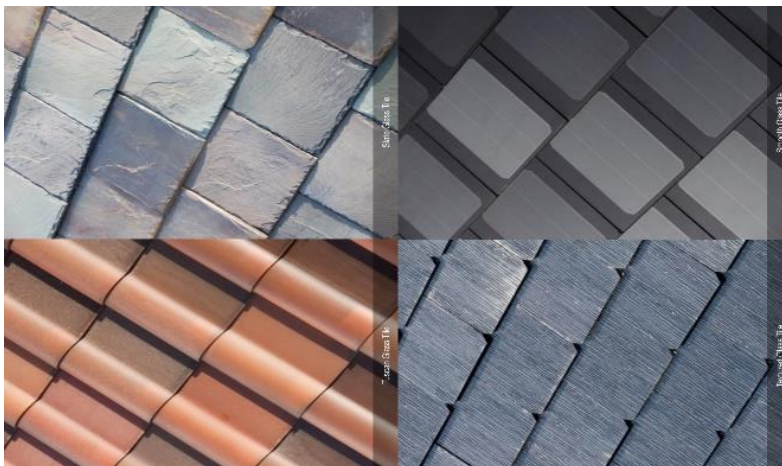


Kuva 4.1 Kennorakenne [6]

Kiinteistökäytössä käytetään yleisesti yksi- ja monikidepaneeleita. Ohutkalvokennoja on tähän asti käytetty suurimmissa osin tekstiileissä ja pienissä elektroniikkalaitteissa. Kiinteistökäyttöön suunnattua ohutkalvotekniikka on jo joidenkin tahojen puolesta tuotu markkinoille ilman suurempaa menestystä perinteiseen paneeliin verrattuna. Tois-taiseksi kiinteistö käyttöön suunnatut ohutkalvokennot eivät ole kilpailukykyisiä yksi- ja monikidepaneelien kanssa, ja pitkästä toimintavarmuudesta ei ole tarkempia vakuuksia. Ohutkalvokennoja kehitetään jatkuvasti ja tulevaisuudessa tilanne saattaa olla toisin.

Tesla julkaisi vuoden 2016 lopulla innovatiivisen aurinkosähkö-konseptin Tesla Solar Roofin. Solar Roof-järjestelmässä aurinkosähkökennot ovat suoraan integroitu kattoma-teriaaliin (kuva 4.2). Tesla piti tuotteestaan demotilaisuuden ja näyttäisi siltä, että tavoit-teena on saada tuote laajemmille markkinoille ainakin Yhdysvalloissa. Hinnasta ja kan-nattavuudesta ei ole vielä tarkempia tietoja.

Todennäköisesti tuote tulee ainakin aluksi olemaan kalliimpi kuin perinteiset yksi- ja mo-nikidepaneeleilla toteutetut järjestelmät. Varsinkin tilanteissa, jossa Solar Roof haluttai-siin asentaa jo olemassa olevan katon sijalle, tulee investointi mahdollisesti olemaan hintava. Jos Teslan konsepti todetaan hyväksi, saattaa tämä tekniikka tulevaisuudessa kiinnostaa kuluttajia, jotka vasta rakennuttavat uutta kattoa tai eivät halua näkyviä pa-neeleita katolleen. Tämän tekniikan toimivuus on edelleen hieman kyseenalaista ja vuosi 2017 luultavasti näyttää, onko kyseessä oikeasti tekniseltä toimivuudeltaan ja kannatta-vuudeltaan varteenotettava aurinkosähköjärjestelmä. [10.]



Kuva 4.2 Tesla Solar Roof [32.]

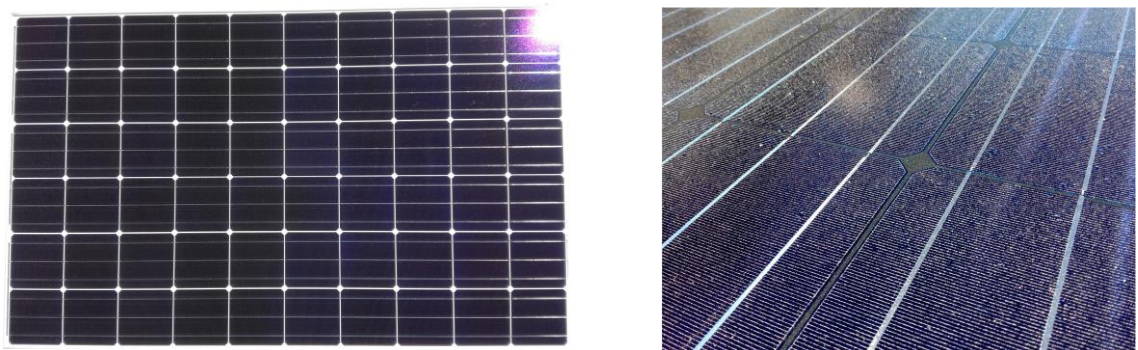
Kaikki aurinkokennoversiot valmistetaan eri variaareista pii (Si) puolijohdemateriaalia. Valmistusprosessit eroavat toisistaan, mikä johtaa ulkonäöltään melko selkeisiin eroavaisuuksiin.

Monikidepaneeleita on helpompi ja halvempi tuottaa kuin yksikidepaneeleita ja kennot voidaan leikata neliön muotoisiksi (P-Si) aihioiksi (kuva 5). Monikiteessä on tasainen, yhtenäinen pinta. Paneeleista voidaan helposti luoda pinta-alaltaan eri kokoisia. Kennon kiderakenne on heterogeeninen ja eroaa selvästi yksikiteisen rakenteesta. Suurin osa tuotetuista monikidepaneeleista ovat väriltään sinisiä. [5.]



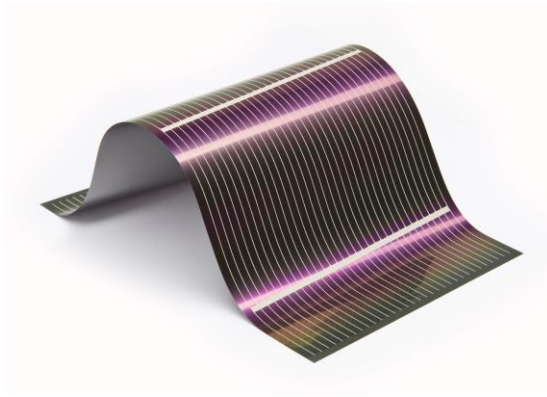
Kuva 5 Monikide

Yksikiteen pyöristetyt kulmat ja kennojen väliin jäävä salmiakkikuvio johtuu valmistusprosessista, jossa kennot sahataan yksikiteisistä (mono-Si) piikiekoista (kuva 6). Kiekoista ei ole kannattavaa luoda neliön muotoisia, jotta kallista raaka-ainetta menisi mahdollisimman vähän hukkaan ja paneelin aktiivinen pinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Valtaosa yksikidepaneeleista ovat väriltään mustia tai hyvin tummansinisiä. [5.]



Kuva 6 Yksikide

Ohutkalvo kennoja (kuva 7) luodaan pääsääntöisesti kolmesta puolijohdemateriaalista. Nämä materiaalit ovat amorfinen pii (a-Si), kadmium-telluuri (CdTe) ja kupari-indium-gallium-diseenidi (CIS/CIGS). Yleisin ohutkalvo materiaali on amorfinen pii, jolla toistaiseksi on ylletty parhaimmillaan vain noin 9 % hyötysuhteeseen. CdTE- ja CIGS-tyypeillä ylletään jo samaan hyötysuhteeseen kuin perinteisillä kidepaneeleilla. CdTe-ohutkalvojen haittapuolina on huonompi taipuisuus ja kadmium-telluuri metalli luokitellaan ympäristölle haitalliseksi. CIGS-ohutkalvot kykenevät parhaaseen hyötysuhteeseen (n. 20 %) ja valmistuksessa käytetään huomattavasti vähemmän haitallista kadmium-telluuria. [7; 10.]



Kuva 7 Ohutkalvo [34]

3.3 Paneelityyppien vertailu

Teknisiltä ominaisuuksiltaan yksi- ja monikidepaneelin erot ovat häilyvän pieniä ja niillä ei ole suurta painoarvoa paneelia valittaessa. Pääosalle kuluttajista tärkeimmät kriteerit paneelin valinnassa ovat ulkonäkö, käytettävä asennuspinta-ala, hinta sekä laatu. [7;11.]

Lämpötila

Kennojen lämpötilan noustessa teho laskee, mutta tämän vaikutus paneelien tuottamaan tehoon on vähäinen. Suomen olosuhteissa lämpötilavaihtelut ovat pieniä ja eivät nouse paljolti korkeammalle verrattuna paneeli valmistajien testiolosuhteisiin. Paneeli valmistajien lupaamat tekniset arvot suoritetaan tietyissä testiolosuhteissa STC (standard test conditions). Sharp-yhtiön testiolosuhteissa paneelikennon lämpötila on 25 °C.

Yksi- ja monikidepaneelien lämpötilan koeffisienttieroit ovat hyvin marginaalisia noin 0,01–0,1 % / °C. Lämpötilan koeffisienttiarvot tulisi aina näkyä paneelien data-lehdissä.

Se, kumpi paneelityyppi toimii paremmin lämpötilan noustessa, on täysin valmistajakoh- tainen. Väitteet eri lähteiden välillä paneelityyppien paremmuudesta korkeissa lämpöti- loissa ovat ristiriitaisia. Monet paneelityyppejä vertailevat tahot väittävät yksikiteen kes- tävän lämpötiloja paremmin, mutta seuraavassa vertailussa Sharpin monikidepaneeli omaa lievästi paremman lämpötila koeffisientin. [8; 9.]

Vertailussa on Sharpin valmistamat yksi- ja monikidepaneelit. Kuumana ja kirkkaana ke- säpäivänä Suomessa (yli 25 °C) paneelikennojen lämpötila todennäköisesti liikkuu 40 – 45 asteen välillä. STC olosuhteissa kennojen lämpötila on tuo 25 °C, joten lämpötila- eroksi kaavaan (1.0) on asetettu 15 °C. [12.]

$$P_{\text{häviö}} = \Delta_T \cdot P_h \quad (1.0)$$

$$\Delta_T = \text{lämpötilamuutos} \quad P_h = \text{tehon lasku per } ^\circ\text{C}$$

Taulukko 1 Lämpötilan vaikutus Sharpin yksi- ja monikidepaneeliin [8; 9.]

SHARP	Malli	Tehohäviö	Kenno lämpötilaero	Häviö
		P % / °C	Δt °C	%
Monikide	ND-RJ265	0,42	15	6,3
Yksikide	NU-RJ280	0,44	15	6,6

Suomen olosuhteissa hyvin kuumana kesäpäivänä voi paneelien teho laskea noin 6 pro- senttia (Taulukko 1). Suomessa yli 40 asteen kennolämpötiloihin harvemmin ylletään ja kovalla tuulella lämpötilat jäävät alemmas ympäristön lämpötilasta huolimatta. Kylmällä ilmalla paneelit yltävät jopa testiolosuhteita parempaan tehokkuuteen. Ero yksi- ja moni- kide paneelin välillä tässä tapauksessa on 0,3 %. Esimerkiksi Viiden kilowatin järjestel- mässä tämä summautuu 15 W:n eduksi monikidepaneelille.

Heikko säteily

Aurinkopaneelit saavuttavat parhaan tehonsa suorasta säteilystä, mutta tämä ei ole vaa- dittavaa sähkön tuottamiseksi. Paneelit kykenevät melko tehokkaasti hyödyntämään

myös heikompaa säteilyä. Auringon säde pääsee ohkaisempien pilvien lävitse hajasäteilyinä, ja lisäksi paneelien pinnoille kohdistuu ympäristöstä heijastuneita säteitä.

Kuten lämpötilan kohdalla, myös siitä kumpi paneelityyppi toimii paremmin heikolla vallolla, on nähtävissä ristiriitaisuuksia. Valmistajat eivät vaikuta mainostavan kummankaan tyyppin puolesta ja teknisissä tiedoissa ei ole arvoja tämän selvittämiseksi. Voidaan olettaa, että jos joitain eroja yksi- tai monikidepaneelin välillä on, ovat ne ainakin hyvin vähäiset. Yleisesti paneelit ovat kehittyneet vuosien mittaan, joten eroja tällä osa-alueella saatetaan nähdä uuden ja vanhan mallisten paneelien välillä. [4.]

Takuu ja laatu

Luotettavan ja laadukkaan Euroopassa tuotetun paneelien kohdalla tulisi olla nähtävissä, että tuote täyttää EU-standardit. Tämän lisäksi paneeleissa olisi hyvä olla vähintään 25 vuoden nimellistehotakuu sekä lupaus positiivisista tehon toleranssin arvoista.

Laadukkaissa paneeleissa pitäisi olla lupaus vain positiivisesta tehon toleranssista 0 /+5 %. Tämä toleranssi lupaa, että paneeli tuottaa testiolosuhteissa vähintään luvatusen tehon tai enemmän. Huonommin tuotetuissa paneeleissa sallitaan myös negatiivinen toleranssi -10 / +5 %. Esimerkiksi 200 W:n teholla mainostetulla paneelilla hyvä laatuinen tuote tuottaa testiolosuhteissa 200–210 wattia ja huonompi tuote 180–210 wattia.

Yleensä paneelivalmistajista tarjoavat samat takuuehdot molemmille paneelityypeille. Takuut ovat yleensä kaksiosaisia, jossa on fyysinen materiaali- / komponenttitakuu ja lineaarisesti laskeva nimellistehotakuu. Sharp lupaa kaikille paneeleilleen 10 vuoden materiaali-defekti takuun ja nimellisteho takuun, mikä sallii maksimissaan 20 % lineaarisen tehon laskun 25 vuoden aikana (Taulukko 2). Nimellistehotakuun laskusuhdanne ei ole siltikään suoraan verrattavissa paneelien todelliseen tehon laskuun, varsinkin Suomen sääolosuhteissa. [13.]

Taulukko 2 Sharp nimellistehotakuu [13.]

Year	guaranteed percentage of the minimum output power	Year	guaranteed percentage of the minimum output power
1	97,0%	14	87,8%
2	96,3%	15	87,1%
3	95,6%	16	86,4%
4	94,9%	17	85,7%
5	94,2%	18	85,0%
6	93,5%	19	84,3%
7	92,8%	20	83,5%
8	92,0%	21	82,8%
9	91,3%	22	82,1%
10	90,6%	23	81,4%
11	89,9%	24	80,7%
12	89,2%	25	80,0%
13	88,5%		

Hyötysuhde ja hinta

Yksikidepaneelilla ylletään yleisesti vähän parempiin hyötysuhteisiin. Tyypillinen yksikidepaneelien hyötysuhde on 17–22 % luokkaa ja monikidepaneelien 15–17 %. Yksikiteellä saavutetaan parempi teho per neliometri. Tavallisen (1,65 x 0,98 m) kokoisen paneelin tehot yksikiteellä ovat tyypillisesti 270–310 W ja monikiteellä 250–275 W. Katolla johon esimerkiksi mahtuu 20 paneelia, saavutetaan 300 W:n yksikidepaneelilla 6 kW:n järjestelmä ja vastaavasti 260 W:n monikidepaneelilla vain 5,2 kW:n järjestelmä.

Yksikidepaneelien tuotantokustannukset ovat korkeammat, mikä johtaa hieman korkeampaan myyntihintaan. Kannattavuuden selkeyttämiseksi paneelien hinnat pitää muuttaa euroa per watti hintaan. Monikidepaneelit omaavat marginaalisesti paremman €/W-hinnan. Hintaero on yleensä sen verran pieni, että pienemmissä järjestelmissä kokonaisinvestoinnin ero jää vähäiseksi. [1.]

Preferenssit

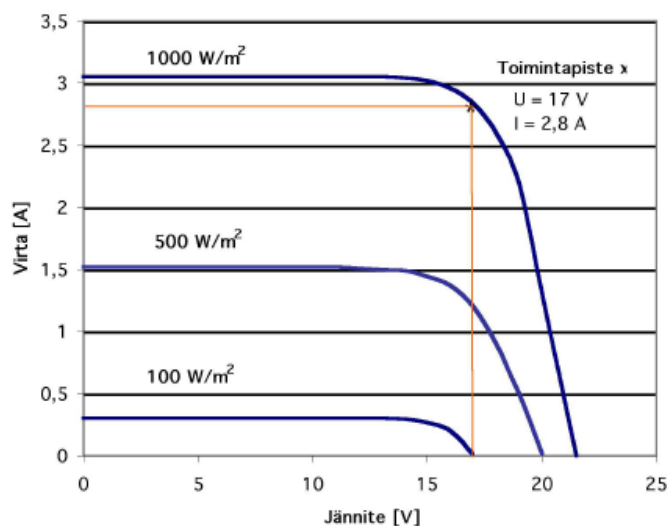
Aurinkoenergia investointina on vähäriskinen, olettaen että valitut laitteet ovat laadukkaita. Suomessa suurin osa kuluttajista valitsevat mieluummin hyvän hintalaatusuhteen omaavan paneelin halvimmän mahdollisen sijaan. Suomessa eniten kaupaksi menee kotimaisia ja tunnettuja eurooppalaisia paneeleita. Investoimalla halvempaan ja vähemmän tunnettuun paneeliin saatetaan säästää rahaa, mutta samalla lisää investoinnin riskiä.

Tavallisesti suurin osa omakotitalon ja pienempien kiinteistöjen omistajat suosivat yksikidepaneeleita, vaikkakin lopullinen pakettihinta olisi vähän korkeampi. Valinta perustuu usein ulkonäköön, tai jos tilaa katolla on rajoitetusti, saavutetaan yksikidepaneelilla hie- man parempi kokonaisteho. Toki monikidepaneeleita näkee myös käytettävän paljon pienissä kohteissa.

