



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Peetu Suomalainen

Aurinkosähköjärjestelmien toteutustavat kerrostalojen uudisrakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

16.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Peetu Suomalainen Aurinkosähköjärjestelmien toteutustavat kerrostalojen uudisrakentamisessa. 30 sivua 16.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori, Vesa Sippola toimitusjohtaja, Jukka Pröckinen
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli tutustua erilaisien aurinkosähköjärjestelmien toteutustapoihin kerrostalojen uudisrakentamisessa. Työn tarkoituksena on olla tukena päätöksentekoprosessissa aurinkosähköjärjestelmää suunnitellessa.</p> <p>Työssä tutustuttiin ensin aurinkoenergiaan yleisesti. Tämän jälkeen tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän komponentteja ja toimintaa, sekä lopuksi mahdollisia tapoja toteuttaa aurinkosähköjärjestelmä.</p> <p>Työ pitää sisällään teoriaa auringon säteilemästä sähkömagneettisesta energiasta, siitä kuinka tätä energiaa voidaan taltioida valosähköisen ilmiön avulla ja aurinkokennojen toimintaperiaatteesta. Tämän lisäksi työssä esitellään mahdollisia tapoja toteuttaa aurinkosähköjärjestelmä.</p> <p>Työssä nousi lopulta esille neljä erilaista toteutustapaa aurinkosähköjärjestelmille. Toteutustavoista selvitettiin toimintaperiaate, sekä käytiin läpi hyviä ja huonoja puolia.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, mitoitus, toimintaperiaate

Author Title	Peetu Suomalainen Photovoltaic systems in new construction apartment buildings
Number of Pages Date	30 pages 16 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Vesa Sippola, Senior Lecturer Jukka Prökkinen, CEO, Luja-Sähkö Oy
<p>The main objective of this thesis work was to examine different ways to engineer a photovoltaic system in a new construction apartment buildings. The purpose was to be supportive part of decision-making process in designing a photovoltaic system.</p> <p>At first in the study solar energy is examined in general. Following a research of the components of a photovoltaic system and finally a few potential ways to create the system in practice.</p> <p>The study contains theory about the electromagnetic radiation of the Sun, how to harvest the energy by photoelectric effect and operating principles of the solar cells. The study introduces various ways to build a photovoltaic system in a new construction apartment building. It also includes illustrations of the system's functioning.</p> <p>The study brought up four different ways to design a photovoltaic system. It also present the operating principles of the systems and analyzes the pros and cons.</p>	
Keywords	photovoltaic system, solar panel, sizing, operating principle

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	1
3	Aurinkosähköjärjestelmä	4
3.1	Valosähköinen ilmiö	4
3.2	Aurinkokennot	5
3.3	Kennon toimintaperiaate	5
3.4	Aurinkokennotyypit	6
	Yksikidekennot (M-si)	7
	Monikidekennot (p-si)	7
	III - V -kennot	8
	Ohutkalvokennot	8
3.5	Aurinkopaneelit	9
3.6	Ominaiskäyrä	10
3.7	Invertterit	13
3.8	Kaapelointi	14
3.9	Ylivirtasuojaus	14
3.10	Maadoitus ja potentiaalintasaus	15
4	Aurinkosähköjärjestelmien toteutustavat	16
4.1	Kiinteistösähköön kyketty voimala	16
4.2	Mikroinverttererillä mittauskeskukselle	18
4.3	Takamittarointi	18
4.4	Takamittarointi mikroinvertterillä	20
5	Yhteenveto	22
	Lähteet	23

Lyhenteet

CdTe	<i>Cadmium Telluride</i> . Kadmiumtelluuri, käytetään ohutkalvokennoissa.
CIGS	<i>Copper Indium Gallium Selenide</i> . Kuparin, indiumin, galliumin ja seleenin yhdiste, jota käytetään ohutkalvokennoissa.
CIS	<i>Copper Indium Diselenide</i> . kupari-indiumdiseleeni, käytetään ohutkalvokennoissa.
DVC-A	Tasajännite UDCL on suurimmillaan 60 VDC ja vaihtojännite UACL suurimmillaan 25 VAC.
GaAs	<i>Gallium Arsenide</i> . Galliumarsenidi, käytetään ohutkalvokennoissa.
$I_{MOD_MAX_OCPR}$	Suurin IEC 61730-2 mukaan mitoitettu paneelin ylivirtasuojaus.
I_{MPP}	Ominaiskäyrän maksimitehopistettä vastaavan virran arvo.
I_{SC}	Paneelin oikosulkuvirta.
I_{SC_MOD}	Paneelin tai paneeliston oikosulkuvirta STC-olosuhteissa.
m-si	<i>Monocrystalline silicon</i> . Yksikidekenno.
P_{MPP}	Ominaiskäyrän maksimitehopiste.
p-si	<i>Polycrystalline silicon</i> . Monikidekenno.
S_A	Rinnankytkettyjen paneeliketjujen lukumäärä paneelistossa.
U-I käyrä	Jännite-virta -käyrä. Ominaiskäyrä.

U_{MPP}	Ominaiskäyrän maksimitehopistettä vastaavan jännitteen arvo.
U_{OC}	Tyhjäkäyntijännite.
WP	Paneelien nimellisteho.

1 Johdanto

Ihmiskunnan väestönkasvun kehitys ja teknologinen edistys tuovat mukanaan jatkuvasti kasvavan energiantarpeen. Ilmastonmuutoksen tullessa yhä yleisempään tietoisuuteen, valtioille on asetettu päästötavoitteita. Fossiilisten polttoaineiden määrä tulee vähene-
mään sähköntuotannossa, eli tilalle tarvitaan erilaisia vaihtoehtoja.

Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, minkä merkitys vaikuttaa kasvavan tulevaisuu-
dessa runsaasti. Aurinkoenergia on siis yksi tavoista, jota voidaan hyödyntää kasvavaan
energiantarpeeseen.

Suomessa aurinkovoima ei ole vielä saavuttanut suurta suosiota, mutta kiinnostus sitä
kohtaan on kasvanut. Suomessa on suuri potentiaali aurinkoenergialle. Etelä-Suomessa
kerättävän aurinkoenergia voi potentiaaaliltaan vastata jopa Keski-Eurooppaa.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi aurinkoenergiaa yleisesti, aurinkosähköjärjestel-
män komponentteja ja erilaisia aurinkosähköjärjestelmän toteutustapoja.

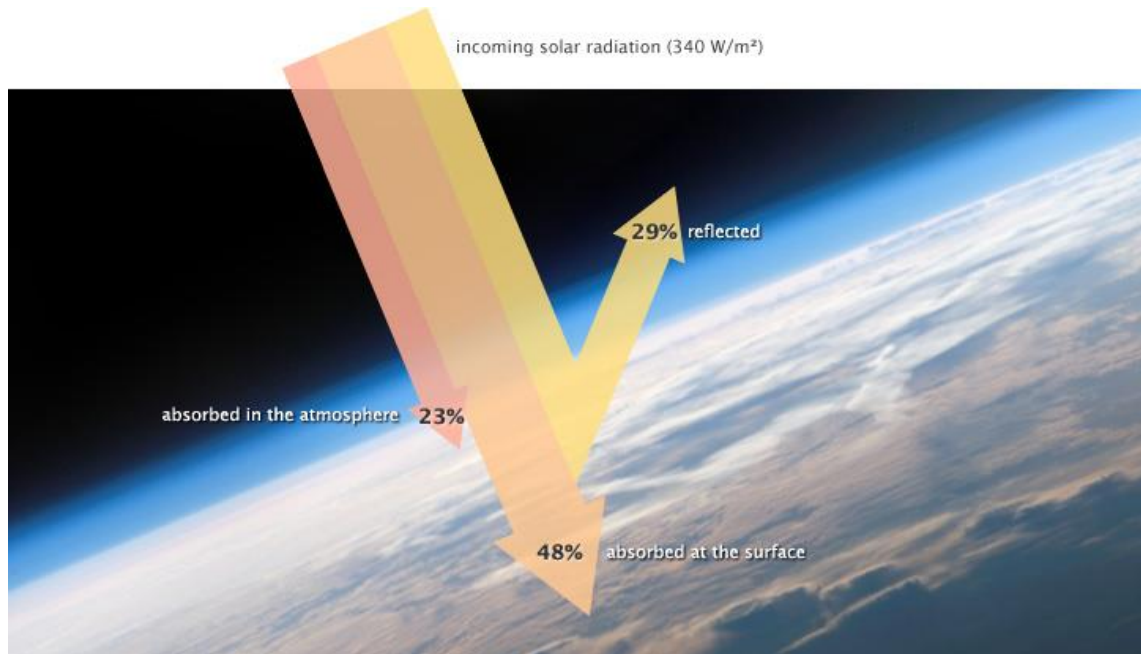
Työ on tehty Luja-Sähkö Oy:lle ja sen tavoite on tarkastella erilaisia tapoja toteuttaa au-
rinkosähköjärjestelmä kerrostalon uudisrakentamisessa.

2 Aurinkoenergia

Aurinko vapauttaa ympärilleen sähkömagneettista säteilyä, joka syntyy sen sisällä ta-
pahtuvista fuusioreaktioista. Säteilystä noin puolet on valoa ja puolet infrapunasäteilyä.
(1.)

Tätä sähkömagneettista energiaa voidaan kerätä käyttöön aurinkokennoilla tai aurinko-
lämpökeräimillä. Tätä kerättyä energiaa kutsutaan aurinkoenergiaksi. Aurinkoenergia on
uusiutuvaa energiaa ja ainoat syntyvät päästöt tulevat laitteiston valmistus- ja kierrätys-
prosesseista. (2.)

Auringon kokonaisteho on $3,846 \cdot 10^{26}$ W, josta maahan päätyy 170000 TW. Tästä määrästä vain pieni osa voidaan hyödyntää. Noin kolmasosa heijastuu suoraan takaisin, ja ilmakehä ja maaperä imevät itseensä suurimman osan jäljelle jäävästä säteilystä kuten kuva 1 havainnollistaa. Hyödynnettävää säteilyä maapallolle saapuvasta säteilystä on vain 0,008 %, mutta hyödynnettävän säteilyn kokonaismäärä on silti huomattavan suuri. (2.)



Kuva 1. Maapallolle saapuvan säteilyn jakautuminen. (3)

Aurinkoenergia Suomessa

Auringonsähkön tuotanto perustuu auringosta saapuvan valon määrään, joten saataavuus vaihtelee suuresti vuodenaikojen myötä. Talvella pimeimpään aikaan joului- ja tammi-kuussa energiaa ei saada juurikaan talteen, kun taas kesällä sitä riittää runsaasti. (2.)

Aurinkoenergian määrä Suomessa vaihtelee myös alueittain runsaasti. Rannikkoalueella, sekä etelämpänä saatavuus on korkeampi. Etelä-Suomessa ja länsirannikolla vuosittainen aurinkoenergian määrä voi olla jopa 1100kWh/m^2 , Keski-Suomessa ja Perämerellä määrä laskee $900\text{--}1100\text{ kWh/m}^2$ välille ja pohjoisessa määrä voi laskea jopa alle 900 kWh/m^2 . Kuvassa 2 on kuvattu vuosittaisen säteilyn määrää Suomessa. (4.)

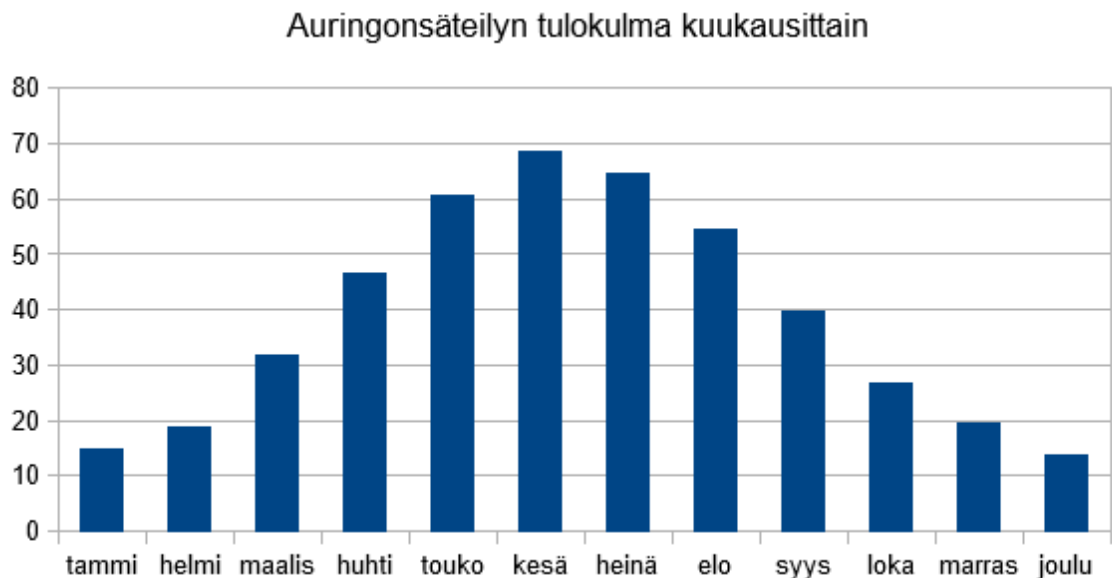


Kuva 2. Vuosittaisen säteilyn määrä Suomessa. (4.)

Aurinkokennojen hyötysuhde nousee kuitenkin kylmässä ilmastossa, joten Suomessa kerättävän aurinkoenergian kokonaismäärä neliömetriltä voi nousta jopa Keski-Eurooppaa korkeammalle. (2.)

Suomessa hajasäteilyn eli epäsuoraan saapuvan säteilyn määrä on suuri. Etelä-Suomessa hajasäteilyn osuus on jopa puolet saapuvan säteilyn määrästä. Aurinkopaneelien toimintaan ei vaikuta, onko saapuva säteily suoraa vai hajasäteilyä. Hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on Suomessa niin suuri, että ei ole kannattavaa toteuttaa keskittäviä- tai aurinkoa seuraavia järjestelmiä. (5.)

Taulukko 1. Auringonsäteilyn tulokulma kuukausittain Etelä-Suomessa, (6).



Taulukossa 1 kuvataan auringonsäteilyn tulokulmaa asteina Etelä-Suomessa kuukausittain. Kuten taulukossa 1 käy ilmi auringon säteilyn tulokulma vaihtelee kuukausittain runsaasti.

3 Aurinkosähköjärjestelmä

3.1 Valosähköinen ilmiö

Puolijohdetekniikkaan perustuvien aurinkokennojen toiminta perustuu ilmiöön nimeltä valosähköinen ilmiö. Valosähköisessä ilmiössä auringon säteilyn energiaa kuljettavat hiukkaset, eli fotonit törmäävät aineeseen, jolloin fotonin energia siirtyy kokonaan elektronille ja irrottaa sen atomista. Irronnutta elektronia kutsutaan fotoelektroniksi. (7.)

3.2 Aurinkokennot

Aurinkokennot ovat pääasiassa piistä tehtyjä puolijohdekomponentteja. Pelkästä piistä valmistetuilla kennoilla ei kuitenkaan saataisi hyödynnettyä valosähköisen ilmiön irrottamia elektroneja kunnolla sähköntuotannossa. Niinpä kennot koostuvat kahdesta eri tyyppisestä puolijohdemateriaalista. Näitä kutsutaan n- ja p- tyyppin puolijohdeiksi. (8.)