Suuret yritystilat ja tehtaot taas suosivat monikidepaneeleita, koska asennuspinta-alasta harvoin on puutetta, ja vaikka hinta per watti on vain marginaalisesti edullisempi, alkaa hintaero isoissa järjestelmissä olla huomattava. Suuri kokoisissa voimaloissa (> 20 kW) harvemmin päädytään valitsemaan yksikidepaneeleita.

3.4 Ominaiskäyrä

Kaikki paneelit jännitekäyttäytyvät niiden ominaiskäyrän I-U mukaisesti (kuva 8) eli paneeleilla on tietty jännitteen ja virran suhde, jolla saadaan paras mahdollinen teho (maksimitehopiste). Virta laskee suhteessa auringon säteen voimakkuuteen ja jännite seuraa perässä. Lämpötilan muutoksella on lievä vaikutus paneelien ominaiskäyrään, täten myös sen tehoon kuten aikaisemmin todettiin. Vaihtosuuntaajien seurantapiirien toimintaperiaate perustuu paneeliryhmän ominaiskäyrän seurantaan. [5.]



Kuva 8 Ominaiskäyrä eri säteilyn määrittä, toimintapiste eli maksimitehopiste [5.]

3.5 Mekaniikka

Mekaniikalla tarkoitetaan profiileita ja kiinnikkeitä, joilla paneelit asennetaan paikoilleen. Asennuksessa käytettävä mekaniikka on täysin riippuvainen kattotyypistä, katon kaltevuudesta ja rakenteista. Paneelit voidaan kiinnittää myös seinään, mutta tämä on melko harvinaista ja kohteet, joihin tätä harkitaan ovat yleensä julkisella paikalla sijaitsevia suurempia kiinteistöjä joiden katolla ei ole tilaa tai halutaan luoda kiinteistölle näyttävämpi esikuva. Vinokatoilla käytettävät mekaniikat ovat valmistajasta riippumatta yleensä varsin samanlaisia hyvin toimivaksi todettuja kiinnikkeitä. Yksinkertaistettuna kalteville katoille asennetaan kiskojen (profiilien) kiinnikkeet joko poraamalla tai puristamalla suoraan kattoon. Tämän jälkeen alumiinikiskot liitetään kiinnikkeisiin, joiden päälle puristetaan paneelit valmistajakohtaisilla paneelikiinnikkeillä.

Alumiinikiskot eivät koske kattoa, vaan paneelien ja katon väliin tulee jäädä noin 10 cm vapaa ilmaväli. Paneelien lämmitessä lämmin ilma pääsee paneelien alta karkaamaan ja paneelit pysyvät viileämpinä. Ilmavälillä pidetään sekä paneelit, että katto viileämpänä. Paneelit sijoitetaan katolle aina siten, että ne eivät ylitä katon harjaa. Tasakatoille ei tarvitse kattoon suoraan kiinnittää mitään, vaan voidaan käyttää telineitä, joiden paikoillaan pysyminen varmistetaan painokivillä.

Täysin kiinteistöstä irrallaan olevia järjestelmiä varten löytyy erilaisia maahan pystytettäviä telineitä. Telineet ovat useimmiten yksinkertaisia metallirunkoja. Vaihtoehtoisesti markkinoilta löytyy myös aurinkoa seuraavia runkoja. Aurinkoa seuraavalla järjestelmällä saavutetun energian tuotannon hyöty ei kannattavuudeltaan korvaa korkeampaa ostohintaa.

Peltikatto

Peltikatto on mahdollisesti yleisin kattoasennustyyppi, jota tulee vastaan omakotitaloissa ja keskisuurissa kiinteistöissä. käytettävät alumiinikiskot ovat aina samat riippumatta kohteesta. Käytettävät telineikiinnikkeet toisaalta ovat hyvin erilainen aalto- ja saumapelin välillä.

Saumapeltikatoissa kiinnikkeitä ei tarvitse porata kiinni, sen sijaan ne puristetaan lujasti kiinni saumoihin. Yleensä kiskoista luodaan katolle ristikkopohja, mutta joissakin koh-teissa riittää pelkkä tiiviisti jaoteltu poikittainen kiskopohja. Ulkonäöllisesti kiskojen layoutilla ei ole merkitystä, koska profiilit jäävät paneelien alle piiloon (kuva 9).



Kuva 9 Saumapelti mekaniikka

Aaltopeltikatoissa kiinnikkeet porataan kattoon kiinni. Kiinnikkeet ovat tarkoin suunniteltu siten, että ne pureutuvat vahvasti kiinni pellin alla oleviin kattopuihin. Kiinnikkeissä on kumitiiviste, joka poratessa tukipuuun puristuu peltiin kiinni. Tämä luo täysin vesitiiviin liitoksen (Kuva10).



Kuva 10 Aaltopelti mekaniikka

Tiilikatto

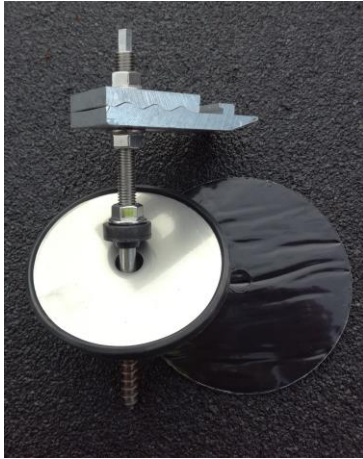
Tiilikatoissa käytettävät kiinnikkeet ovat suurempia, koska ne ruuvataan tiilien alle kattopuihin ja ne koukkaavat tiilien pohjalta esiin. Poikittaissuunnassa noin joka neljännen tiilen paikalla tulee kiinnike sopivaa kiskoja varten. Tiilien pohjapuolelta alajyvystä hiotaan tasainen, jotta tiilet asettuvat hyvin paikoilleen (kuva 11).



Kuva 11 Tiilikatto mekaniikka

Huopakatto

Enemmistö huovalla päällystetyistä katoista ovat tasakattoja ja näissä päädytään usein käyttämään telineitä. Kaltevissa huopakatoissa on harkinnanvaraista, päädytäänkö käyttämään telineitä vai kiskoja. Jos päädytään käyttämään kiskoja, tarvitsee kiinnikkeet porata kattoon. Hupakattokiinnikkeissä on pyöreä laatta, jonka pohjassa on kumitiiviste. Samalla tavalla kuin aaltopeltikatoilla kiinnike pureutuu kattorakenteisiin ja puristaa tiivistelaatan kiinni kattoon, luoden näin vesitiiviin liitoksen. Pieni kaltevuus huopakatoilla ei automaattisesti tarkoita, että tulisi käyttää kiskoja alustana. Joissakin tilanteissa voidaan tarvittaessa painokivien lisäksi käyttää vaijereita systeemin lisätukena (kuva 12).



Kuva 12 Huopakatto mekaniikka

Tasakattotelineet

Markkinoilta löytyy useita tuotemalleja tasokattotelineille. Ulkonäöltään telineet voivat erota toisistaan, mutta perus toimivuudeltaan ne ovat melko samanlaisia. Paneelien kaltevuus telineiden päällä on yleensä noin 15 astetta, ja telineiden välimatka voidaan näin pitää lyhyenä ilman, että telineiden varjot osuvat paneeleihin. Telineet ovat usein yhdistelmä alumiini- ja muovikomponentteja. Telineiden ankkurointi toteutetaan paneelin alle sijoitettavilla painokivillä. Painokivillä ankkuroidussa järjestelmässä on kohteelle erikseen suunniteltava tarkkaan painojakauma ja varmistettava, että kattorakenteet kestävät lisätävän painon. Tärkein eroavaisuus mallien välillä järjestelmän toimittajan kannalta on kokoonpanon helppous.

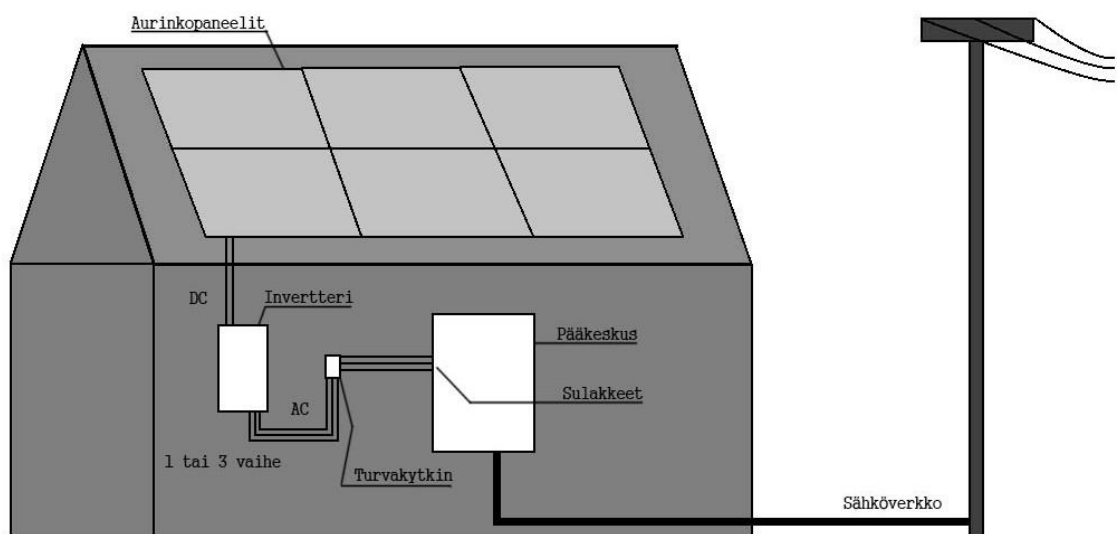
Esimerkkinä on hollantilainen Flatfix Fusion-teline, joka omaa hyvän hintalaatusuhteen sekä nopean ja helpon kokoonpanon. Kokoonpanosta kolmeneljäsosaa voidaan tehdä napsauttamalla komponentit yhteen ilman ruuvaamista. Kyseisen telineen ainoa haittapuoli on hankalampi maadoituksen toteutus verrattuna osaan muista merkeistä (kuva 13).



Kuva 13 Flatfix Fusion

3.6 Järjestelmäkokonaisuus

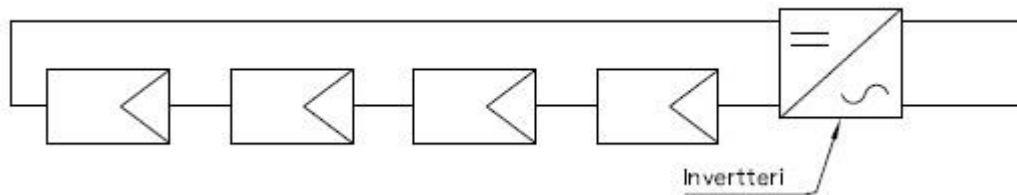
Aurinkosähköjärjestelmät voidaan kytkeä yksi tai kolmivaiheisena, verkkoon kytkettynä (on-grid; kuva 14) tai täysin julkisesta sähköverkosta irrallaan olevalla (off-grid) järjestelmällä. Peruskomponentteihin kuuluvat paneelit, invertteri ja turvakytkin. Yleisimmissä omakotitalo-tyylisissä kohteissa nämä kolme komponenttia riittävät. Verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin asennetaan lisäksi akkupakat sähkön varastoinniseksi. Suuri tehossa järjestelmissä vaaditaan useimmiten DC-katkaisinkoteloita ja mahdollisesti oma AC-keskus inverttereille.



Kuva 14 Verkkoon kytketty järjestelmä

3.6.1 Paneelien kytkentä

Paneelit kytketään keskenään sarjaan eli plus ja miinus navat yhteen ja virta kulkee niin sanotusti jonossa paneelien lävitse invertterille (kuva 15). Kun paneeliryhmät kytketään sarjaan, virta pysyy samana ja jännite kasvaa aina noin 30 voltia per paneeli. Se kuinka monta paneelia voidaan kytkeä sarjaan, riippuu invertterin seurantapiirin (tracker-piiri) jännitteen säätöalueesta.



Kuva 15 Sarjaan kytkentä

On hyvin harvinaista kytkeä ryhmiä rinnan, mutta jos invertterin sallima sisääntulovirta I_{scmax} on riittävän suuri, voidaan näin tehdä. Rinnankytkennässä paneeliryhmän virta tuplaantuu n. 8,6 ampeerista 17,2 ampeeriin. Suurimmassa osassa markkinoilla myytävissä inverttereissä on vähintään kaksi seurantapiiriä. Tilanteessa, jossa paneeleja asennetaan katon harjanteen molemmiin puolin, käytetään joko paneelikohtaisia virransäätöyksiköitä (mikroinvertteri / DC-tehostin) tai ryhmät kytketään kahteen eri tracker-piiriin invertterissä. Rinnankytkettyihin järjestelmiin ei käytännössä lähes koskaan päädytä, koska virran kaksinkertaistaminen kasvattaa tehon häviötä. Pienen kapasiteetin järjestelmät kytketään yleensä yksivaiheisesti keskukseen. Yli 3,7 kW järjestelmät on kytkettävä kolmivaiheisesti. [1; 14.]

3.6.2 Vaihtosuuntaaja

Invertteri eli vaihtosuuntaaja muuntaa paneelien tuottaman tasavirran (DC) vaihtovirraksi (AC). Invertteri seuraa jatkuvasti paneeliryhmien syöttämää jännitettä ja säätelee tasajännitepuolen virran suuruutta tämän mukaan. Pitämällä virran ja jännitteen suhdetta ominaiskäyrän huippupisteessä invertteri saavuttaa järjestelmälle parhaan mahdollisen hyötysuhteen. Invertterien hyötysuhde liikkuu valmistajasta ja kytkennästä riippuen 96–98 % välillä. [17.]

DC/AC-muunnon lisäksi ne vaiheistavat ulostulevan sähköän taajuudeltaan ja aallonpituudeltaan muuhun sähköverkkoon sopivaksi. Invertterit lopettavat välittömästi toimintansa, jos yleisellä jakeluverkolla syntyy sähkökatkos. Verkkoon kytkettyjä järjestelmiä ei

täten voida hyödyntää sähkökatkoksen aikana. Aurinkosähkössä sovellettavat invertterit sisältävät muitakin ominaisuuksia, kuten mittaus- ja suojaustoimintoja sekä kattavan käyttöjärjestelmän. Invertterit ovat tekniikaltaan hyvin monimutkaisia laitteita.

Käyttöjärjestelmällä voidaan säätää eri mittaus- ja toimintotapoja. Invertterit mittaavat tuotetun sähkön ja kytkemällä nettomittarin pääkeskukseen, laite voi mitata myös yleiseen verkkoon menevän sähkön määrän. Kaikki data voidaan lähettää verkkoon liittämällä invertteri kiinteistön internet-liittymään joko data kaapelilla tai langattomasti. Valmistajat tarjoavat laitteilleen oman web-sovelluksen, josta dataa voidaan seurata suoraan mobiililaitteesta tai tietokoneelta. [32.]

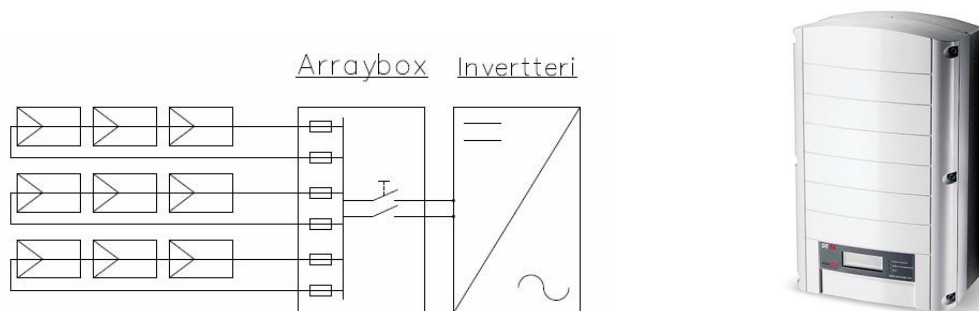
3.6.3 Invertterimallit ja soveltuvuudet

Kaksi yleisintä aurinkosähköjärjestelmissä maailmalla käytettyä invertterityyppiä ovat ketjuinvertteri ja mikroinvertteri. Ketju- ja mikroinverttereistä löytyy eri käyttötilanteisiin soveltuvia malleja. Suomessa lähes kaikki järjestelmät toteutetaan ketjuinverttereillä. Muu muassa Yhdysvalloissa mikroinverttereillä on tarpeeksi kysyntää pysyäkseen markkinoilla, mutta Suomessa toistaiseksi tätä järjestelmämallia harvemmin näkee. Mikroinverttien sijaan Suomessa suositaan pienissä kohteissa DC-tehostimia.

Ketjuinvertteri (string inverter) on perinteinen vaihtosuuntaajamalli, mitä käytetään lähes kaikissa aurinkosähköjärjestelmissä. Sana ketju tulee siitä, kun paneelit kytketään sarjaan ja paneeliketjut liitetään omana ryhmänään invertterille. Ketjuinvertterien kytkentämahdollisuudet ovat mallikohtaisia.

Pienemmissä omakotitalo tyyppisissä kohteissa tehot liikkuvat yhdestä kilowatista kahdeksaan kilowattiin. Asiakkaan halutessa vaikka 6 kW:n järjestelmän, kytketään yksikötehosta riippuen paneelit esimerkiksi yhtenä 20–23 ryhmänä invertterille.