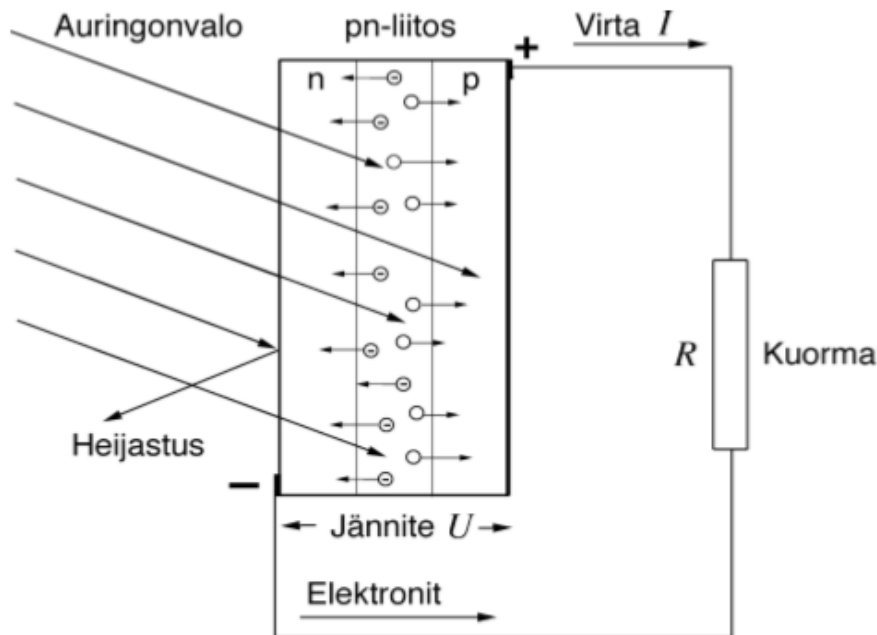
N-tyypin puolijohde on saostettu 5. ryhmän alkuaineella, yleensä fosforilla (F) ja p-tyypin puolijohde on puolestaan saostettu 3. ryhmän alkuaineella, yleensä boorilla (B). Fosforia saostetaan n-tyypin puolijohdeeseen, sillä siinä on enemmän elektroneja kuin muilla puolijohde atomeilla. Booria puolestaan lisätään p-tyypin puolijohdeeseen, sillä siinä on vähemmän elektroneja. Jo todella pienet määrät seosainetta vaikuttavat suuresti puolijohdeiden sähkönjohtavuuteen. Esimerkiksi yksi booriatomi 10^5 piiatomin seassa kasvattaa johtavuuden jopa tuhat kertaiseksi huoneenlämmössä. (8;9.)

3.3 Kennon toimintaperiaate

Kun p- ja n-tyyppiset puolijohdeet asetetaan vierekkäin, syntyy pn-liitos. N-puolen rajapinnassa olevat ylimääräiset elektronit alkavat siirtyä p-puolen aukkoihin ja liitoksen eri puolille syntyy erimerkkiset varaukset. P-puolelle syntyy negatiivinen varaus sinne saapuneista elektroneista johtuen ja n-puolelle syntyy puolestaan positiivinen varaus. Varauksen syntyminen saa kerrosten välille syntymään sähkökentän, joka estää varauksen kuljettajien liikkumisen rajapinnan yli. Tätä väliin jäävää aluetta kutsutaan tyhjennysalueeksi. (8;11.)

Aurinkokenno rakentuu paksummasta runko-osasta, joka on seostettu p-tyyppiseksi. Tämän päälle on tehty ohut n-tyypin kerros. Kiekon kummallekin puolelle liitetään ohuet metallijohtimet, joilla tuotettu sähkövirta saadaan ohjattua ulkoiseen piiriin. (8;11.)

Kun kennoon kohdistuu auringon säteilyä, osalla fotoneista on riittävän suuri energia läpäistäkseen ohuen n-tyyppin kerroksen. Nämä fotonit voivat muodostaa pn-liitoksessa elektroni-aukko pareja. Kennon sisäisen sähkökentän takia elektronit kulkeutuvat n-puolta kohti ja aukot p-puolta kohti. Tämä saa aikaan sen, että valaistun liitoksen eri puolilla on erimerkkiset varauksenkuljettajat, jolloin liitos voi toimia jännitelähteenä ulkoiselle piirille. Kuvassa 3 havainnollistetaan pn-liitosta ja kennon toimintaperiaatetta. (8; 11)



Kuva 3. Aurinkokennon pn-liitos (10).

3.4 Aurinkokennotyypit

Aurinkokennoja on pääasiallisesti kolmea tyyppiä: Yksikide-, monikide ja ohutkalvokennot. Kappaleissa käsitellään, miten ne poikkeavat toisistaan ja mitä kennotyyppin valinnassa kannattaa ottaa huomioon. (12.)

Yksikide- ja monikidekennot kuuluvat ensimmäisen sukupolven aurinkokennoihin. Ohutkalvokennot kuuluvat toisen sukupolven aurinkokennoihin ja niiden valmistukseen käytetään laajemmin eri raaka-aineita. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat toimintaperiaatteeltaan erilaisia, niissä ei välttämättä tarvita p-n-liitosta sähköntuottoon. (13.)

Erilaiset aurinkokennot poikkeavat toisistaan lähinnä valmistustavan, tehon, koon ja hyötysuhteen osalta. Niissä on kuitenkin tiettyjä ominaisuuksia, jotka kannattaa ottaa myös huomioon. (12.)

Yksikidekennot (M-si)

Yksikidekennoissa käytetään yksikiteistä piitä, jonka atomit ovat muodostaneet todella säännöllisen rakenteen, kuten kuvasta 4 voidaan huomata. Kide on kooltaan yli 10 cm². Yksikiteisen rakenteen takia ne ovat hyötysuhteeltaan monikiteisiä parempia, mutta myös kalliimpia valmistaa. Yksikidepaneelien hyötysuhde on yleensä luokkaa 15–22 %. (12;14.)

Yksikiteisten kennojen isoin ongelma on aurinkopaneelin likaantuminen ja varjostuminen. Sarjaan kytketyssä paneelistossa yhdenkin paneelin varjostuminen aiheuttaa koko piirin tehon alenemisen. Yksikiteiset kennot kestävät myös korkeampia lämpötiloja paremmin, mikä tekee niistä suosittuja päiväntasaajan alueella. (12;14.)



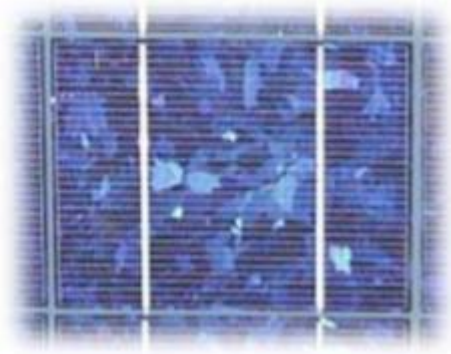
Kuva 4. Yksikidekenno (10).

Monikidekennot (p-si)

Monikidepaneelin kennot valmistetaan sulattamalla piitä ja valamalla se muottiin, jolloin paneelin pinnasta saadaan tasainen ja yhtenäinen. Raaka-aineeksi kelpaa myös leikkausprosessissa syntyneet ylijäämäpalat, joten materiaalihäviöitä syntyy vähemmän.

Kuten kuvasta 5 näkee monikidepaneelissa piin atomit eivät muodosta yhtä säännöllistä rakennetta kuin yksikidepaneeleissa. (12.)

Monikiteinen paneelisto sietää pientä varjostumista ja likaantumista paremmin, mutta mikäli yksikin kenno peittyy kokonaan, koko paneelin teho tippuu nolnaan. (12.)