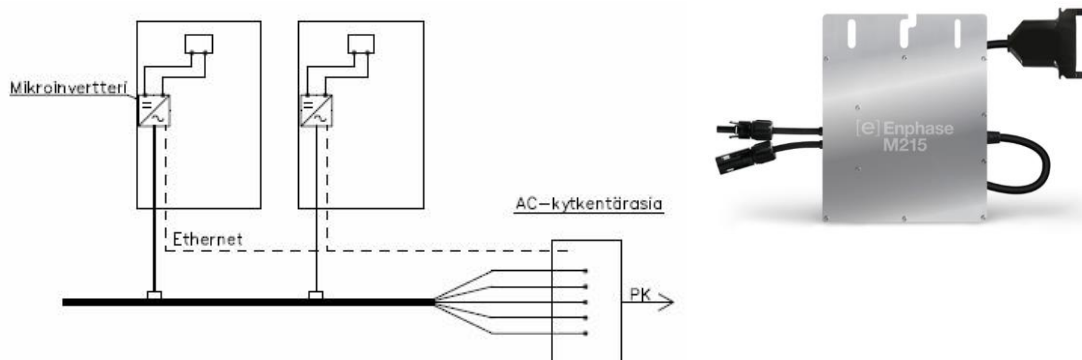
Suuritehoisille (30 – 50 kW) ketjuinverttereille voidaan useampi paneeliryhmä suojata ja koota yhteen DC-katkaisinkoteloissa (Arraybox) ja kytkentä invertterille tapahtuu yhdellä 16 – 25 mm paksulla kaapelilla (kuva 16). Vaihtoehtoisesti markkinoilla on myös malleja kuten ABB Trio50.0, jossa on 12 – 16 (SY/SX) sisääntuloa. ABB Trio (SX) mahdollistaa kuudentoista erillisen ryhmän kytkennän suoraan invertterille ja tulot suojataan invertterissä. [15.]



Kuva 16 Moniryhmäinen järjestelmä käyttäen Arrayboxia

Ketjuinvertterien ainut haittapuoli on varjojen vaikutus koko ryhmän tehokkuuteen. Yhden tai useamman paneelin varjosta johtuva jännitteen lasku vaikuttaa osaltaan koko ryhmän tehon tuottoon. Invertterin seurantapiiriin on vaikea säätää optimaalista jännitteen ja virran arvoa koko paneeliryhmälle, jos osa paneeleista on varjossa. Ongelmilta vältytään sijoittamalla koko paneeliryhmä pois varjoisilta alueilta ja samaan ilmansuuntaan suunnattuna. [16.]

Mikroinvertterit ovat pieniä, paneelikohtaisia inverttereitä, jotka asennetaan jokaiselle ryhmän paneelille. Mikroinvertterit hoitavat tasasähkön muunnon vaihtosähköksi paneelilla ja paneelit kytketään suoraan keskukselle (kuva 17). Jokainen paneeli toimii näin omanaan ja valmistajan tarjoamilla mittauslaitteilla voidaan tuotantoa seurata paneelikohtaisesti. Suurin etu ketjuinvertterijärjestelmään verrattuna on varjojen huomattavasti vähäisempi vaikutus järjestelmän kokonaistuotantoon. Mikroinverttereillä yksittäisen paneelin virran ja jännitteen lasku ei vaikuta järjestelmässä muiden paneelien toimintaan. Mikroinvertterivalmistaja Enphase väittää laitteiden parantavan myös paneelien tehokkuutta heikolla säteilyllä. [17.]



Kuva 17 Mikroinvertteri järjestelmä / Enphase mikro-invertteri [17.]

Mikroinverttereihin investointi tulee huomattavasti kalliimmaksi kuin ketjuinvertterillä toteutettu järjestelmä. Yhdysvalloissa tyypillisessä 5 kilowatin järjestelmässä joudutaan mikroinverttereillä maksamaan arviolta 1000 \$ enemmän (7/2016). Alkuinvestoinnin hintaeroa kuitenkin kompensoi mikroinvertterien takuu-aika. Enphase lupaa laitteilleen 25 vuoden takuuajan, kun taas tyypillinen takuu-aika laadukkaalle ketjuinvertterille on 10 vuotta. Ketjuinvertterit saattavat toimia takuu-aikaa pidempään, mutta paneelien eliniän aikana ketjuinvertterin vaihto on välttämätöntä toimenpide. [18.]

Mikroinvertterien hinnat ovat olleet jatkuvasti lievässä laskussa, mutta toistaiseksi järjestelmän tuomat edut eivät näyttäisi korvaavan hintaeroa. Mikroinverttereitä saatetaan käyttää pienemmissä kohteissa, joissa pieni ryhmä paneeleita halutaan asentaa katon eri lappeille, tai jos katolle syntyy varjoja, joita ei voida poistaa.

DC-tehostin (DC/DC -muunnin) on paneelikohtainen laite, mikä toimii yhdessä ketjuinvertterin kanssa. Toisin kuin mikroinvertterit, DC-tehostin ei muunna sähköä vaihtosähköksi ja paneelit kytketään edelleen ketjuinvertterille (kuva 18). Laite seuraa erikseen jokaisen paneelin omaa huipputehopistettä MPPT:tä (Maximum Power Point Tracking) ja pyrkii optimoimaan paneelin jännitettä automaattisesti. [19.]

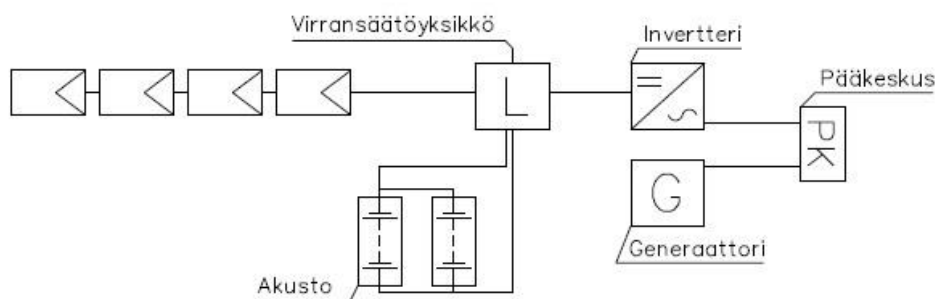
Solaredge on ylivoimaisesti suurin ja tunnetuin DC-optimizer-tekniikan tarjoaja pitämällä yli 70 % markkinaosuutta tällä segmentillä. Solaredgen laitteilla tehoja voidaan seurata paneelikohtaisesti ja DC-tehostimille tarjotaan 25 vuoden takuu. Kuten mikroinvertteri, DC-tehostimen hankinta voi olla kannattavaa, kun halutaan joustavuutta paneelien sijoittamiselle ja vähemmän huolia ympäristön haitoilta. [19.]



Kuva 18 Solaredge DC-tehostin-järjestelmä [19.]

Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä yleistynyt hybrid-invertteri yhdistää tavallisen invertterin ominaisuudet ja samalla hoitaa virranjakamisen kiinteistön kuorman ja akkupakan välillä. Hybridinverttereistä löytyy myös malleja, joissa tasasuuntaaja ja akkuvastasto ovat kaikki integroitu saman kannen alle.

Off-grid-järjestelmissä vaihtoehtoisena ratkaisuna on hankkia perinteinen invertteri ja erillinen lataussäädin (kuva 19). Hyvin pienissä alle 2 kW:n järjestelmissä käytetään yleisimmin pienitehoista vaihtosuuntaajaa ja lataussäädintä. Monesti järjestelmän ratkaisuun vaikuttaa pakettin lopullinen hinta.



Kuva 19 Esimerkki off-grid järjestelmästä. Invertteri + lataussäädin

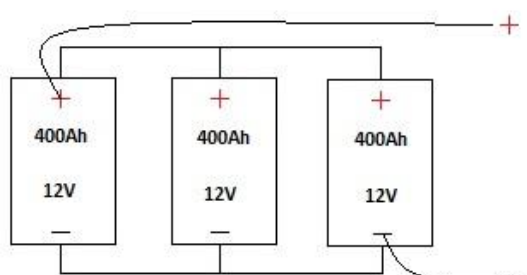
3.6.4 Akut

Kaikkiin verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin asennetaan akkupaketti sähkön varastointia varten. Sähkö varastoidaan akkuihin ja voidaan optimoida käytettäväksi silloin, kun se on kannattavaa. Mökeillä on tapana tehdä järjestelmä, mikä koostuu aurinkopaneeleista, hybrid-invertteristä tai (virransäätimestä ja invertteristä), akuista ja generaattorista. [1.]

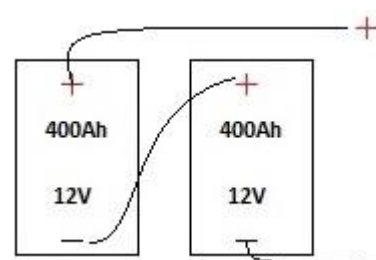
Aurinkosähköjärjestelmissä suositetaan pidempikestoisia AGM-akkuja. Ampeeritunti (Ah) kertoo akun kokonaisvaruskyvyn, eli sen kuinka monta ampeeria akku kykenee purkamaan tunnissa. Aivan pienimpien AGM-akkukennojen nimellisjännite on 2 voltia ja suurin 12 voltia. [20.]

Akkujen valinnassa on huomioitava kapasiteetin tarve. Purkausaika tulee tarkistaa lasketulla kapasiteetilla, jotta virtaa riittää varmasti ympäri vuorokauden. Akkupaketti on kannattavaa ylimitoittaa. Ylimitoituksella lisätään akkujen elinikää, käyttömukavuutta ja varmistetaan kapasiteetin riittävyys kylmälläkin ilmalla. Kova pakkanen voi viedä jopa viidenneksen akkujen tehokkuudesta. [20.]

Akkujen kytkentä riippuu syötettävistä kulutuslaitteista ja käytettävien akkujen nimellisjännitteestä. Mökin perus kulutuslaitteet kuten pienet jääkaapit, valaistus ja televisio, soveltuu yleensä käytettäväksi 12 V ja/tai 24 V. Suuremman jännitteen etuna on pienemmät häviöt johtimissa. [20.]



Kuva 20 Akut rinnankytketty



Kuva 21 Akut sarjankytketty

Rinnan kytkettynä (kuva 20) akkujen jännite pysyy nimellisarvossa ja yhteiskapasiteetti kasvaa:

$$12V, 3 \cdot 400A_h = 1200A_h$$

Sarjaan kytkettynä (kuva 21) akkujen jännite kasvaa ja kapasiteetti säilyy samana:

$$400A_h, 2 \cdot 12V = 24V$$

Akkuteknologiassa ei toistaiseksi olla nähty mitään mullistavia parannuksia. Toisin kuin aurinkopaneelien, hinnat ovat pysyneet varsin samalla tasolla jo pitkään. Korkeiden hintojen vuoksi tällä hetkellä ei ole taloudellisesti kannattavaa hankkia akkuja verkkoon kytkettyihin järjestelmiin.

Mediassa paljon puhuttu omakotitaloon suunnattu Teslan powerwall (kuva 22) vaikuttaa houkuttelevalta konseptiltä. Tarvittaessa käytetään sähkö suoraan ja, muulloin varastoidaan ylimääräinen sähkö talteen ja hyödynnetään varastoitu sähkö ilta- yöaikaan. Teslan powerwall on hinnaltaan erittäin kilpailukykyinen tuote, mutta kun lasketaan sähkön hinta per purkauskerta ja verrataan tilanteeseen, jossa varastoinnin sijaan myydään sähkö verkkoon, jäädään lievästi tappiolle. [1.]



Kuva 22 Tesla Powerwall [21.]

Hinta: 3000e

Purkausten määrä: 5000

Kapasiteetti: 7kWh

Purkaus hinta: $3000 / 5000 \times 7 \text{kWh} = 8,5$ senttiä/kWh

VS

Ostosähköhintaa: 13 senttiä/kWh

Myydyn sähkön korvaus: 6 senttiä/kWh

Ero: $13 - 6 \text{ snt} = 7$ senttiä/kWh

3.6.5 Muut komponentit

Standardi IEC 60755 vaatii aurinkosähköjärjestelmän AC-puolelle asennettavaksi turvakytkimen (kuva 23). Kytkin asetetaan invertterin ja sähkökeskuksen väliin. Turvakytkimellä voidaan helposti ja turvallisesti katkaista aurinkosähköjärjestelmä pois kiinteistön

sähköverkosta. Yleisesti kytkin tulisi aina asentaa tilaan, johon on esteetön pääsy. Asiakkaan halutessaan turvakytkimen sisätiloihin tulee hänen neuvotella kytkimen sijoituksesta sähköyhtiönsä kanssa. [14.]



Kuva 23 Turvakytkin

DC-katkaisinkoteloja toiselta nimeltään arraybox käytetään monesti isotehoisissa voimaloissa (kuva 24). Paneeliryhmät kytketään koteloon suojaamalla jokainen plus- ja miinuskaapeli 15 tai 16 ampeerin johdonsuojakatkaisijalla. Arrayboxissa ryhmät kootaan ja vietään yhdellä 16–25mm solar-kaapelilla invertterille. Kotelon takaiset paneeliryhmät voidaan sulkea katkaisin vivulla. Arrayboxien käytöllä on monta etua suurissa kohteissa. Niillä voidaan parantaa järjestelmän selektiivisyyttä ja toimivat lisä ukkossuojana inverttereille, joissa ei ole erillistä suojausta tämän varalle.

Suurissa kohteissa joissa paneeliryhmiä saattaa olla kymmenittäin on fiksumpaa koota lukuisat 6mm solar-kaapelit kotelossa ja viedä kiinteistön sähkötiloihin yhdellä paksulla kaapelilla. Huoltotöitä suorittaessa voidaan paneeliryhmät mieluummin katkaista arrayboxilla invertterin virrankatkaisun sijaan.



Kuva 24 DC-katkaisinkotelot

4 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

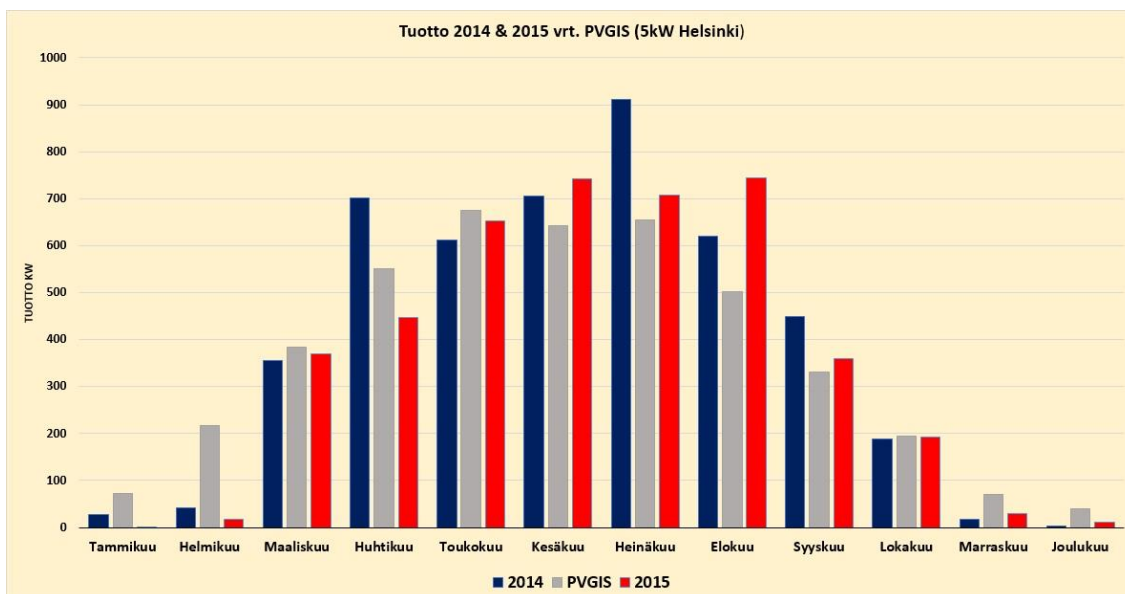
Aurinkosähköjärjestelmä tulee mitoittaa siten, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä menee omaan käyttöön. Sähkøyhtiöt maksavat myydystä sähköstä vain tukkuhinnan, mikä sopimuksesta riippuen on 3–6 snt/kWh. Suomessa yhden kilowatin järjestelmä tuottaa vuodessa keskimäärin 800–900 kWh. [3.]

Mitoitus tehdään kiinteistön kulutusprofiilien perusteella. Vuoden kokonaiskulutus jaetuna vuoden päiville ei ole soveltuva arviointitapa aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa. Kulutuksesta olisi hyvä olla dataa kuukausikohtaisesti sekä mahdollisesti tyypillisen kesäpäivän tuntikohtaisesta kulutuksesta. Kulutusta arvioitaessa keskitytään kesäaikaan (huhtikuu-syyskuu), jolloin tuotto on parhaimmillaan ja ylimääräisen sähkön tuotto todennäköistä. Kulutustietoja voi selvittää omalta sähkøyhtiöltään tai arvioida itse sähkölaskuista.

Järjestelmän tuotantoarvioinnissa on suositeltavaa testata PVGIS-webyökaluja. Laskurit antavat realistisen keskiarvon järjestelmän tuotolle ottaen huomioon sijainnin, lämpötilavaihtelut ja muut häviöt. Aurinkoenergiafirmat avustavat mitoituksessa tai haluttaessa hoitavat sen täysin asiakkaan puolesta. Yleisesti noin 10–20 % ylimitoitus on normaalia. [1; 22.]

Invertterivalmistajat tarjoavat asiakkailleen tunnukset web-sovellukseen, johon voidaan rekisteröidä oma aurinkovoimala. Invertteri lukee tuottoa reaaliajassa ja päivittää tiedon tuntikohtaisesti tietokantaan.

Verrataan PVGIS-laskurin arvioita todelliseen aurinkovoimalan tuottoon (Kuva 25). Voimalan tuotantotilat ovat SMA:n sunnyportal tietokannasta. Järjestelmän koko on 5 kW ja sijaitsee Helsingissä. Tuotantoarvio on luotu EU-projekti PVGIS-laskurilla. [22; 23.]



Kuva 25 Todellinen tuotanto verrattuna PVGIS-laskurin arvioon

Taulukko 3 Vuoden kokonaistuotot ja arvio

	Kokonaistuotto (kW)	vrt. arvioon (kW)	vrt. arvioon %
PVGIS	4340		
2014	4641	301	6,9
2015	4277	63	1,4

Kuvaaja 25 havainnollistaa hyvin, kuinka paras tuotanto ajoittuu huhtikuusta syyskuun lopulle. PVGIS-laskuri estimoii alku- ja loppuvuoden tuotannon yläkanttiin. Varsinkin tammi- ja helmikuussa jäädään reilusti alle arvion. Päinvastoin taas kesä-, heinä- ja elokuussa ylletään reilusti laskurin arvoja ylemmäs. Vuonna 2014 oli verrattain hyvät sääolosuhteet ja aurinkovoimalalla netottiin yli 300 kW arviota enemmän (Taulukko 3). Laskurin arviossa ja voimalan tuotossa päädyttiin lähes samoihin tehon määriin vuonna 2015. Tulokset todentavat hyvin, kuinka vahvasti sääolosuhteet vaikuttavat vuotuisen tuotantoon. Vuoden 2014 huhtikuu sekä heinäkuu olivat erittäin suotuisia ja vuoden kokonaistuotto oli peräti 8,5 prosenttia parempi kuin vuonna 2015.

4.1 Optimointi

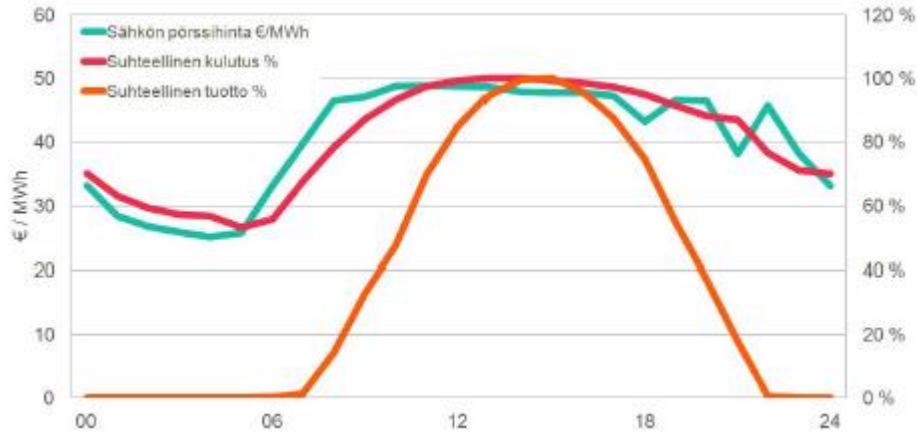
Optimointi on tärkeää ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa. Kuten jo todettu paneelien tuottamasta sähköstä tulisi mahdollisimman paljon käyttää itse, saadaakseen suurimman hyödyn. PVGIS-taulukosta nähdään, että huomio sähkön käyttöön liittyen tulee keskittää kesäajalle. Marraskuusta tammikuuhun aurinkosähköstä ei saada hirveästi hyötyä esimerkiksi kiinteistön lämmitykseen. Viimeistään maaliskuussa vuorokauden valoisa aika ja sääolosuhteet tarjoavat järjestelmälle tarpeeksi virtaa kiinteistön lämmitykseen päiväsaikaan.

Pienkohteiden aurinkosähkön käytön optimointi kesäajalle on yleensä haasteellisempaa, joten mitoitusvaiheessa vaaditaan kesäpäivien tuntikohtaista analyysiä. Pientalouksien yleisimpiä laitteita, joilla kulutusta voidaan säädellä ovat mm lämminvesivaraaja, ilmalämpöpumppu, automaattiset LVI-laitteet, lattialämmitys ja sähköauto.

Sähköautot ovat pikkuhiljaa yleistymässä, ja julkisia latauspisteitä on tarjolla jo reilusti, mutta tästä huolimatta valtaosa sähköauton omistajista haluavat oman latauspisteen kotiinsa. Sähköauto toimii periaatteessa täydellisenä sähkön varastointiyksikkönä aurinkoenergiajärjestelmälle. Hybridiautojen akkukapasiteetit liikkuvat 5–20 kW:n välillä ja sähköautojen kapasiteetti on 20 kW:sta peräti 100 kW:n asti (Tesla Model S 100 kW). Tällä hetkellä sähköautojen keskiarvo-kapasiteetti on 25–30 kW:n luokkaa. [24.]

Kesällä Suomessa valoisa aika on tunnetusti hyvin pitkä. Ilta-auringon säde ei ole yhtä vahva kuin keskipäivän suora paiste, tästä huolimatta paneeleilta saadaan varsin hyvä teho illallakin. Virtasyöpöt kodinkoneet kytketään itse alkuillasta päälle tai ajastetaan KNX-järjestelmällä. Myös jääkaapit ja pakastimet auttavat aurinkosähkön kulutuksessa pitkin päivää.

Yrityksien ja muiden julkisten palveluiden kiinteistöissä aurinkosähkön hyödyntäminen ei ole yhtä suuri huolen aihe, koska kulutus on yleensä korkea ympäri vuorokauden myös kesäajalla. Keskipäivällä sähkön kulutus, pörssihinta ja voimalan tuotto ovat kaikki korkeimmillaan yhtä aikaan. Parhaan tuotannon ajankohta kohtaa kulutuksen (kuva 26).



Kuva 26 Suvilahden aurinkovoimalan. Yhtäaikainen tuoton, kulutuksen ja hinnan huippu. [3. s.19.]

5 Kannattavuus

Jos aurinkosähkön kannattavuuteen haluaa perehtyä perin pohjin, on suositeltavaa lukea Aalto-yliopiston tekemä ”Finsolar Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa” tutkielma. [3.]

Monesti aurinkosähkön kannattavuudesta puhuttaessa ensimmäisenä esiin tuodaan takaisinmaksuaika. Pelkkää takaisinmaksuaikaa ei siltikään tule pitää ainoana kannattavuuden arviointimenetelmänä. Takaisinmaksuajan lisäksi huomioidaan mm.

- kiinteistön markkina-arvon nousu
- toiminta-aika 30–40 vuotta
- huoltovapaus
- omavaraisuus
- ekologisuus
- imago / brändi.

Kaupan kokonaishinta kannattaa kääntää euroa per watti hintaan. Lisäksi verkosta löytyy lukuisia kannattavuuslaskureita, joilla voi ottaa selvää aurinkosähkön LCOE:sta (levelized cost of energy), mikä huomioi alkuinvestoinnin, käyttöikätuoton ja ylläpitokustannukset. [3.]

5.1 Aurinkopaneelien hinnan lasku

Yksinkertaisessa ja pienessä kohteessa hinta koostuu paneeleista, invertteristä, teline mekaniikasta, kaapeleista ja asennuksesta. Paneelien osuus investoinnin kokonaishinnasta vaihtelee eri investointien välillä. Yleisesti paneelien osuus kokonaishinnasta liikkuu 35–50 % välillä.

Vuoden 2009–2015 välillä paneelien hinnat ovat laskeneet peräti 70 %. Monikide paneelien hinnat laskivat 2015 vielä noin 8 %. Hinnat ovat edelleen maltillisessa laskussa ja valmistajat käyvät jatkuvasti kustannustason kipurajoilla pysyäkseen mukana kovassa markkinataistossa. Paneeleista on tällä hetkellä maailmalla ylitarjontaa ja Kiinaa voidaan osaltaan syyttää tarjonnan kärjistämisestä tuottamalla peräti 2/3 maailman paneeleista. Maailman toiseksi suurin valmistaja Canadian Solar arvioi paneeliensa kustannushinnaksi 37 dollarisentin wattihintaa (2016/3) ja ennustaa sen lähenevän 30 cc/W 2017 loppulla. Aurinkoenergian kysynnän uskotaan jatkavan kasvuaan vielä pitkään. Paneelien hinnoissa ei todennäköisesti tulla näkemään jatkossa mitään rajuja laskuja. [25.]

5.2 Takaisinmaksu

Takaisinmaksuun vaikuttaa monta tekijää. Merkittävimmät takaisinmaksuun vaikuttavat tekijät ovat järjestelmän oikein mitoitus, rahoituksen korkokanta, laitteiston hinta, omakustannus ja sähkön hinnan nousuarvio. Tällä hetkellä tyypilliset takaisinmaksuajat ovat kotitalouksille 10– 5 vuotta ja yrityksille, kunnille sekä tehtaille 8–13 vuotta. Taulukossa 4 on Finsolar-tutkimuksen julkaisemia tyypillisiä euroa per wattia hintoja (2014–2015). [3.]

Taulukko 4 Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hankintahinnat 2014 – 2015 [3. s.33]

Järjestelmän koko, kWp	Esimerkkejä asennuskohteista	Järjestelmän hankintahinta €/Wp
3 – 20 kWp (pienet järjestelmät)	Omakotitalot ja asunto-osakeyhtiöt	1,6- 2,5 €/Wp (sis. ALV 24 %)
3 – 20 kWp (pienet järjestelmät)	Kaupat, päiväkodit, maatilat	1,35 – 2 €/Wp (ALV 0 %)
40 – 400 kWp (keskikokoiset järjestelmät)	Toimistot, kauppakeskukset, kuntakiinteistöt, teollisuuskiinteistöt	1 – 1,6 €/Wp (ALV 0 %)

Oikein mitoitus

Yksi kannattavuuden kulmakivistä on järjestelmän oikein mitoitus. Ylimoitettu järjestelmä voi alentaa kannattavuutta merkittävästi. Tyypillisesti omakotitalokohteiden järjestelmät ovat kooltaan 3–6 kW. Poikkeuksia toki löytyy, mutta energiatarve pitää yli kuuden kilowatin rakennuksissa olla suuri ja käyttö hyvin optimoitavissa. Omakotitaloissa korvattaessa ostosähköä säästetään noin 13–7 snt/kWh ja myytäessä sähköä takaisin verkkoon saadaan sopimuksesta riippuen parhaimmillaan 6 snt/kWh.

Laitteiston hinta

Järjestelmän hinta per asennettu kilowatti on edullisempi, mitä suurempi tehoiseen järjestelmään ollaan investoimassa. Kannattavuuden kannalta on oikeutettua ylimitoittaa järjestelmä 10–20 prosenttia. Paneelien ja laitteiden hinnassa tulee huomioida niiden laatu. Paneeleille olisi suositeltavaa olla aina 25 vuoden nimellistehotakuu. Aurinkoenergia investointina on matalariskinen, kun investoidaan laadukkaisiin komponentteihin, jolloin järjestelmä on toimintavarma ja vähäistä ylläpitoa vaativa. [1.]

Omakustannus

Suomessa on saatavilla erilaisia tukia aurinkoenergia investointeihin. Kunnat, yritykset sekä maatilayrittäjät voivat hyödyntää energiatukia. Energiatuet kattavat 20–30 % koko investoinnista. Osalla maatiloista on mahdollisuus saada peräti 35 % tukea. Tukea voi

hakea Työ- ja elinkeinoministeriöstä (TEM), ja se on kannattavaa tehdä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. [1; 3.]

Omakotitaloudet saavat kotitalousvähennyksen asennuskuluista. Investoinnista saadut kuitit tulee säilyttää ja hankinnasta on helppo ilmoittaa veroilmoituksen yhteydessä. Normaalisti rahallisesti avun määrä liikkuu 500 – 900 euron välillä riippuen järjestelmän koosta ja veroprosentista. Myös vuokrahuoneistoon asennetussa järjestelmässä voidaan hyödyntää kotitalousvähennystä. Taloyhtiöt ovat ainoa taho, jotka eivät voi tällä hetkellä hakea energiatukea tai kotitalousvähennystä. [1.]

Rahoitus ja korkokanta

Rahoitusmalleja on monia ja riippuen hakijasta sekä investoinnin suuruudesta, mikä rahoitus vaihtoehtoista on ideaalisin. Ulkopuolista rahoitusta haettaessa sijoitetun pääoman tuotto tulisi ylittää rahoituksen korkokulut. Rahoitusmalleja ovat:

- oma pääoma
- laina
- osamaksu
- rahoitusleasing
- käyttöleasing
- aurinkoenergian ostosopimusmalli (PPA)
- joukkorahoitus.

Yritykset ja kunnat suosivat yleisesti osamaksu-, rahoitusleasing- ja aurinkoenergian ostosopimusmallia. Näiden rahoitusmallien hyötynä on, että tahot voivat tehdä investointeja ilman erityisiä vakuuksia. Pääsääntöisesti näitä ei käsitellä taseessa velkana, jolloin organisaatioiden pääomarakenne säilyy edullisempänä. Verrattuna osamaksuun rahoitusleasing sopimuksessa aurinkovoimala säilyy rahoittajan omistuksessa koko sopimuksen ajan ja siirtyy asiakkaan omistukseen tämän maksaessa voimalan jäännösarvon. Kunnat saavat yleensä hyvin edullista lainaa tai leasing-rahoitusta. Kunnan energiainvestoinneissa on noin 0,7–2 prosentin rahoitus korkokulut. Lainatapauksessa kunnat antavat vakuutena omaisuutta.

Yksityishenkilöt ja taloyhtiöt suosivat peruslainaa leasingrahoituksen tai osamaksun sijaan, niiden korkeiden hallinnointi- ja rahoituskulujen vuoksi. Kiinteistökohtaiset aurinkosähkövoimalat kuuluvat verotuksessa energiatehokkuusinvestointeihin, täten sen rahoitus voidaan liittää asuntolainaan ja saavutetaan edullinen rahoituskorko muihin maihin verrattuna. Investoinnista riippuen myös yritykset toisinaan käyttävät rahoitukseen peruslainaa.

Sähkön hinnan nousu

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa otetaan huomioon todennäköinen sähkön hinnan nousu tulevaisuudessa. Yleisesti sähköhinnan nousuksi arvioidaan 2–3 % per vuosi. Viimeisen kymmenen vuoden aikana sähkön kokonaishinta on noussut noin 3 % vuodessa. Sähköhinnan nousut saattavat olla arvaamattomia ja ajoittain jopa radikaaleja. Tästä hyvänä esimerkkinä Carunan 35 % siirtohintojen nousu vuoden 2016 alulla. Energian omaisuus motivoi juuri tästä syystä hyvin useaa asiakasta.

Paneelien tehon lasku ja ylläpitokustannus

Paneelien valmistajien antamat takuut ovat nimellistehotakuuta. Esimerkiksi Sharpin paneeleilla sallitaan 20% tehon lasku 25 vuoden aikana. Nimellistehotakuuta ei tule yhdistää paneelien todellisena tehon laskuun. Varsinkin Suomen sääolosuhteissa paneelien kennot sekä rakenteet eivät altistus yhtä koville lämpötiloille kuin Eteläisissä valtioissa. Tarkasteltaessa Suomessa sijaitsevia aurinkovoimaloita, jotka ovat rakennettu käyttäen laadukkaita kotimaisia tai eurooppalaisia paneeleita, vuosittainen tehon lasku on arviolta 0,5–0,6 prosenttia.

Invertterin elinikä ei ole yhtä pitkä kuin paneelien. Hyvälaatuisille ketjuinverttereille tarjotaan 10 vuoden takuu. Ylläpitokustannuksiin pitää ottaa huomioon invertterin vaihto 10–20 vuoden sisällä. Invertterien vaihto on tyypillisesti noin 8 % alkuinvestoinnista. [3.]

5.3 Kannattavuuden osatekijöitä

Kaksi yleisintä tekijää, jotka jäävät usein huomiotta, ovat todellinen pitoaika ja omakustannus. Investoinnit ovat pitkäikäisiä (8–15v), näin ollen tuottoja joudutaan odottamaan

pitkään. Paneelien odotettu toiminta-aika on peräti 30–40 vuotta. Tuottoa on siis takaisinmaksun jälkeen vielä kymmeniä vuosia.

Aurinkosähköjärjestelmä nostaa asunnon markkina-arvoa. Aurinkoenergian lisäämästä markkina-arvon noususta ei ole vielä tehty Suomessa tarkempaa tutkimusta. Yhdysvalloissa ollaan arvioitu aurinkoenergian lisäykselle 6% markkinapremio, eli aurinkosähköjärjestelmään voi investoida 6% asunnon hinnasta ja myyntihetkellä saadaan edelleen investoinnin täysi hinta takaisin.

Reunaehtona sähköverosta vapaalle pientuotannolle on määritetty laitteiston tehoksi 100 kVA tai 800 MWh vuosituotto. Vuosittainen tuotantoraja (800 MWh) mahdollistaa käytännössä jopa 900 kWp tehoisen aurinkovoimalan rakentamisen, niin ettei omaan käyttöön menevästä aurinkosähköstä tarvitse maksaa veroa. Ylittäessä 100 kVA tehon rajan tulee vuosituotanto raportoida tullille tuotantorajan valvontaa varten. Jos tuotanto ylittää 800 MWh ja sähköä on mennyt myyntii, koko vuoden tuotanto verotetaan. Pienien kiinteistöjen tehot jäävät selvästi alle 100 kVA, joten Järjestelmistä ei tarvitse tehdä mitään veroilmoituksia. Tämän lisäksi aurinkosähköjärjestelmä ei vaikuta kiinteistöveroon. [3.]