Kuva 5. Monikidekenno (10).

III - V -kennot

Ryhmien III ja V alkuaineita yhdistelemällä voidaan saada aikaan rakenne, joka vastaa piitä kiderakenteeltaan. Eniten käytettyjä alkuaineita ovat gallium ja arseeni [GaAs]. Näitä aineita yhdistelemällä saadaan aikaan vastaavia piikennoja parempi hyötysuhde, mutta raaka-aineet ovat harvinaisia ja myrkyllisiä, minkä takia niiden soveltuvuus käyttöön on hyvin rajoitettua. (13.)

Ohutkalvokennot

Ohutkalvokennot ovat nimensä mukaisesti ohuempia. Piipohjaisten kennojen toiminnallinen osa on yleensä noin 100–300 μm , kun taas ohutkalvokennojen toiminnallinen osa on vain 1–10 μm .

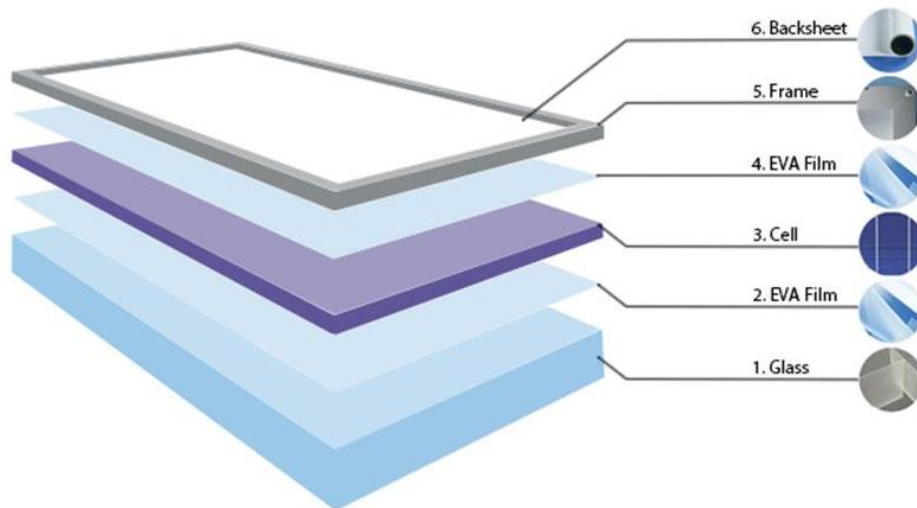
Ohutkalvokennot vaativat vähemmän puolijohdemateriaaleja ja minkä takia se soveltuu hyvin massatuotantoon. Monikiteisissä ohutkalvokennoissa käytetään materiaalina pääasiassa kupari-indiumdiseleeniä [CIS] ja Kadmiumtelluuria [CdTe]. Yksikiteisissä ohutkalvokennoissa puolestaan käytetään galliumarseenia [GaAs].

Muitakin yhdisteitä, kuten kadmiumin ja telluurin seosta [CdTe], kuparin, indiumin, galliumin ja seleenin yhdistettä [CIGS] ja amorfista piitä on käytetty ohutkalvokennojen materiaaleina. (14.)

Ohutkalvopaneeleilla saadaan kerättyä hajasäteilyä hieman tehokkaammin kuin piipohjaisilla paneeleilla, mutta vaikutus on kuitenkin vielä vähäinen. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on myös yksi- ja monikide paneeleita matalampi, mikä korostuu entisestään ympäristön viiletessä. (8.)

3.5 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat useista sarjaan ja rinnan kytketyistä aurinkokennoista. Haluttu jännite-ero saadaan muodostettua kytkemällä kennoja sopiva määrä sarjaan. Sarjaan kytkettyjen aurinkokennojen jännitteiden summa määrittää aurinkopaneelin jännitteen, kun taas rinnan kytkettyjen kennojen virtojen summa määrittää paneelin kokonaisvirran. Aurinkopaneelit koteloidaan kuvan 6 mukaisesti paneelikehykseen ja kennojen eteen tulee säteilyä hyvin läpäisevä suojalasi. (15.)



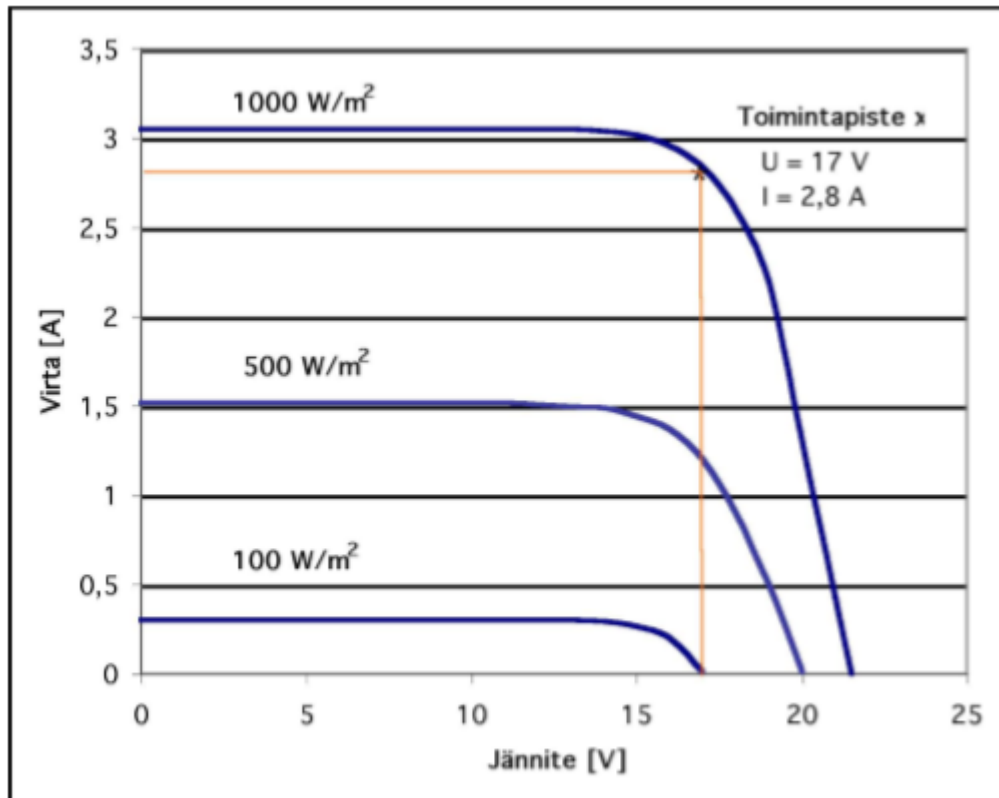
Kuva 6. Aurinkopaneelin rakenne (16).

3.6 Ominaiskäyrä

U-I -käyrä eli aurinkopaneelin ominaiskäyrä kuvastaa paneelin toimintaa virran ja jännitteen avulla. Koska vallitsevat olosuhteet vaikuttavat kennojen toimintaan, on luotu standardiolosuhteet vertailua varten. Paneelien nimellisteho WP ilmoitetaan aina standardiolosuhteissa. Nämä standardiolosuhteet ovat;

1. Säteilyn voimakkuus 1000 W/m²
2. Lämpötila +25 °C
3. Ilmamassa 1,5

Ominaiskäyrästä voidaan nähdä paneelin oikosulkuvirta I_{SC} , tyhjäkäyntijännite U_{OC} ja maksimitehopiste P_{MPP} , sekä sitä vastaavat I_{MPP} ja U_{MPP} . Ominaiskäyrän maksimitehopiste tai toimintapiste kertoo millä virran ja jännitteen arvoilla saadaan suurin tehontuotto. Paneelin virran arvo on lähes suoraan verrannollinen säteilyn määrään. Maksimitehopiste löytyy yleisesti kohdasta, jossa virtakäyrä on alkanut laskea hieman. (10;17.)



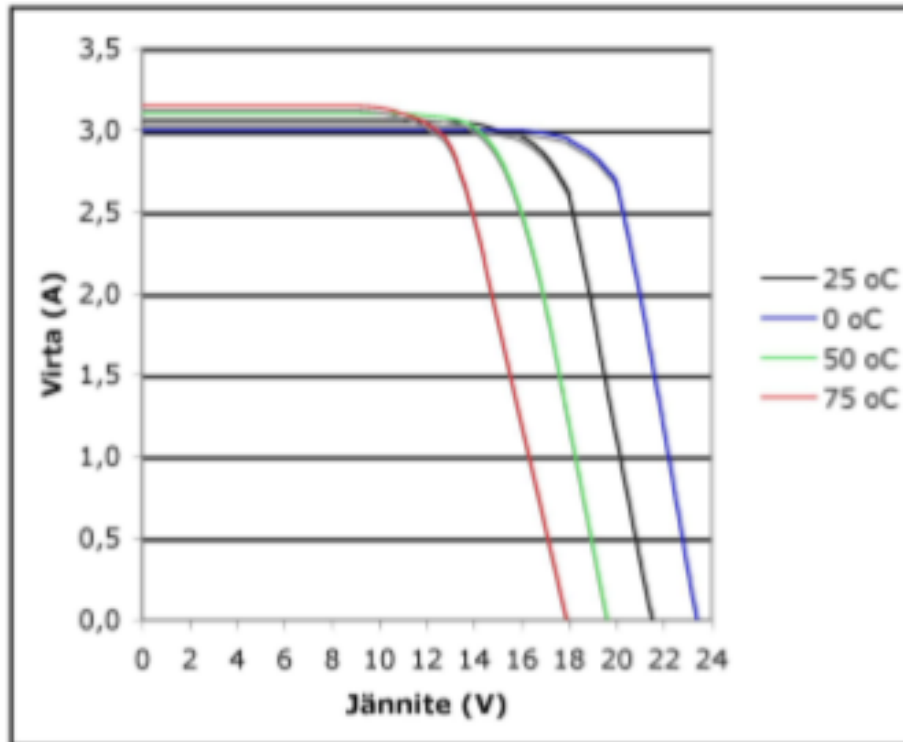
Kuva 7. Ominaiskäyrä (10).

Kuvassa 7 on esimerkkikuva ominaiskäyrästä. Kuvan 7 tapauksessa 1000 W/m² säteilyn voimakkuudella $I_{MPP} = 2,8$ A ja $U_{MPP} = 17$ V.

Paneelin tehon tuotto saadaan laskettua Joulen lailla virran ja jännitteen tulona. Kuvan 7 tapauksessa teho olisi:

$$P = 17 \text{ V} * 2,8 \text{ A} = 47,6 \text{ W}$$

Paneelin tuottama energian määrä saadaan laskettua, kun paneelin teho kerrotaan ajalla. Sähköenergian määrä ilmoitetaan yleensä wattitunteina tai kilowattitunteina, joten kertoimena on helpointa käyttää tunteja. Kuvan 7 esimerkin mukainen paneeli tuottaisi maksimitehospisteen arvoilla tunnissa $E = Pt = 47,6 \text{ W} * 1\text{h} = 47,6 \text{ Wh}$.



Kuva 8. Lämpötilan vaikutus ominaiskäyrään. (10).

Kuvassa 8 on esitetty, miten ominaiskäyrä käyttäytyy erilaisissa lämpötiloissa. Kuten kuvaajasta voi huomata, lämpötilan muutos vaikuttaa suuresti jännitteeseen, mutta vain hieman virtaan. Tästä johtuen lämpötilan noustessa tehon alenema vastaa suunnilleen jännitteen alenemaa.

Myös paneelin asennuskulmalla voidaan vaikuttaa tehontuottoon. Kiinteästi asennetun paneelin asennuskulma vaikuttaa paneeliin kohdistuvaan kokonaissäteilyn määrään runsaasti. Taulukosta 2 voidaan havaita, että optimaalinen kulma aurinkopaneeleille Etelä-Suomessa on noin 40°. (6.)

Taulukko 2. Paneelien asennuskulman ja säteilyn määrän suhde Etelä-Suomessa. (18).

Paneelin asennuskulma	Vuosittainen säteilyn määrä neliometriä kohden
20	1070
30	1110
40	1120
50	1110
60	1080

3.7 Invertterit

Invertterit eli vaihtosuuntaajat ovat aurinkosähköjärjestelmän yksi komponenteista. Niiden tarkoitus on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasavirta vaihtovirraksi. Tasasähkö sopii vain osille kulutuslaitteista, kun taas vaihtosähköä voidaan käyttää kaikissa verkkoon kytketyissä laitteissa. Inverttereitä on olemassa 1- ja 3- vaiheisena. 1-vaiheisia käytetään yleisemmin pienemmissä toteutuksissa. 1-vaiheinvertteri kytketään nimensä mukaisesti vain yhteen vaiheeseen, joten se palvelee vain osaa kulutuslaitteista. 3-vaiheinverttereillä puolestaan saadaan suurempi hyöty, sillä se saadaan palvelemaan kaikkia kulutuslaitteita. (18.)

Useimmiten paneelistolle valitaan yksi invertteri, mutta järjestelmän voi myös toteuttaa mikroinverttereillä. Mikroinverttereillä jokaiseen paneeliin liitetään oma invertteri. Tämä mahdollistaa paneelikohtaisen seurannan, eikä yhden paneelin varjostuminen vaikuta muiden sähköntuottoon, kuten sarjaan kytketyissä paneeleissa. Usea mikroinvertteri tulee kuitenkin kalliimmaksi kuin yksi keskitetty invertteri. Lisäksi järjestelmän komponenttien lisääntyessä huoltovarmuus heikkenee. (18.)

3.8 Kaapelointi

Paneeliston kaapelit tulee suunnitella ja asentaa kestävästi ulkoisia rasituksia, mm. tuuli, jää, lämpötila ja auringonsäteily. Kaapelointi tulee myös toteuttaa niin, että minimoidaan oikosulkujen ja maasulkujen vaikutukset. (19.)

Paneeliston kaapelointiin suositellaan käytettäväksi taipuisia kaapeleita. Niiden tulee myös soveltua tasasähköasennuksiin, olla käyttölämpötilaltaan sopivia aurinkosähköasennuksiin ja olla mitoitusjännitteeltään yhtä suuria tai suurempia kuin paneeliston suurin jännite. (20.)

3.9 Ylivirtasuojaus

Ylivirtaa voi muodostua monesta syystä paneelistöön. Paneelit ovat itsessään virtarajoitettuja lähteitä, mutta ylivirtaa voi syntyä esimerkiksi rinnakkain kytketyistä paneeliketjuista, joistain invertteri-tyypeistä tai akustoista.