Monen asiakkaan kohdalla aurinkoenergiaan tutustumista motivoi energiaomavaraisuuden lisääminen ja osallistuminen puhtaan energian tuottamiseen. Jokainen aurinkoenergian lisäys on aina pieni askel kohti puhtaampaa ja vähempi päästöistä tulevaisuutta. Monille tahoille ekologisuus saattaa olla se suurin vaikuttaja aurinkoenergiainvestoinnin takana.

Yrityksille aurinkoenergia voi toimia positiivisena brändäyksenä. Aurinkoenergian imagoon voidaan liittää mm. tulevaisuusorientoitunut, teknologiaa hyödyntävä, energiatehokas, vastuullinen ja ekologinen. [3.]

6 K-Supermarket aurinkosähköjärjestelmä

Tässä osiossa käydään kokonaisuudessaan läpi aurinkosähköprojektin toteutus K-Supermarket-elintarvikemyymälään. Kyseessä on keskisuuri voimala, jonka investoinnissa hyödynnettiin ELY:n myöntämää energiatukea. Tarkastellaan projektin eri vaiheita tarjouksen laadinnasta; suunnitteluun aivan asennuksen toteutukseen asti. Projektissa tulee esille aikaisemmissa luvuissa käytyjä asioita. Investoinnissa kannattavuutta tehostaa aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun sähkön helppo hyödyntäminen kohteessa.



Kuva 27 K-Supermarket aurinkovoimala

6.1 Kohteen tiedot ja toimittaja

Seuraavassa listattuna investoinnin olennaisia yksityiskohtia:

- K-Supermarket elintarvikekauppa
- konesaumapeltikatto
- voimalanteho 53 kW
- paneelimäärä 200kpl
- avaimetkäteensopimus
- ELY tuki 25%
- oma pääoma
- euroa per watti, alle 1 €/W.

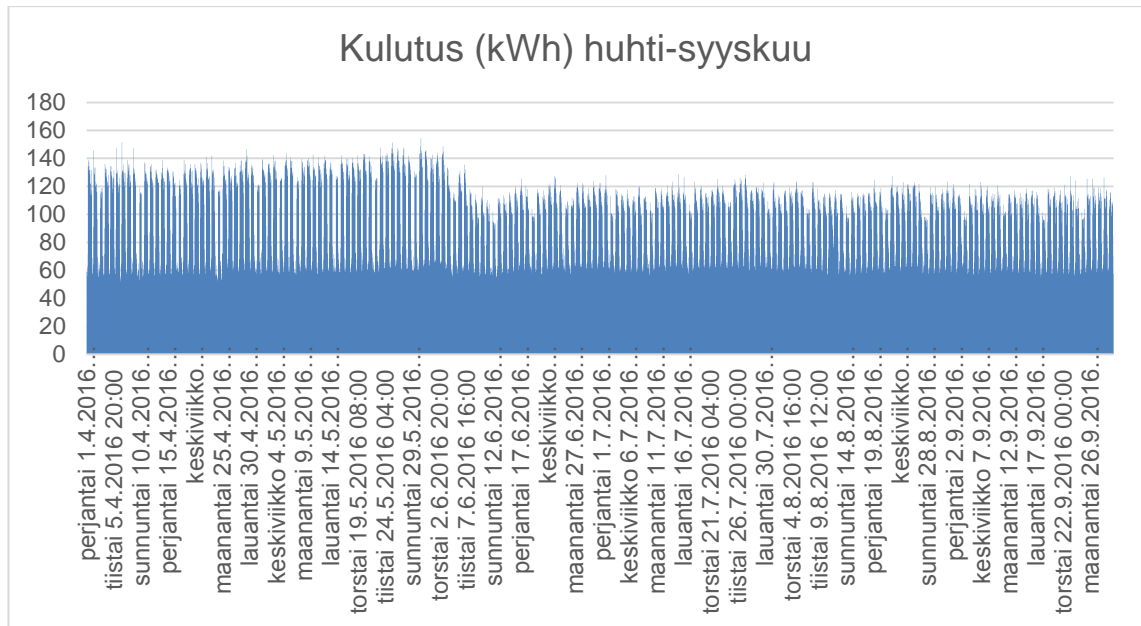
Investoinnin toimittajana toimi Playgreen Finland Oy. Playgreen Finland vastaa uusiutuvien energiaratkaisuiden kasvavaan kysyntään. Yritys toimittaa aurinkosähköjärjestelmien lisäksi sähköautojen latauspistekokonaisuuksia. Yrityksellä on pitkäikäinen kokemus alalla, toimittamalla aurinkosähköjärjestelmiä jo vuodesta 2011.

6.2 Esisuunnittelu

Varsinkin suurempien järjestelmien esikartoitus tehdään aina paikan päällä itse kohteessa. Satelliittikuvia kohteiden katosta voidaan monesti hyödyntää järjestelmän suunnittelemisessa, mutta nämä ovat yleensä vain osviittaa antavia. On ensisijaisen tärkeää sopia henkilökohtainen tapaaminen asiakkaan kanssa. Tapaamisella saadaan selvä kuva asiakkaan intresseistä investoinnin suhteen ja kerätään kaikki vaadittavat tiedot esisuunnittelua ja tarjouksen laadintaa varten. Tarjouksen laadintaa varten käydään yleensä läpi kohteen kulutusprofiilit, kattotyyppi, paneelien sijainti katolla, asennuspinta-ala, sähkökeskusten sijainnit, mahdolliset kaapelireitit ja invertterien sijoituspaikat sekä asiakkaan erinäiset toiveet investoinnin suhteen.

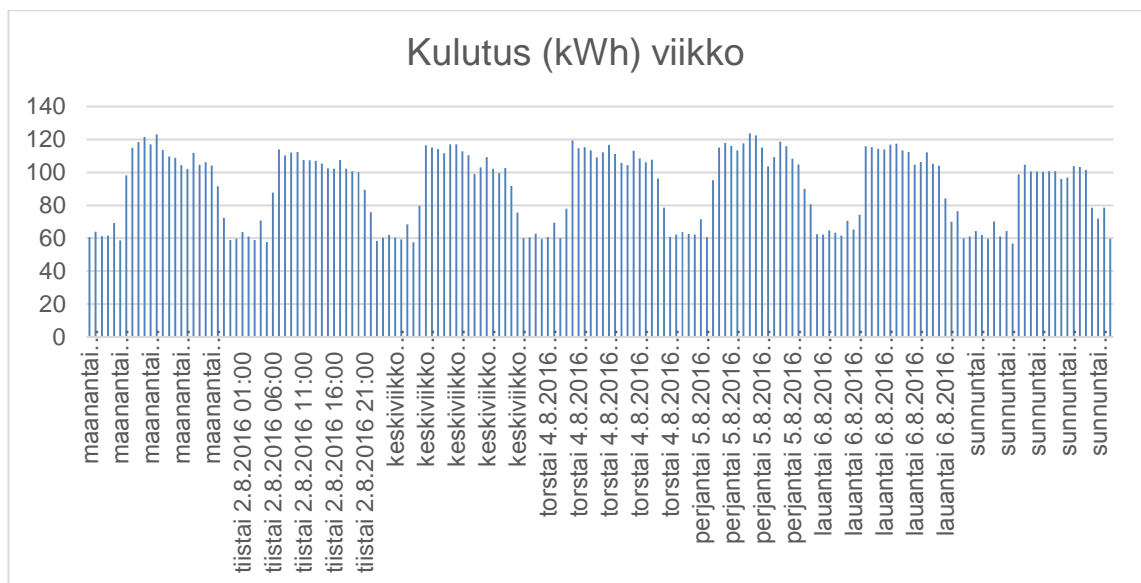
6.2.1 Kulutusprofiilit ja mitoitus

Järjestelmän alustavaa mitoitusta arvioitaessa otetaan selvää kohdekiinteistön kulutusprofiileista ja käytettävästä asennuspinta-alasta. Kulutusprofiileista katsotaan kiinteistön sähkönkulutusta huhtikuun ja syyskuunväliseltä ajalta. Jotta varmasti vältytään ylimitoituksilta, tarkastellaan kesäajan kulutusta tuntikohtaisesti. Tarkastellaan K-Supermarket kiinteistön kesäajan, yksittäisen viikon ja yksittäisen arkipäivän aikaista kulutusta.



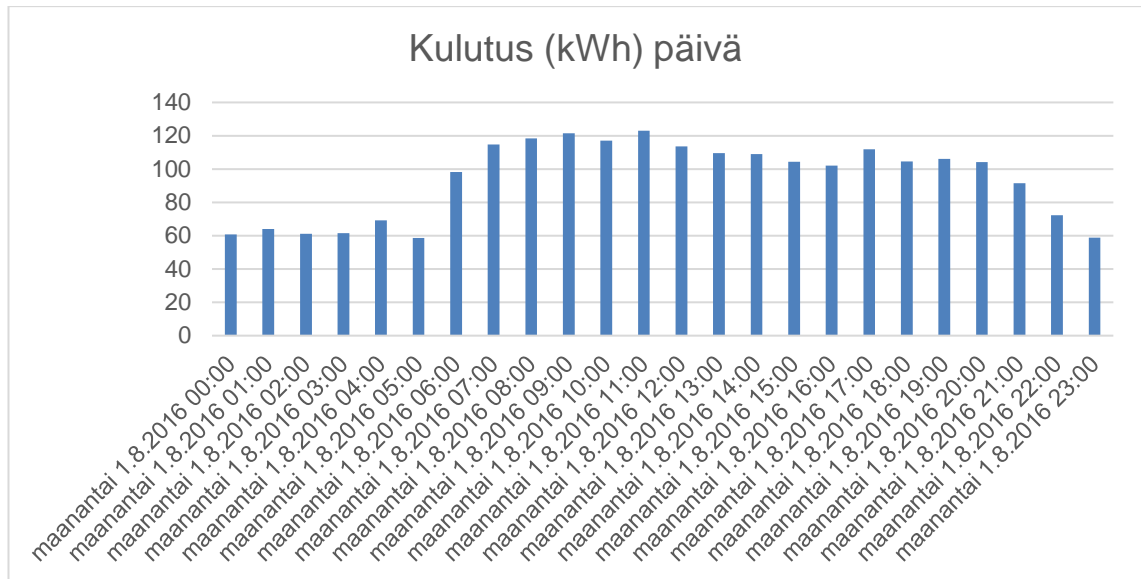
Kuva 28 Kulutusprofiili kesäaika

Koko huhti-syyskuun välisellä ajalla pysytään tunnikohtaisesti jatkuvasti yli viidenkymmenen kilowatin kulutuksessa (kuva 28).



Kuva 29 Kulutusprofiili viikko (elokuu)

Viikotarkastelulla saadaan graafista hieman selkeämpi kuva kulutuksen liikkuvuudesta (kuva 29). Sähkönkulutus viikonloppuisin pysyy lähes samalla tasolla kuin arkipäivisin.



Kuva 30 Kulutusprofiili vuorokausi (elokuu)

Kaupan aukioloaikoina kulutus on melkein kaksinkertainen kiinnioloaikoihin verrattuna (kuva 30). Päivän matalin tuntikulutus oli 58,68 kW ja huippuarvo 123,12 kW. Vuorokauden keskiarvo kulutus on 94,03 kW. Elintarvikekaupan kesäajan tasainen kulutus tekee voimalan mitoituksesta helpon. K-Supermarketin kohdalla voimalan kokoon vaikutti enemmän kiinteistön katon käytettävä asennuspinta-ala ja investoinnin kokonaishinnan suuruus. Kaupalle tehtiin tarjous 200 paneelin (53 kW) aurinkosähköjärjestelmästä. Kohteessa on haluttaessa tilaa voimalan laajennukselle. Profiilien perusteella klo 6–22 kulutus pysyy yli 90 kilowatissa, minkä perusteella voimalan teho saisi olla peräti 100 kWp ilman että sähköä jouduttaisiin myymään takaisin verkkoon.

6.2.2 Paneeli

Kohteeseen valittiin käytettäväksi Sharpin 265 W:n monikidepaneeleita (taulukko 5). Voimalan kokonaisteho saadaan yksinkertaisella laskukaavalla. Summataan yksittäisen 265 W:n paneelin teho järjestelmän paneelien kokonaismäärällä (2.0).

$$P_{kok} = 265 \text{ W} \cdot 200 = 53000 \text{ W}$$

2.0

$$P_{kok} = \text{kokonaisteho}$$

Taulukko 5 Paneelien tekniset ominaisuudet ja mitat [8.]

Sharp ND-RJ 265	Pmax (W)	Udc (V)	Isc (A)	Umpp (V)	Impp (A)	η (%)
	265	37,72	9,06	31,04	8,61	16,2
Sharp ND-RJ 265	Paneelin koko		Koko kiinnikkeillä			
	Pituus (m)	Leveys (m)	Pituus (m)	Leveys (m)		
	1,654	0,989	1,7	1,03		

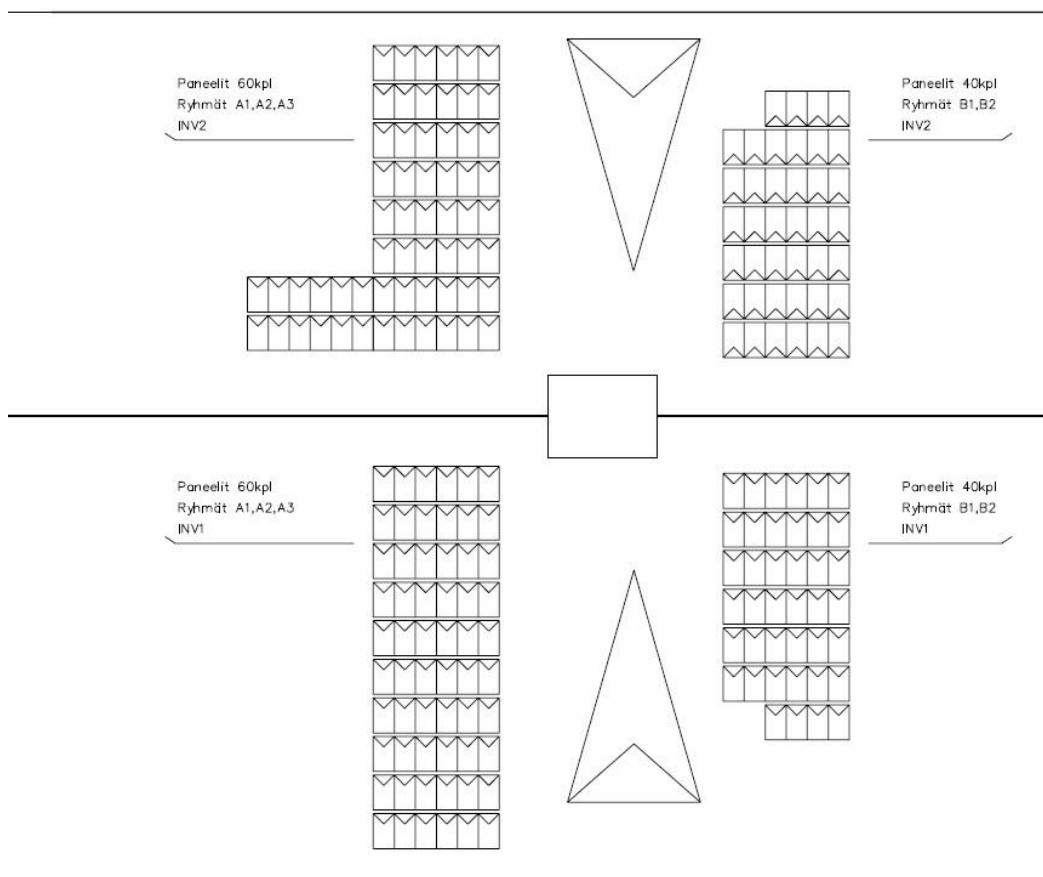
Toimivaa paneeliryhmäjakoja varten tehtiin K-Supermarketille tarjous 200 paneelin aurinkosähköjärjestelmästä, jolloin järjestelmän kokonaistehoksi muodostui 53Kw. Halutun asennuspinta-alan katsottiin myös riittävän kyseisen järjestelmän toteutukseen.

6.2.3 Katto

Kohteessa tehtiin kartoitus toivotun asennusalueen pinta-alasta. Paneelien sijoituksessa otettiin huomioon katolla sijaitsevat esteet kuten kattoluukut ja piiput sekä kaikki katolle syntyvät varjot.

Perinteisten kiinteistökäyttöön suunnattujen paneelien mitat eri valmistajien välillä vaihtelevat hyvin vähän. Tavanomainen yksittäinen paneeli on pituudeltaan 1,6–1,7 m pitkä ja 0,9–1,0 m leveä. Paneelien vaatimaan pinta-alaan otetaan huomioon myös paneelikiinnikkeiden lisäämä pituus. Pitkissä paneeliriveissä kiinnikkeiden lisäämä pituus on asennuksen kannalta merkittävä. K-Supermarketissa käytettävässä mekaniikassa paneelien väliin jää noin 2 cm:n rako. Paneelit asennettiin pystysuuntaan, joten paneelin leveysmittana käytettiin 1,03 cm (paneelin leveys + kiinnike).

Mittausten perusteella päädyttiin jakamaan paneelit neljään eri kenttään. Optimaalisen MPP-tehonseurannan saavuttamiseksi itä- ja länsilapelle asennettiin tasamäärä paneeleita. Molemmille lappeille asennettiin yhteensä 100 paneelia, jotka koostuvat kahdesta kentästä, joissa eteläisemmän puolen kentässä on 60 paneelia ja pohjoisemmän puolen kentässä 40 paneelia (kuva 31).