Ylivirtasuojaus tulee olla tehtynä seuraavissa tapauksissa:

1. Järjestelmässä, joka on kytketty akustoon
2. Paneeliketjussa, mikäli täyttyy $((S_A - 1) \times I_{SC_MOD}) > I_{MOD_MAX_OCPR}$

S_A on Rinnankytkettyjen paneeliketjujen lukumäärä paneelistossa

I_{SC_MOD} on Paneelin tai paneeliston oikosulkuvirta STC-olosuhteissa

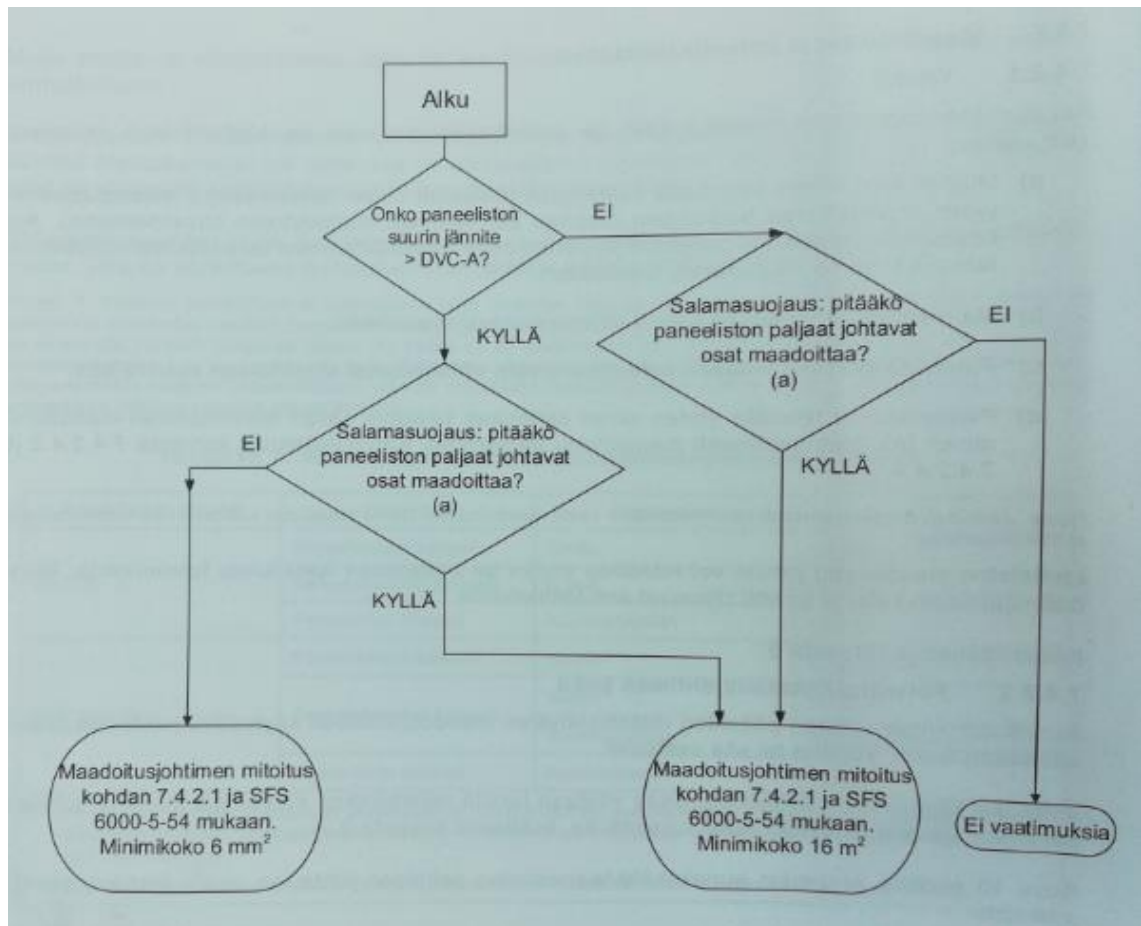
$I_{MOD_MAX_OCPR}$ on Suurin IEC 61730-2 mukaan mitoitettu paneelin ylivirtasuojaus

3. Osapaneelistossa, mikäli useampi osapaneelistö on kytketty järjestelmässä samaan tehomuuntimeen.

Ylivirtasuojana voidaan käyttää sulakkeita tai katkaisijaa, jossa on ylivirtasuojatoiminnot. Ylivirtasuojalaitteet sijoitetaan kaapeleiden päihin, kauimmaksi paneelista. (20.)

3.10 Maadoitus ja potentiaalintasaus

Paneeliston paljaat johtavat osat tulee maadoittaa. Maadoitukseen tulee käyttää vähintään 6 mm² kuparista johdinta tai vastaavaa. Osassa järjestelmän kokoonpanoissa voidaan salamasuojajärjestelmän vaatimusten vuoksi tarvita suurempia johtimia. Johtimen mitoituksen tulee olla kuvan 9 vaatimusten mukainen. (20.)



Kuva 9. Päätöksentekokaavio toiminnalliseen maadoitukseen/potentiaalintasaukseen. (20.)

Kuvan 9 päätöksentekokaaviossa esiintyvä termi DVC-A tarkoittaa, että tasajännite UDCL on suurimmillaan 60 VDC ja vaihtojännite UACL suurimmillaan 25 VAC.

Salamasuojauksen suunnittelussa tulee huomioida myös paneeliston sijainti suhteessa ympärillä oleviin rakenteisiin. Suunnittelussa voidaan käyttää apuna standardeja IEC-62305-2 ja IEC-62305-3 tai paikallista tietoa salamointipäivien vuosittaisesta lukumäärästä.

Joissain tapauksissa voidaan vaatia lisäpotentiaalintasausta, jossa paljaat johtavat osat liitetään toisiinsa. Tällä toimenpiteellä pyritään rajoittamaan jännite-eroja lähekkäin olevien paljaiden johtavien osien välillä. (20.)

4 Aurinkosähköjärjestelmien toteutustavat

Aurinkosähköjärjestelmän voi toteuttaa eri tavoin. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään mahdollisia toteutustapoja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Samalla esitellään myös havainnollistavia esimerkkikuvia tapauksista.

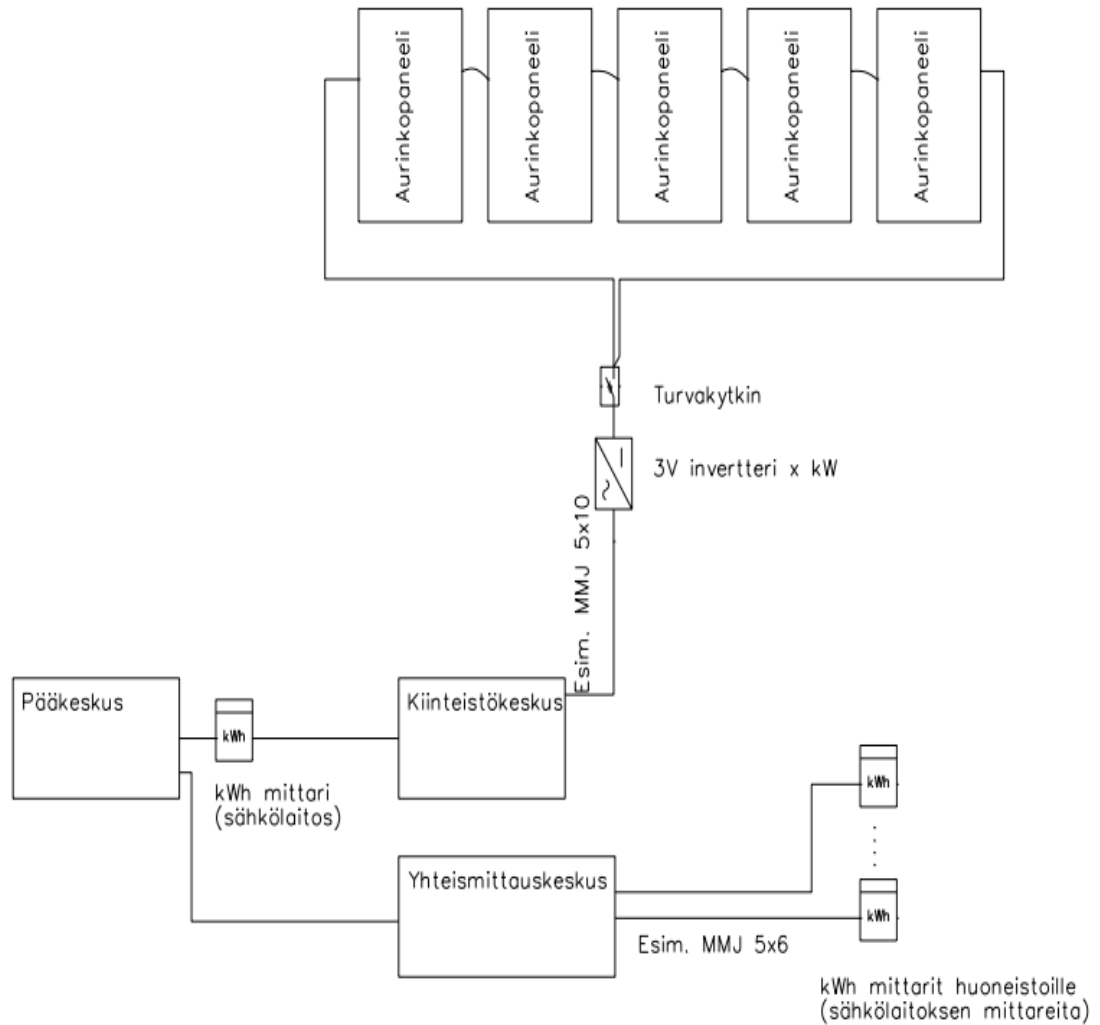
Aurinkosähköjärjestelmän toteutustapaa valitessa tulee ottaa huomioon kohteen tarpeet ja rajoitteet. Yksi tapa ei välttämättä aina parempi kuin toinen, vaan esimerkiksi käytettävissä oleva asennuspinta-ala vaikuttaa suuresti.

4.1 Kiinteistösähköön kytketty voimala

Kiinteistösähköön kytketty aurinkosähköjärjestelmä on yksinkertaisin tapa lisätä aurinkosähköä kerrostaloihin. Tässä tapauksessa järjestelmä ei vaikuta asuntojen sähkönkäyttöön tai sähkösopimukseen.

Voimala kytketään kiinteistökeskukseen kattamaan kiinteistön yleisten tilojen ja teknisten järjestelmien sähkönkulutusta. Osakkaat hyötyvät tuotetusta sähköstä halvemman vastikkeen muodossa.

Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa tarkasti, jotta se vastaa kulutusta. Tässä tapauksessa järjestelmän koko jää kuitenkin usein pieneksi, sillä kiinteistön yleisten tilojen sähkönkulutus on vähäistä verrattuna koko rakennuksen sähkönkulutukseen. (21.)



Kuva 10. Periaatekuva kiinteistösähkön kytkelylle aurinkovoimalaitokselle.

Järjestelmä mitoitetaan kiinteistön pohjakuorman avulla. Kiinteistön pohjakuormalla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon sähköä kuluu vähintään ajasta riippumatta. Pohjankuorman arviointi uudiskohteissa tapahtuu laskennallisena arviointina. Arvioinnissa otetaan huomioon yleisten tilojen sähkönkäyttö sekä rakennuksen tekniset laitteet. Näitä ovat muun muassa; lämmitys, käyttövesijärjestelmän pumput, yleisten tilojen ja ulkotilojen valaistus, hissit, ilmanvaihto, sekä joissain tapauksissa autojen lämmitystolpat. (22.)

4.2 Mikroinverttererillä mittauskeskukselle

Mikroinverttereitä käytettäessä voidaan ajatella rakennuksella olevan monta pientä voimalaa. Esimerkiksi yksi paneeli voi vastata yhtä voimalaa. Mikroinvertterit mahdollistavat sen, että paneelit kytketään suoraan asunnon mittariin. Tällöin jokainen osakas saa suoraan hyödyn paneelien tuottamasta sähköstä.

Paneelisto vaatii mittauskeskuksella oman sulakkeensa, mutta uudiskohteissa tämä voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi keskusten sijoitusta kannattaa miettiä kohdekohtaisesti. Esimerkiksi voidaan harkita mittauskeskuksen sijoittamista ko-nehuoneeseen tai ullakotilaan jännitehäviöiden minimoimiseksi.

Tämä toteutus tuo toisaalta haasteita mitoitukselle, sillä suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytössä oleva kattopinta-ala ja sen jakaminen osakkaiden kesken. Vaihtoehtona voidaan käyttää esimerkiksi yhtä paneelia per asunto ja optiota hankkia lisää paneeleita sovittuun määrään asti.

Mikäli mikroinvertterit kytketään asuntojen mittauksen taakse, voimalan hyötysuhde pienenee helposti, sillä ylijäämä sähköä ei voida jyvittää muun rakennuksen käyttöön, vaan se pitää joko varastoida akkuihin tai myydä takaisin sähköyhtiölle. Ylijäämä sähkö myynti takaisin sähköyhtiölle ei kuitenkaan ole kannattavaa, sillä takaisinmyyntihinta on paljon pienempi kuin ostetun sähkön hinta verojen ja sähkönsiirtohinnan takia. Kuluttajilla on myös erilaiset kulutustottumukset, mikä hankaloittaa järjestelmää mitoitusta ennalta.

4.3 Takamittarointi

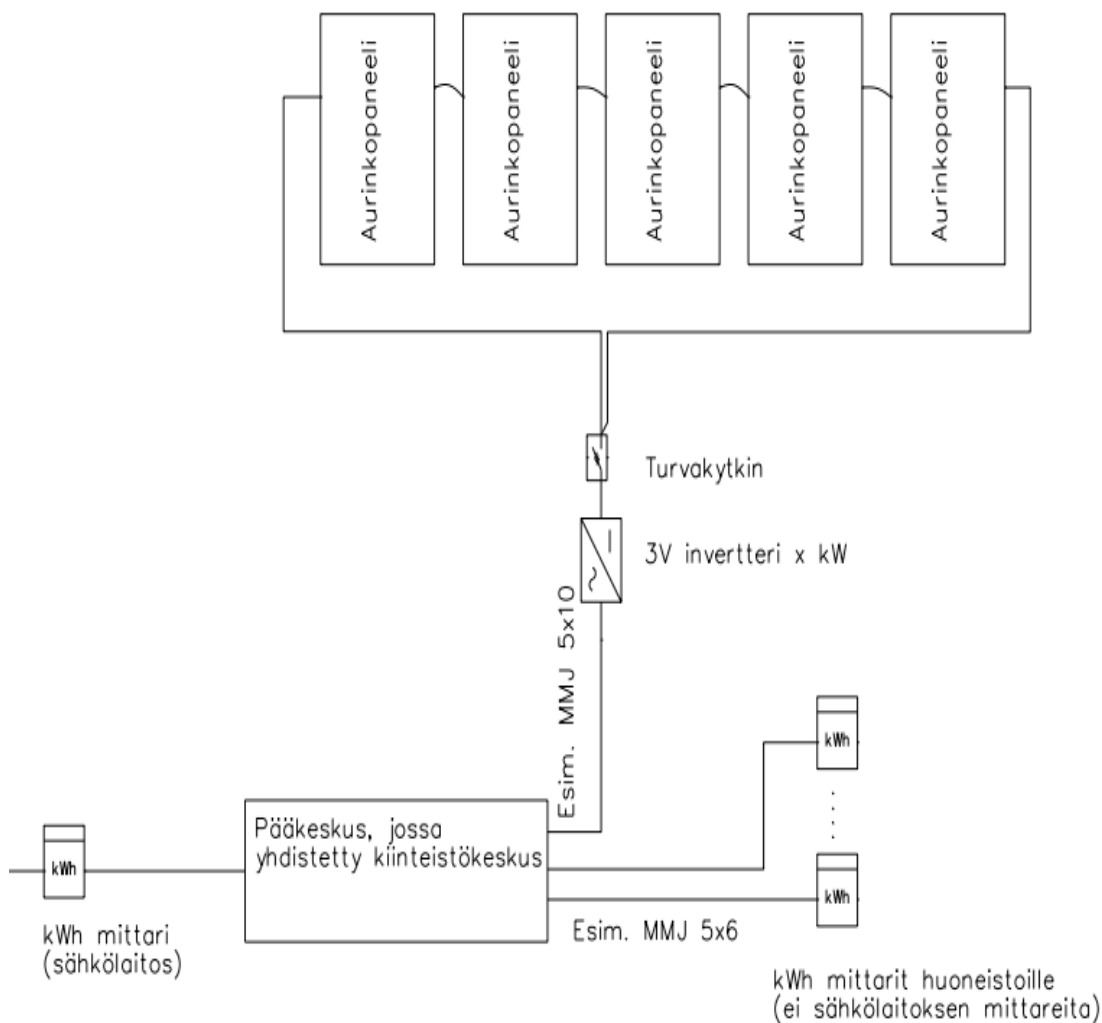
Takamittaroinnissa taloyhtiölle otetaan vain yksi yhteinen sähköliittymä, jonka taakse kytketään myös aurinkovoimala. Yhtiö hankkii itse asukkaille mittariston, jolla asuntojen kulutusta mitataan. Yhtiön vastuulle jää myös sähkönkulutuksen laskuttaminen ja sähköntuotannon jyvittäminen osakkaille.