Kuva 31 Paneelien layout-suunnitelma

Kohteen katon kaltevuus on noin 40 astetta, ja katto on tyypiltään konesaumapelti. Kattoasennusmekaniikkana käytettiin saksalaista Scheletter GMBH:tä. Mekaniikka on yhdistelmä saumoihin puristettavia kiinnikkeitä ja alumiinikiskoja.

6.2.4 Invertterin valinta


Lasketun aurinkosähköjärjestelmän tehon perusteella kohteeseen olisi sopinut käytettäväksi nimellisteholtaan yksittäinen 50 kW:n invertteri, mutta paremman toimivuuden ja hyötysuhteen saavuttamiseksi päädyttiin tarjoamaan kahden invertterin järjestelmään.

Invertterin valinnassa otetaan tehon lisäksi huomioon paneelien jako ja sijainti katolla. Paneelikentät pitää jakaa invertterille siten, että seurantapiiriin (MMPT) kytkettyjen paneelien tuotto on yhtäaikaaisesti melko samalla tasolla. Varsinkin itä- ja länsipuolen paneelit saavuttavat tehon huipunsa eri vuorokauden aikoina, joten niitä ei saisi kytkeä samaan seurantapiiriin. Invertterin seurantapiiriin on vaikea säätää jännitteen ja virran

suhdetta optimaaliseksi koko paneeliryhmälle, jos osa samaan piiriin kytketyistä paneeleista on varjossa tai merkittävästi heikommassa valossa. Huonosti suunniteltujen paneelikenttien kytkentä johtaa heikompaan hyötysuhteeseen.

Kohteen esisuunnittelussa arvioitiin, että paneelit jaettaisiin neljään eri kenttään itä- ja länsi lappeelle. Tähän pohjautuen kohteeseen valittiin kaksi 25 kW:n SMA 25000TL invertteriä (taulukko 6). Invertterissä on kaksi tracker-piiriä, joten kaikki neljä paneelikenttää voidaan kytkeä omaan seurantapiiriin. Paneeliryhmien mitoitus- ja kytkentä-kappaleosiossa tarkastetaan invertterien tekninen toimivuus ja kytkentä kohteessa. [16.]

Taulukko 6 SMA 25000TL [16]

Tekniset tiedot					
Sisääntulo (DC)					
Max. DC teho ($\cos\phi=1$)	25550W				
Max jännite	1000V				
MPP jännitealue	390-800V				
Max virta input A / B	33A/33A				
MPP piirien määrä	2 / A:3;B:3				
Ulostulo (AC)					
Nimellisjännite	230V / 400V				
Max virta	36.2A				
THD	< 3%				
Hyötysuhde	98.3 %	L 661/ K 682 / S 264 mm			

6.3 Tarjouksen laadinta

Tarjouksen laadinta jaetaan materiaali- ja työkustannusarvioon. Tarjoukseen luodaan lista toimitussisällöstä, jossa eritellään kaikki asiakkaalle oleellinen tieto. Kauppa tehtiin avaimetkäteensopimuksella. Tarjoukseen eritellään järjestelmän kokonaishinta, investoinnin hinta ELY-tuen kanssa sekä investoinnin euroa per watti-hinta.

K-Supermarket toimitussisältöä:

- 200 kpl Sharp ND-RJ265 (265 W) monikide paneelia
- invertterit 2 x SMA TL25000
- mekaniikka Schletter GMBH
- DC-solarkaapeli (6 mm)
- maadoitus MK16 KEVI

- MMJ kaapeli (10 mm)
- pientarvikkeet.
- rahti
- aurinkosähköjärjestelmän asennus
- käyttöönotto, testaus ja opastus
- dokumentointi.

Tässä kohteessa ei katsottu tarpeelliseksi investoida DC-katkaisinkoteloihin ja invertterit kytkettiin suoraan kiinteistön keskukseseen. Kaapelikustannuksissa piti määrittää vain solar-, MMJ- ja MK16 KEVI-kaapelin määrä.

Tämän kokoisessa investoinnissa pientarvikkeista muodostuvaa hintaa ei erikseen erotella tarjouksessa. Pitkäaikaisella asennuskokemuksella osataan tehdä sopiva arvio muista asennukseen liittyvistä tarvikkeista.

Asennustyön kesto pyritään arvioimaan päivissä. Suuremmissa kohteissa on yleensä turvallisempaa antaa arviot viikoissa. Käytettävällä mekaniikalla on iso vaikutus asennuksen nopeuteen. Tavallisesti tasakattoteline on nopea asenteisin mekaniikka. K-Supermarketin saumapelitkatto on tasakattomekaniikkaan verrattaessa selvästi enemmän asennusaikaa vaativa.

Sääolosuhteilla on suurin vaikutus kattotöiden asennuksessa. Kaltevilla katoilla lumi, jää tai sade hidastavat asennustyötä merkittävästi. Erittäin huonoissa sääolosuhteissa jyrkällä katolla asennustyö siirretään käytännön- sekä turvallisuussyistä myöhempään ajankohtaan. Varsinkin peltikatoilla pelkkä vesisade riittää tekemään katosta liukkaan.

Projektin läpiviennin työkustannuksissa otetaan huomioon kohteen suunnittelu, dokumentointi, asiakkaan perehdytys ja konsultointi, asennustyö, käyttöönottotarkastukset, lupa-asiat sekä erinäisiä erilliskustannuksia.

Suunnitteluvaiheessa katsotaan paneelien ja laitteiden optimaalinen sijoitus, mitoitetaan voimala teholtaan kiinteistön tarpeisiin sopivaksi, mitoitetaan järjestelmän suojaukset ja kaapelit, luodaan sähköpiirustukset joka sisältävät ainakin pääpiirikaavion ja pääkaavion.

Kustannusten määrittelyssä on yleisesti otettava huomioon erilliskustannukset, jotka ovat suuruusluokaltaan noin 20–25 %. Erilliskustannukset ovat urakkaan liittyviä töitä, joita ei voida tehdä urakkahinnoittelulla. Riippuen kohteesta erilliskustannuksiin sisältyvät mm. kuljetukset ja rahti, nostotyöt, mahdolliset purkutyöt, aputyöt, ylityöt, koekäytöt ja käytönopastus, telineiden tarve, tarkastukset ja jälkityö.

6.4 Paneeliryhmien mitoitus ja kytkentä

Paneeliketjun (string) yhteenlasketun jännitteen tulee olla käytettävän invertterin MPPT säätöalueella. On suositeltavaa mitoittaa paneeliryhmät siten, että kokonaisjännite olisi lähellä säätöalueen ylärajaa, hieman paremman hyötysuhteen saavuttamiseksi. Tällä ei ole suurta vaikutusta hyötysuhteeseen, tärkeintä on pysyä säätöalueen sisällä. Kaikki samaan seurantapiiriin kytkettyjen paneeliryhmien tulee aina olla kooltaan yhtä suuria.

SMA 25000TL -invertterissä on kaksi seurantapiiriä. Yhdessä seurantapiirissä on kolme paria sisääntuloja eli yhdessä invertterissä on yhteensä 6 paria kytkentäpaikkoja (A1, A2, A3, B1, B2, B3). K-Supermarketille ideaaliseksi ratkaisuksi soveltui kahdenkymmenen paneelin sarjat. Kytkemällä 20 kappaletta paneeleita sarjaan voitiin invertterin A-seurantapiiriin kytkeä eteläisemmät 60 kpl:n paneeliketät ja B-seurantapiiriin toisen puolen 40 kpl:n paneeliketät (liite1.).

SMA 25000TL -invertterin jänniteensäätöalue on 380–800V. Paneeliryhmän jännitteen laskemiseksi summataan paneelien suurimman tehonpisteen jännitteet Umpp (3.0). Yksittäisen Sharp ND-RJ265 paneelin Umpp on 31,04 voltia (taulukko 5) ja paneeleita on 20 kappaletta sarjassa.

$$U_{kok} = 20 \times 31,04 \text{ V} = 620 \text{ V} \quad (380 < 620 < 800) \quad (3.0)$$

$$U_{kok} = \textit{kokonaisjännite}$$

K-Supermarketissa, jossa paneelit on jaettu itä- ja länsi lappeelle, aurinkovoimalan hetkellinen huipputeho ei yllä yhtä korkealle tilanteessa, jossa kaikki paneelit oltaisiin suunnattu etelään. Itä- ja länsi lappen paneeliketät saavuttavat huipputehon piikin eri vuorokauden aikana. Itä- ja länsi suuntauksella voimalan huipputehopiikki jää alemmas,

mutta tuotto jakautuu tasaisemmin koko vuorokaudelle, hyödyntäen paremmin aamu- ja ilta-ajan säteilyn verrattuna eteläiseen suuntaukseen.

Suuntauksesta riippumatta kaikki voimalan paneelit eivät yhtäaikaaisesti tuota sähköä huipputehoarvolla. Paneelien huipputehoarvot ovat saavutettu ideaalisissa laboratorio-olosuhteissa. Käytännössä suurissa aurinkosähköjärjestelmissä koko järjestelmän laskettuun huipputehoon ei hetkellisesti yllätä.

Hyvälaatuiset vaihtosuuntaajat sallivat suuritehoisemmissa järjestelmissä laskennallisesti pienen ylimitoittamisen nimellistehon osalta. ABB tarjoaa kotisivuillaan paneeliryhmien suunnitteluohjelman (stringtool). Laskurissa isoilla inverttereillä ylikuormakerroin on oletusasetukseltaan 120 %. Esimerkiksi ABB trio 50 kW:n invertteri voidaan säätää vastaanottamaan jopa 20–40 % yli lasketun kokonaistehon. Käytännössä suurissa järjestelmissä (>20 kW) on yleensä turvallista laskennallisesti toteuttaa 20 prosentin ylimitoitus. Ylimitoituksen sallittavuus ja marginaali tulisi silti aina tarkistaa tapauskohtaisesti ja vaihtosuuntaajan valmistajan ohjeistuksien puitteissa. K-Supermarketin järjestelmä laskennallisesti ylimitoitettiin 6 % vaihtosuuntaajan tehoon (4.0). [26.]

$$P_n = 100 \times 265 \text{ W} = 26,5 \text{ kW}$$

$$P_{INV} = 25 \text{ kW}$$

$$\text{Ylimitoitus} = \frac{\text{laskettuteho}}{\text{invertterin teho}} \cdot 100 \% = \frac{26,5}{25} \cdot 100 \% = 106 \% \quad (4.0)$$

6.5 Suojalaitteet

Standardin SFS 6000-7-7 12 mukaan aurinkosähköjärjestelmää pidetään kuormituksena ja sähköverkkoa tehonlähteenä. Aurinkopaneelit eivät tuota suurta vikavirtaa. Kohteessa käytetyn Sharp ND-RJ 265 oikosulkuvirta on 9,06 ampeeria. Tasajännitekaapeleista voidaan jättää ylikuormitus suoja pois, jos kaapelin jatkuva kuormitettavuus on 1,25-kertainen oikosulkuvirtaan. Keskukseen kytkettävissä kaapeleissa on noudatettava rakennuksen jakeluverkon yleisiä SFS 6000:n mukaisia määräyksiä. Vaihtosuuntaajalta tulevat kaapelit on suojattava keskuksessa automaattisella poiskytkennällä. [14.]

Ylikuormitussuojalla varmistetaan virtapiirin katkaisu niin, että ylivirran aiheuttama lämpötilan nousu ei aiheuta vaurioita tai palon vaaraa johtimen eristyksissä, liitoksissa tai

johtimen ympäristössä. Ylikuormitussuojana käytetään yleensä sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai katkaisijoita. Yleisesti sama suoja toimii virtapiirissä sekä ylikuormitussuojana, että oikosulkusuojana. SFS 6000 vaatii suojaavan suojalaitteen täyttävän seuraavat ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (5.0)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (6.0)$$

I_B = virtapiirin mitoitusvirta

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

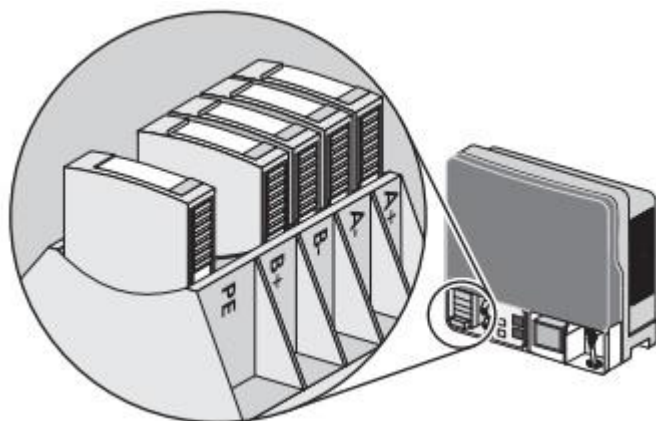
I_2 = virranarvo jolla suojalaite toimii tehokkaasti

I_Z = johtimen kuormitettavuus

Ylikuormitussuojan nimellisvirran tulee olla vähintään yhtä suuri kuin laskettu kuormitusvirta (5.0). Käytännössä suojaksi valitaan suojalaite, jonka nimellisvirta on mitoitusvirrasta seuraava suurempi standardiarvo. Suojalaitteen nimellisvirta on virran arvo, jota laite voi johtaa ilman komponenttien heikentymistä. Johdon jatkuva kuormitettavuus tulee taas olla suojalaitteen nimellisvirtaa suurempi. Jälkimmäinen kaava (6.0) kuvaa suojan toimintavirran ja johdon kuormitettavuuden välistä yhteyttä. Suojalaitteen tulee toimia määritetyssä ajassa (yleensä < 1h), kun ylikuormitusvirta on 1,45-kertainen johdon kuormitettavuuteen verrattuna. Oikosulun syntyessä alle 63 A:n suojat katkaisevat virtapiirin magneettilaukaisulla noin kymmenesosa sekunnin nopeudella. Esimerkiksi B-käyrän johdonsuojakatkaisija laukeaa viisin kertaisella nimellisjännitteellä alle 0,1 sekunnissa. Johdonsuojakatkaisija tyypin valinnassa on yleensä selvitettävä, onko nopeammasta tai hitaammasta laukaisuajasta haittaa suojan takana toimiville laitteille. [27. s.29.]

K-Supermarketin voimalan suojaus koostuu inverttereihin integroiduista ylijännitesuojista ja pääkeskuksen johdonsuojakatkaisijoista. Molempien invertterien AC-puolelle asennettiin myös fyysisesti suljettavat turvakytkimet. Kohteeseen ei katosutta tarpeelliseksi investoida DC-katkaisinkoteloihin.

ST-kortistossa ST 55.33 suositellaan tasasähköpuolelle käytettäväksi II luokan suojalaitetta. DC-puolen suojausta varten SMA tarjoaa inverttereilleen lisävarusteena seuranta-
piirien suojaluokan II ylijännitesuojan (kuva 32). Suojalaite toimii hyvänä lisäukkosuojana. [14.]



Kuva 32 SPD XX00TL-10 ylivirtasuojaus [28. s8.]

Ylijännitesuojat sijaitsevat DC sisääntulon takana, näin estäen vikatilanteessa ylivirtojen kulkeutumisen invertterin virtapiireihin. Suojat asennetaan suojakotelon taakse.

Laskennallinen teho per invertteri on 26,5 kW:n, mutta aikaisempien toteamusten valossa todellinen huipputeho suurissa järjestelmissä jää alle tämän. Johdonsuojan valinnassa on parempi käyttää inverttereiden suurinta ulostulovirtaa, jonka arvo ilmoitetaan laitteen teknisissä tietolehdissä. SMA 25000TL laitteen maksimi ulostulovirta on 36,2 A (taulukko 6).

Pääkeskukselle tulevat kaapelit suojattiin 40 ampeeri B-käyrä johdonsuojakatkaisijoilla. Laadukkaiden invertterien tehokerroin on 0,99 tasoa ja järjestelmän kuorma resistiivinen. B-toimintakäyrän nopeammasta virrankatkaisusta ei ole haittaa vaihtosuuntaajalle.

6.6 Kaapelit

Aurinkovoimalan katolla käytettävät johdot altistuvat lämpötilojen muutoksille, auringon UV-säteilylle, jälle ja tuulelle. Järjestelmässä tulee käyttää kaapeleita, jotka kestävät kaikkia näitä tekijöitä. Markkinoilta löytyy aurinkosähköjärjestelmäkäyttöön suunniteltuja kaksoiseristettyjä yksijohdin solar-kaapeleita (kuva 33). Paneelien johdotuksessa käytettiin 6mm paksua Solar PV1-F 6-kaapelia. Yleisesti Suomessa 4–6 millimetrin kaapeli on vakiopaksaus aurinkopaneelienryhmien johdotuksessa. Paneeleissa sekä invertterissä käytettävät liittimet ovat sovitettu toimimaan näillä kaapeleilla.



Kuva 33 Aurinkokaapeli

Standardin SFS-EN 60 898 mukaisten B-, C- ja D-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Johdonsuojakatkaisijoilla on hyväksyttävää lyhyillä matkoilla ilmaan asennettuna mitoittaa kaapeli suoraan suojalaitteen nimellisvirran mukaan. Kaapelin mitoituksessa on kuitenkin otettava huomioon asennukseen liittyvät korjauskertoimet. Korjauskertoimilla otetaan huomioon kaapelin asennustapa, ympäristön lämpötila ja muiden virtapiirien läheisyys. Aurinkosähköjärjestelmien kytkennässä käytetään yleisesti joko MMJ- tai MCMK-kaapeleita. [29.]

Invertterit asennettiin kohteessa ullakolle, josta kaapelit kulkevat välikaton kautta pääkeskukselle. Kaapeleiden matka keskukselle on noin 30 metriä. Osan matkasta kaapelit kulkevat välikatossa kaapelihyllyä pitkin, jossa kulkee myös muita kaapeleita. Välikaton korkeus on 100 cm, joten asennustapana on pinta-asennus (asennustapa C). Verrataan kahta yli 40 A kuormitusta kestävä MMJ-kaapelia (taulukko 7).

Taulukko 7 MMJ viisijohdin kaapelit [30. s.16.]

Kaapeli	MMJ 5x6 S	MMJ 5x10 S
Kuormitettavuus		
Asennustapa C	43A	60A

Välikatto oli kaupan puolelta avoin, joten lämpötilan voitiin olettaa pysyvän huoneen lämpötilassa, jonka johdosta asennuksen korjauskerroin voitiin tältä osin pitää 1,0:ssa. Kaapelireitin läheisyydessä oli muita kiinteistön kaapeleita, jotka otettiin huomioon ja korjauskertoimen arvioitiin olevan 0,8:n luokkaa. Korjauskertoimet huomioon ottaen mitoitusvirraksi saatiin arviolta 50 A (7.0). Vaikka 6 mm:n MMJ-kaapeli olisi suoraan johdonsuojakatkaisijan perusteella katsottuna sopiva, ottaessamme huomioon asennuksen korjauskertoimet, on turvallisempaa valita kaapeliksi 10 mm:n MMJ. Valitsemalla paksumpi MMJ vähennetään myös järjestelmän jännitteenalenemaa. [29.]

Mitoitusvirta korjauskertoimilla:

$$I_{AC} = \frac{I}{kk} = 40A / 0,8 = 50A \quad (7.0)$$

$kk = \text{korjauskerroin}$ $I = \text{virta}$

Invertterin ja pääkeskuksen väliseksi kaapeliksi valittiin MMJ 5x10 S (kuormitettavuus 60A > 50A). Paneelikenttien ja inverttereiden maadoituksessa käytettiin MK16 KEVI-kaapelia.

6.7 Projektin toteutus

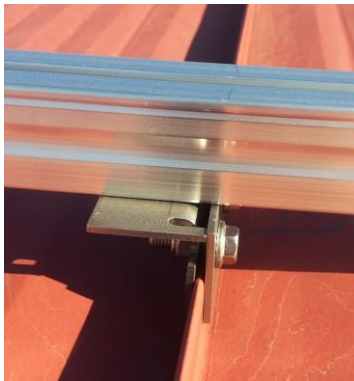
Projektin läpivientiin varattiin kahden viikon toteutusaika. Toteutusajassa otettiin huomioon käytettävän mekaniikan asennusnopeus ja mahdollisten huonojen sääolosuhteiden varaus. Aurinkovoimalan toteutus suoritettiin kolmen työntekijän voimin. Varsin hyvien sääolosuhteiden suomena K-Supermarketin aurinkovoimala valmistui yhdeksässä arkipäivässä.

Työvaiheet olivat pääpiirteittäin seuraavat:

- yleiskatsaus kohteessa (kaapeliviennit, invertterien sijainti)
- mekaniikan nosto katolle
- asennuspinta-alan mittaus ja sijoitusten varmistus
- mekaniikan esikoonti ja kiinnitys katolle
- paneelien nosto, kiinnitys ja kytkentä
- invertterien asennus
- kaapelihyllyjen asennus ja läpiviennit
- paneeliryhmien kaapelivedot ja kytkentä
- paneelikenttien ja inverttereiden maadoitus
- syöttökaapelien vienti keskukselle
- mittaukset ja kytkennät
- invertteri ja ethernet-konfigurointi.

6.7.1 Mekaniikan ja paneelien asennus

Kohteeseen alumiinikiskot asennettiin tiiviisti jaoteltuna vaakasuuntaan kattoon nähden. Kaupan katon saumaväli on 50 cm. Tukevan kiinnityksen luomiseksi saumakiinnikkeet asennettiin joka toiseen saumaan. Saumakiinnikkeinä käytettiin Schletterin valmistamia kiinnikkeitä, jotka puristuvat ruuvaamalla saumoihin (kuva 34).

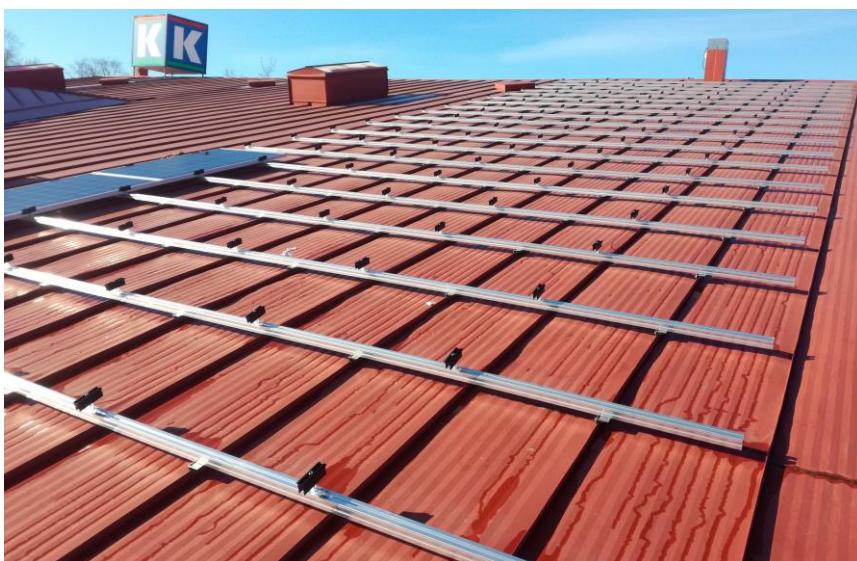


Kuva 34 Schletter saumakiinnike



Kuva 35 Paneelikiinnike

Ylin kisko asennettiin vähintään 50 cm:ä katon harjasta, koska paneeli ylittää kiskon 40 cm ja paneelin ei tule ylittää katon harjaa. Tässä kohteessa kiskoista ei tehty paneeleille ristikkopohjaa ja poikittaiskiskot asennettiin 80 cm välijaolla. Paneelit asennetaan kiskoille pystysuuntaan katon suuntaisesti. Jokaista paneelia kohden käytettiin neljää kiinnikettä (kuva 35). Paneelikiinnikkeet napsahtavat kiskojen uraan. Kiinnikkeet liu'utetaan paneelirungon päälle ja puristetaan kiskostoon.



Kuva 36 Kiskojako

6.7.2 Paneelien kaapelointi

Paneelit kytketään toisiinsa aurinkosähköliittimillä (kuva37). Jokaisesta paneeliryhmästä viedään yhdet plus- ja miinuskaapelit invertterille.



Kuva 37 Liittimet

Katon kaapelointi on toteutettava siten, etteivät johdot makaa kattorakenteissa. Paneelien johdot sidotaan liittimen ympäriltä nippusiteillä alumiinikiskoihin. Katolta vietiin molemmille inverttereille viisi paria 6 mm:n solar-kaapeleita. Suurissa aurinkosähköjärjestelmissä on ideaalisempaa viedä johdot invertterille kaapelihyllyjä pitkin. Katolla ei ollut mahdollisuutta tehdä läpivientiä pystyseinään, joten aurinkopaneelien johtojen läpivienti ullakolle tehtiin rakennuksen päätyseinästä (kuva 38). Tämä lisäsi vaadittujen kaapelivetojen pituutta, mutta tässä tilanteessa ratkaisu katsottiin varmasti vesitiiviiksi ja helpommaksi toteuttaa.

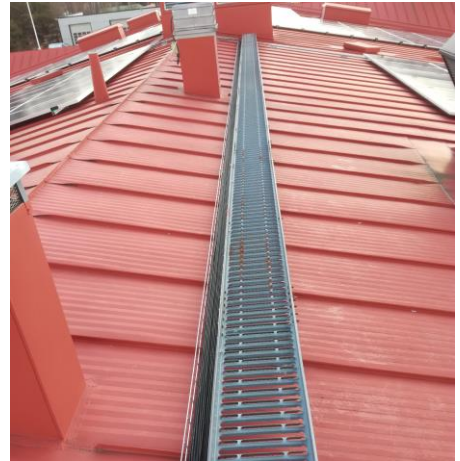


Kuva 38 Läpivienti ullakolle

Kohteeseen laskettiin tarpeelliseksi asentaa yhteensä 42 metriä kaapelihyllyä. Noin 15 metriä kaapelihyllystä voitiin kiinnittää suoraan kävelysiltaan (kuva 39). Saumojen päällykseen kiinnitykseen käytettiin saumoihin puristettavia hyllyjen alustapaloja (kuva 40). Myös ullakolla päätyseinältä inverttereille johdot vietiin hyllyjä pitkin.



Kuva 40 Kaapelihylly kiinnitys



Kuva 39 Kaapelihylly kiinnitys

6.7.3 Maadoitus

Aurinkovoimalat ovat katolla alttiita salaman iskuille. Ukkossuojausta varten on hyvin tärkeää maadoittaa paneelit sekä invertterit, jotta välttyttäisiin suuremmilta vahingoilta. Maadoituksen toteutus on riippuvainen käytettävästä asennusmekaniikasta. Osassa käytävissä asennusrungoissa saattaa olla ilmavälejä tai muovikomponentteja. Maadoituksessa tulee tarkoin katsoa, että oikosulut tai salamaniskut pääsevät varmasti miltä tahansa paneelikentän osalta purkautumaan maahan.

K-Supermarketilla käytetyssä ratkaisussa alumiinikiskot sekä paneelien metallikehykset kiinnikepaloineen luovat katkeamattoman purkaustien ja koko kenttä saatettiin maadoittaa yhdestä pisteestä. Jokainen paneelikenttä ja invertterit maadoitettiin yhdellä MK16 KEVI-kaapelilla kiinteistön potentiaalitasauskiskoon.

6.7.4 Invertterien asennus ja syöttö keskukselle

Invertterit toimiessaan lämpenevät ja puhaltavat lämpimän ilman ulos venttiileistä. Invertterien sijoituksessa on katsottava, että laitteiden ympärillä on riittävästi tilaa ilmanvaihdolle. Asennusvaatimukset ovat valmistaja- ja mallikohtaisia. Laitteiden sijoitukselle löytyy asennusohjeet valmistajan ohjekirjoista. SMA 25000TL-inverttereillä tulee olla sivuilla vähintään 41,5 cm tyhjää tilaa. Kohteessa invertterit asennettiin tyhjälle seinälle 45 cm:n etäisyydelle toisistaan (kuva 41). [31. s16.]



Kuva 41 Invertterit 2 x SMA 25000TL

Paneeliryhmät 1–5 kytkettiin invertterille yksi ja ryhmät 6–10 kytkettiin invertterille kaksi. Ryhmäkaapeliin merkinnät tulee aina tarkastaa ennen kytkentöjen tekoa. Paneeliryhmäkaapeliin napaisuus ja oikeat jännitteet testattiin testerillä. Mittausten jälkeen kaapelit kytkettiin invertterin alapaneeliin liittimillä. Invertterimallista riippuen ethernet yhteyden toteutus tehdään joko kiinteästi viemällä CAT-kaapeli suoraan laajakaistamodeemille tai yhdistämällä langattomasti paikalliseen WLAN-verkkoon. SMA inverttereissä on sisäänrakennettu WIFI-vastaanotin. K-Supermarketissa nettiyhteys luotiin langallisesti CAT-kaapelilla. Molemmille inverttereiden lähdoille asennettiin turvakytkimet.

Ennen keskuksen kytkentää (kuva 42) todetaan mittaamalla keskuksen jännitteettömyys, ja se että aurinkosähköjärjestelmän turvakytkimet ovat sulkuasennossa. Kun kaikki kytkennät on suoritettu, tehdään käyttöönototarkastus ja dokumentointi. Invertterin ensimmäisen käynnistyksen yhteydessä tarkistetaan käyttöjärjestelmän asetukset ja

luodaan yhteys kiinteistön laajakaistaan. Lopuksi opastetaan asiakkaalle invertterin käyttöjärjestelmän toiminta ja tuotannon seuranta nettiportaalista.



Kuva 42 Keskukselle tulevat kaapelit

6.8 Kannattavuuden tarkastelu

Tarkastellaan karkeasti voimalan vuosittaista takaisinmaksua. K-Supermarketilla ELY-tuen lisäksi kannattavuutta kohteessa tehostaa tuoton helppo optimointi ja oman pääoman käyttö rahoituksessa. Ainoa hieman tuottoa hidastava tekijä kohteessa on paneelien itä-länsi-suuntaus.

Tuottoennusteet ovat suuntaa antavia arvioita. Mitoitus luvussa todettiin aurinkosähköjärjestelmän todellisen vuosituoton vaihtelevuus. Suuntauksen vaikutus on johdettu muiden vastaavanlaisten kohteiden perusteella. Sähkönhinta on tällä hetkellä melko alhainen ja on hyvin todennäköistä, että hinta tulee tulevaisuudessa nousemaan.

Elintarvikemyymälässä kulutus on korkea ympärivuorokauden. Jäähdytyslaitteistot, valaistukset ja ilmanvaihtojärjestelmät jo yksinään pitävät kulutuksen jatkuvasti korkealla, mikä mahdollistaa suurenkin aurinkovoimalan hyödyntämisen kohteessa. K-Supermarket on avoinna arkisin aina aamu kahdeksasta ilta yhdeksään eli kiinteistön kulutus on korkeimmillaan parhaimman tuoton aikaan (> 90 kW). K-kaupan omistaja investoi voimalan lisäksi kolmeen 16 ampeerin auton latauspisteeseen asiakaskäyttöön sekä 32

ampeerin latauspisteeseen henkilökohtaiseen käyttöön. Koska sähkön kulutus on korkea vuorokauden ympäri ja tämän ohella latauspisteiden käytöllä edelleen optimoitavissa, ei päädytä sähkön myymiseen vaan hyödynnetään kaikki tuotto itse.

Muu takaisinmaksua edesauttava tekijä tässä investoinnissa on myös oman pääoman käyttö investoinnin rahoituksena. Takaisinmaksussa ei täten tarvitse ottaa huomioon muilla rahoitusmalleilla koituvaa korkokantaa.

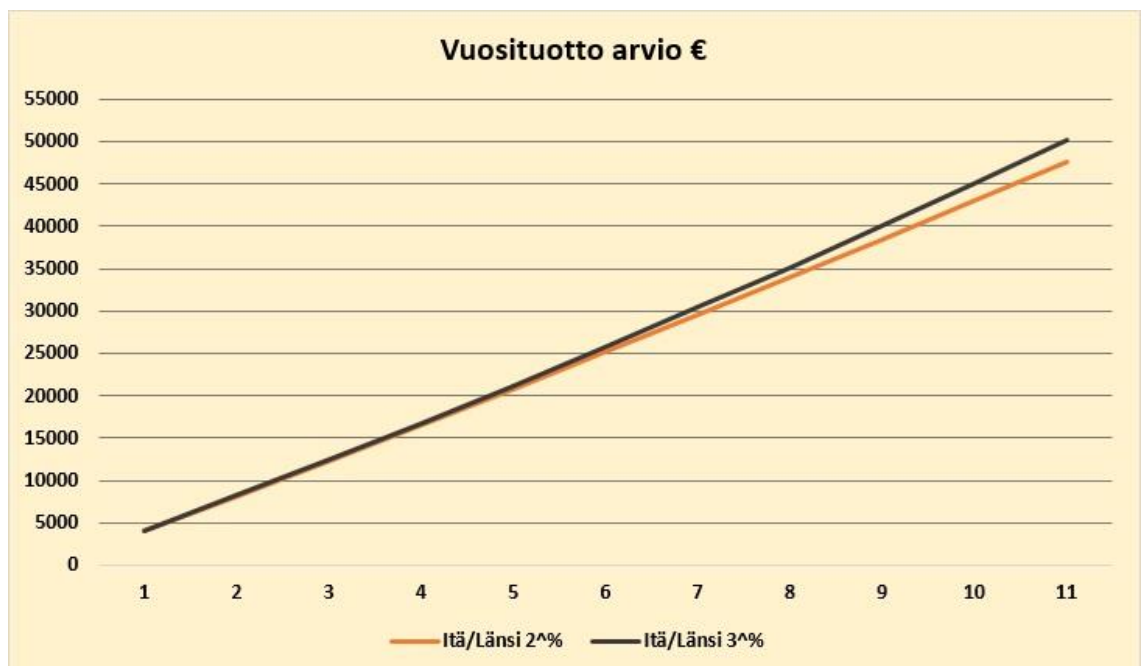
Hieman takaisinmaksua pidentävä tekijä kohteessa on paneelien suuntaus itä-länsi suuntaan. Osa verkkojulkaisuista sekä PVGIS-laskurit arvioivat tuotanto eroksi eteläiseen suuntaukseen verrattuna 15–20 % vähäisemmäksi. Tutkittaessa SMA ja Solaredgen invertterien verkkotietokantoja, it-länsi suuntaan asennettujen aurinkosähköjärjestelmissä keskiarvo ero etelä-suuntaukseen on arviolta 12 %. Osasyynä arvioiden eroavaisuuteen saattaa liittyä paneelien kehittymiseen. Hyvin monissa nykyisissä ja laadukkaissa paneeleissa käytetään rakennelasia, joissa epäsuora säteily heijastuu lasin prismojen kautta paremmin kennojen pinnalle. Paneelit joiden valmistuksessa on käytetty rakennelasia voivat hieman paremmin hyödyntää sivusta tulevan säteilyn ja erot suuntauksessa vähenevät. Lappeen suunnasta poikkeava asennus vaatii erillistä toimenpidedelupaa, on ulkonäöltään epämiellyttävä sekä nostaa asennuskustannuksia merkittävästi. [22; 32.]

PVGIS laskurit arvioivat kohteelle eteläisellä suuntauksella 46000 kWh vuotuisen tuotannon. Vähennetään 46000 kWh:n vuosituottoarviosta 12 prosenttia, jolloin itä-länsi-suuntauksella arvioksi saadaan 40480 kWh. Investoinnin takaisinmaksun kehityksessä (taulukko 8) on otettu huomioon prosentuaalinen sähkön hinnan nousu ja paneelien tehon lasku. Vuotuisen sähköhinnannousun arvioina on käytetty kaksi ja kolme prosenttia. Paneelintehon laskuksi on arvioitu 0,6 prosenttia per vuosi. Kohteessa tällä hetkellä sähkön kokonaishinnan suuruus vaihtelee kausittain 8–10snt/kWh välillä.

Taulukko 8 Tuoton vuositarkastelu. 2 % sähkön hinnan nousu. 0,6% paneelien tehonlasku

Takaisinmaksu					
Vuosi	Sähkö hinta 2% ^/a	Paneeli teho %	Vuosituotto kWh	Vuosituotto €	Kokonaistuotto €
1	0,1000	100,0	40480	4048	4048
2	0,1020	99,4	40237	4104	8152
3	0,1040	98,8	39994	4159	12311
4	0,1061	98,2	39751	4217	16528
5	0,1082	97,6	39508	4275	20803
6	0,1104	97,0	39265	4335	25138
7	0,1126	96,4	39022	4393	29531
8	0,1148	95,8	38779	4452	33983
9	0,1171	95,2	38536	4512	38495
10	0,1195	94,6	38294	4576	43071
11	0,1218	94,0	38051	4635	47706

Alemmassa on graafinen kuvaus tuoton kasvusta kahden ja kolmen prosentin sähköhinnan nousulla (kuva43). Tällä arviolla saadaan itä-länsi-järjestelmällä suurin piirtein 45 tuhannen euron tuottoarvio kymmenen vuoden kieppeillä. Jos sama järjestelmä osoittaisi etelään, päädyttäisiin kymmenessä vuodessa likimäärin 51 tuhannen euron tuottoon (ei kuvaajassa).



Kuva 43 Viivakaavio vuosituotto arviosta (2:n ja 3:n prosentin sähköhinnan nousu)

7 Yhteenveto

Elintarvikemyymälät ovat viime vuosien aikana olleet erittäin aktiivisia aurinkosähkön kannattajia. Aivan kuten K-Supermarketissa sähkön kulutus pysyy tasaisen korkealla aukioloaikoina, jolloin auringonsäteily on juuri parhaimmillaan. Elintarvikemyymälöille voidaan mitoittaa suuritehoisia voimaloita niin, että voimalan tuotolla korvataan ostosähköä vuorokauden ympäri. Tämä kohde demonstroi hyvin, miten suunnittelussa tulee sähköisten arvojen lisäksi kiinnittää huomiota paneelien sijoituksen vaikutukseen laitteiden valinnassa ja kytkennässä. Yleensä aurinkosähkölaitteiden lopullisen koon määrittelee kiinteistön kulutus, mutta K-Supermarketin kohdalla käytettävä asennuspinta-ala oli rajoittavampi tekijä. Voimalan toteutus sujui ongelmitta ja valmistui kahdessa viikossa. Kulutusprofiilien perusteella kohteessa on haluttaessa tilaa voimalan laajennukselle.

Opinnäytetyöstä kehkeytyi hyvin monipuolinen tietopaketti aurinkosähkөөn liittyvästä teoriasta. Uskon, että työ antaa hyvän kokonaiskuvan aurinkosähkölaitteiden ja järjestelmien sekä toimii apuna investointia harkitseville. Lähdin kirjoittamaan opinnäytetyötä aurinkoenergiasta omien intressien pohjalta, jonka johdosta pidin aiheen käsittelyn laajana.

Suomessa aurinkoenergian kannattavuus lähti selvään nousuun vuonna 2014. Suurin ero Suomessa on tapahtunut suurtehoisten aurinkovoimaloiden investointien määrässä. Yleisesti aurinkosähköinvestoinnit ovat olleet kasvussa kaikilla mahdollisilla sektoreilla. Aurinkoenergia investointina on pitkäikäinen, turvallinen ja kannattava olettaen, että investoinnissa hyödynnetään energiatukia, valitaan hyvän hintalaatusuhteen laitteet ja optimoidaan kulutus siten, että suurimmalla osalla aurinkosähköä korvataan ostosähköä verkkoon myynnin sijaan.

Viime aikoina on ollut nähtävissä paljon (omakotitalo, yritys, kunta) kohteita, joissa investoidaan samanaikaisesti auton latauspisteisiin ja aurinkovoimalaan. Näin vaikeammin optimoitavissa kohteissa voidaan sähköautoa käyttää aurinkosähkön varastointiin. Tulevaisuudessa on kiintoisaa nähdä, tuovatko sähköautojen kasvava kysyntä myös akkujen hintatasoa alemmas. Toistaiseksi verkkoonkytketyissä järjestelmissä ei ole kannattavaa investoida sähkön varastointiin, mutta tulevaisuudessa tilanne saattaa olla toisin, mikä parantaisi entisestään ainakin pienempien kohteiden kannattavuutta. Uskon aurinkoenergian jatkavan vahvaa kasvuaan Suomessa vielä pitkään.

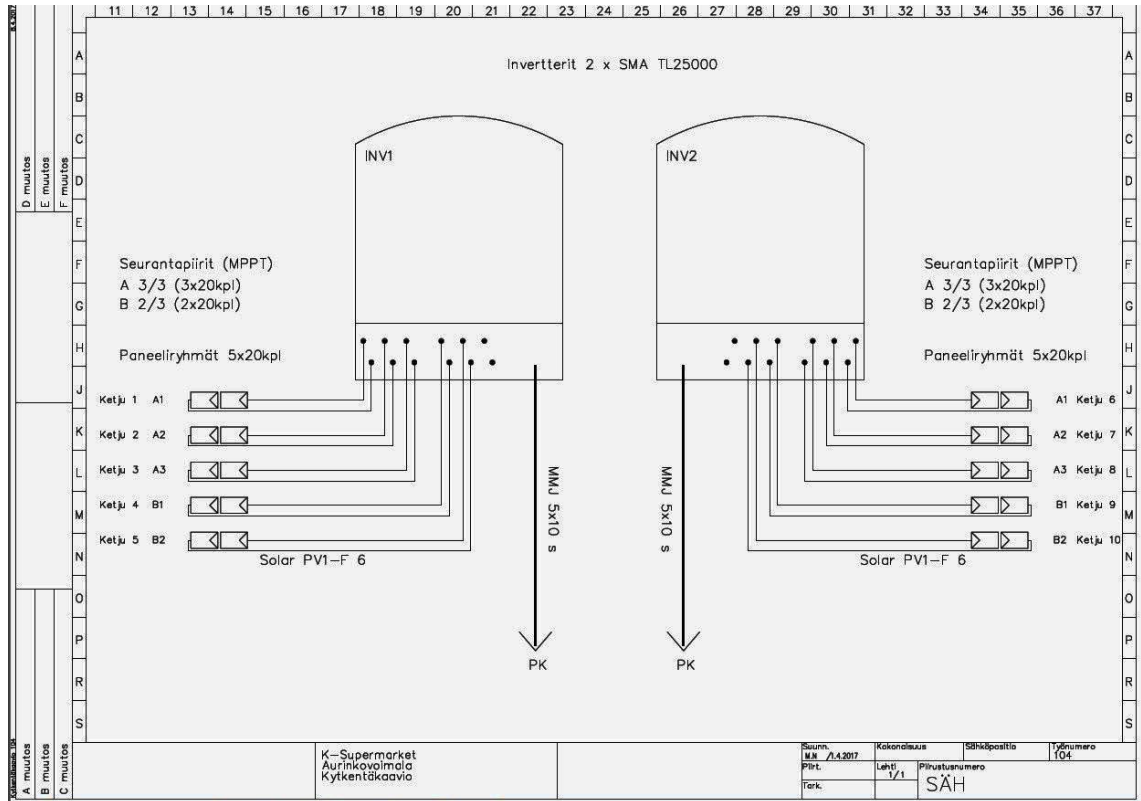
Lähteet

1. Käpylehto, Janne. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Into Kustannus Oy Helsinki
2. Renewables 2016 Global Status Report. Verkkodokumentti. REN21. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf Luettu 1.5.2017
3. Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. 2016. Aalto-yliopisto tutkielma. FinSolar. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/20264> Luettu 1.5.2017
4. European Union 2012 säteilykartta. Kuva 3. Motiva https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosakon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa Luettu 1.5.2017
5. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Verkkodokumentti. Sustekno. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf> Luettu 1.5.2017
6. Kennorakenne. Kuva 4. Verkkojulkaisu. Electronics-tutorials. <http://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>. Luettu 1.5.2017
7. Paneelityypit. 2015. Verkkojulkaisu. Energyinformative. <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/> Luettu 1.5.2017
8. Sharp Monikidepaneeli Datasheet. 2017. Verkkodokumentti. Sharp. NDRJ260-270W NDRJ65_12/16EN. pdf Luettu 1.5.2017
9. Sharp Yksikidepaneeli Datasheet. 2016. Verkkodokumentti. Sharp. NURJ280-285 NURJ85_07/16EN. pdf Luettu 1.5.2017
10. Teslarooftop. 2016. Verkkojulkaisu. Greentechmedia. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/the-economics-of-teslas-solar-roof> Luettu 1.5.2017
11. Paneeli vertailu. 2016. Verkkojulkaisu. Altstore. <https://www.altstore.com/blog/2016/09/monocrystalline-polycrystalline-solar-panels/> Luettu 1.5.2017
12. Lämpötilan vaikutus. Verkkojulkaisu. The Greenage. <http://www.thegreenage.co.uk/article/the-impact-of-temperature-on-solar-panels/>. Luettu 1.5.2017
13. Sharp takuu 2017. http://www.sharp.co.uk/cps/rde/xbcr/documents/documents/Service_Information/Warranty/1610-NDNU-SESE-Guarantee-EN-5_5.pdf
14. ST 55.33. 2017. Sähkötieto ry

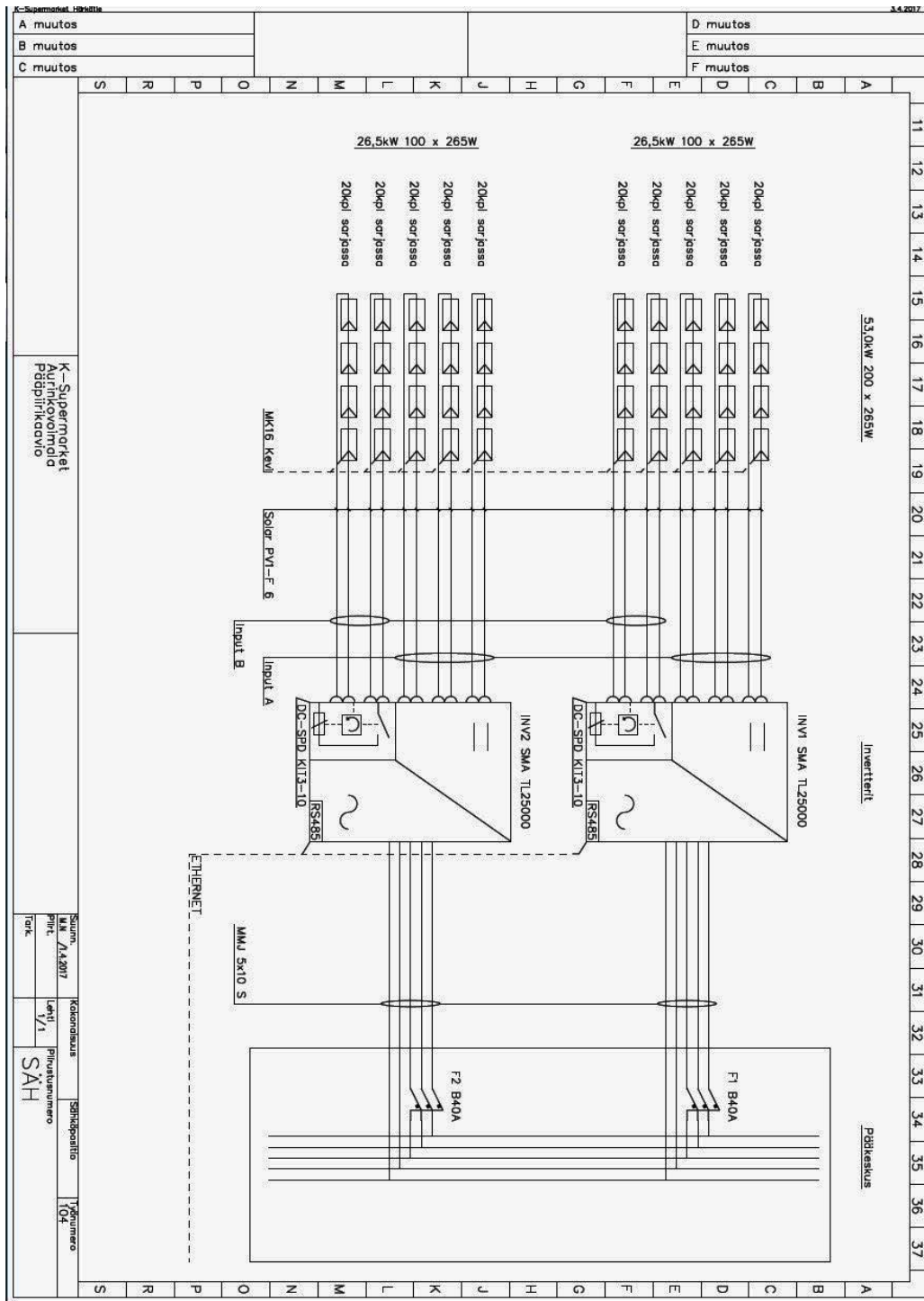
15. ABB Trio 50 invertteri. 2017. Verkkodokumentti. ABB. https://www.google.fi/?gws_rd=ssl#q=ABB+trio+50+pdf Luettu 1.5.2017
16. Varjojen hallinta SMA GlobalPeak. 2017. Verkkodokumentti. SMA. <http://files.sma.de/dl/7418/GlobalPeak-TI-en-12.pdf> Luettu 1.5.2017
17. Mikroinvertterit. 2017. Verkkojulkaisu. Enphase. <https://enphase.com/en-us/products-and-services/microinverters> Luettu 1.5.2017
18. Ketju- ja mikroinvertteri vertailu. 2016. Verkkojulkaisu. SolarReviews. <https://www.solarreviews.com/solar-inverters/pros-and-cons-of-string-inverter-vs-microinverter/> Luettu 1.5.2017
19. DC-tehostin. 2017. Verkkojulkaisu. Solaredge. <http://www.solaredge.com/products/power-optimizer#/> Luettu 1.5.2017
20. Aurinkosähköjärjestelmä akut. 2017. Verkkojulkaisu. Swenergia. <http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/aurinkopaneelijarjestelman-akut.html> Luettu 1.5.2017
21. Tesla Powerwall. Kuva 22. Verkkojulkaisu. https://www.tesla.com/fi_FI/power-wall?redirect=no Luettu 1.5.2017
22. Tuotto arvio, PVGIS-laskuri. 2017. Verkkosovellus. Euroopan Unioni. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> Luettu 1.5.2017
23. Sunnyportal tietokanta. 2017. Verkkosovellus. SMA. <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2f> Luettu 1.5.2017
24. Sähköautojen akkukapasiteetit. 2017. Verkkojulkaisu. eng Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery Luettu 1.5.2017
25. Paneelien hinnan lasku (Bloomberg). 2017. Energiatalous. <http://www.energiatalous.fi/?p=808> Luettu 1.5.2017
26. ABB Stringtool. 2017. Verkkosovellus. ABB. <http://stringtool.power-one.com/> Luettu 1.5.2017
27. Tianen, Esa. 2015. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Sähköinfo Oy Espoo
28. SMA SPD suojalaite. 2017. Verkkodokumentti. SMA. http://files.sma.de/dl/7418/U_Schutz-TI-en-13.pdf Luettu 1.5.2017
29. Tianen, Esa. 2010. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy Espoo

30. Energia-, teollisuus- ja talonrakennuskaapelit. 2017. Verkkodokumentti. Prysmian Group. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/ti/downloads/Energia_teollisuus_talonrakennuskaapelit.pdf Luettu 1.5.2017
31. SMA invertterin ohjekirja.2017. Verkkodokumentti. SMA. <http://www.solarnrg.nl/downloads/product/2931/8d424367b353100/handleiding-sma-sunny-tri-power-20000tl-30-25000tl-30.pdf> Luettu 1.5.2017
32. Tesla Solar Roof. 2016. kuva 7. Verkkojulkaisu. Vox. <https://www.vox.com/energy-and-environment/2016/10/31/13469846/tesla-solar-roof-solpad-solarwindow> Luettu 1.5.2017
33. SMA 25000TL invertteri Data-sheet. 2017. Verkkodokumentti. SMA. <http://www.koraxsolar.com/letoltes/inverterek/adatlapok/SMA%20Tripower%2020000-25000TL.pdf> Luettu 1.5.2017
34. Ohutkalvo. 2016. Kuva 7. Verkkojulkaisu. Materia. <https://materia.nl/article/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016/>

Kytentäkaavio



K-Supermarket Aurinkovoimala Pääpiirikaavio



A muutos	D muutos
B muutos	E muutos
C muutos	F muutos

K-Supermarket Aurinkovoimala Pääpiirikaavio	Kohtaus N:o /A.43077	Kokonaisuus 1/1	Sähkösopimus SAH	Työnumero 01
	Proj. Tark.			