Tapa on hankalahko saada toteutettua jälkikäteen, sillä kaikilla tulee sähkömarkkinalain mukaan olla vapaus valita, miten oman osakkeensa sähkö tuotetaan. Eli osakkaalle pitää jäädä vaihtoehto jättäytyä kokonaan takamittaroinnin ulkopuolelle, jolloin verkkoyhtiö hoitaa mittauksen aivan kuten ennenkin ja osakas voi yhä kilpailuttaa sähköntuottajansa.

Uudiskohteessa päätöksenteko kuitenkin helpottuu, sillä päätös tehdään osakkeen oston yhteydessä, eli yksi osakas kerrallaan. Tämä lähinnä voi tuottaa hankaluuksia markkinoinnissa. Osakkeita voidaan kuitenkin markkinoida ekologisina. (23.)

Sähkömarkkinalainsäädännön mukaan osakkaan, joka on liittynyt takamittarointiin, tulee myös voida erota siitä ja siirtymään verkkoyhtiön mittaroinnin piiriin. Tämän vaihdoksen kustannusten pitää myös pysyä kohtuullisina.

Takamittaroinnista eroamisen mahdollistamiseksi kohtuulliseen hintaan, voidaan esimerkiksi suunnitella keskusten sijainnit sopivalla tavalla. Asennetaan varalla oleva mittauskeskus ensimmäiseksi kaapelireitille ja kiinteistökeskus, johon taloyhtiön oman mittarit tulevat, sen jälkeen. Tämä mahdollistaa sen, että asunnon syöttökaapeli voidaan siirtää mittauskeskukseen ilman ongelmaa sen pituuden riittävydestä. Tällöin asennuskustannukset saadaan pidettyä alhaisina.



Kuva 11. Periaatekuva, takamittarointi.

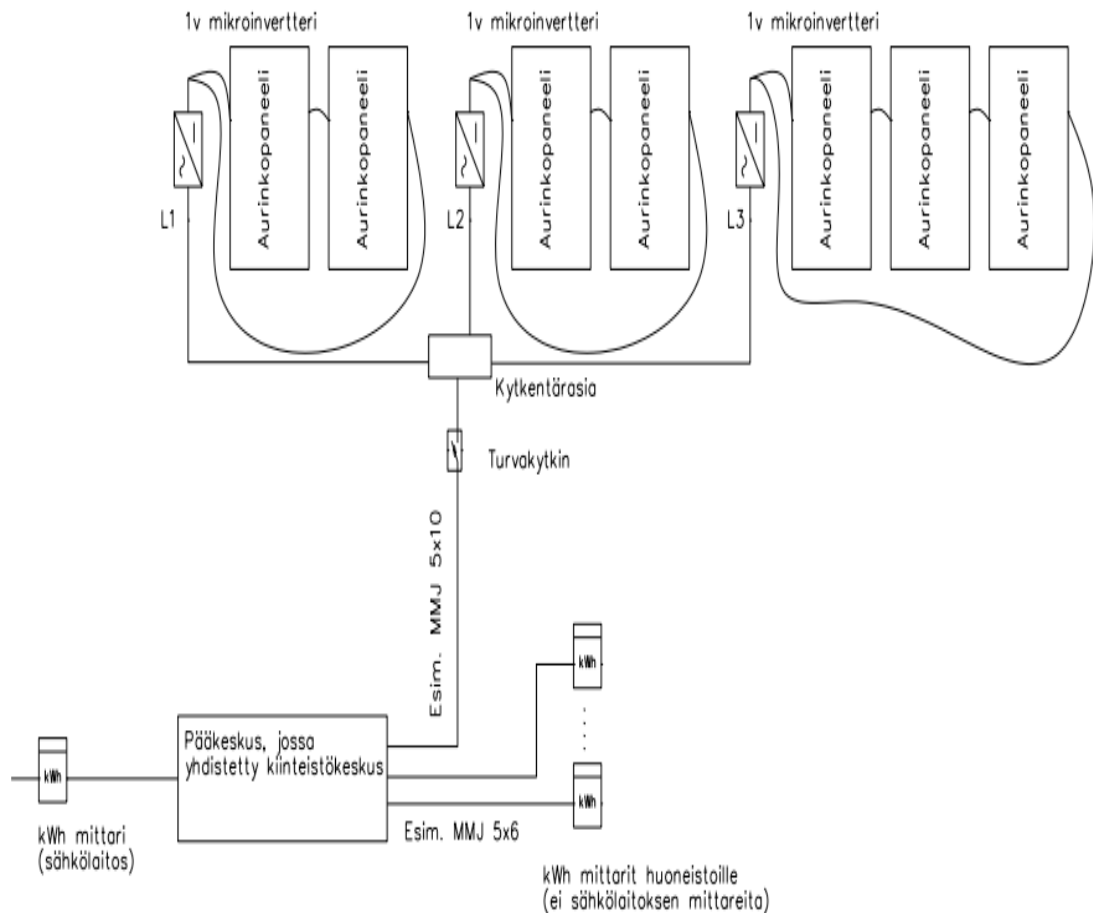
4.4 Takamittarointi mikroinvertterillä

Takamittarointi voidaan myös toteuttaa mikroinverttereillä. Kuten edellisessä kappaleessa, koko rakennukselle tulee vain yksi sähköliittymä ja taloyhtiö vastaa itse asuntojen mittauksesta ja veloittaa sähkökulutuksesta vastikkeen kautta.

Mikroinvertterit kytketään kiinteistökeskukseen, johon sijoitetaan myös asuntojen mittarit. Osakkaat voivat hankkia optiona useamman paneelin korvaamaan ostosähköä omassa osakkeessaan. Mikroinverttereillä paneelien tuottoa voidaan seurata paneeli-

kohtaisesti, joten taloyhtiön on helppo jyvittää tuotto asukkaille. Myös ylijäämä sähkö voidaan sopia käytettäväksi esimerkiksi yleisten tilojen sähkötarpeeseen, joten voimalakoon mitoitus ei ole yhtä tarkkaa.

Tämä toteutustapa voi kuitenkin olla melko monimutkainen selittää maallikolle ja saattaa siten tuottaa vaikeuksia asuntojen markkinoinnissa.



Kuva 12. Periaatekuva, takamittarointi mikroinvertereillä.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyössä käytiin läpi erilaisia aurinkosähköjärjestelmien toteutustapoja kerrostalojen uudisrakennuksessa. Työ tehtiin, jotta voitaisiin muodostaa selkeämpi kokonaiskuva käytettävissä olevista ratkaisuista, sekä niiden hyvistä ja huonoista puolista.

Aurinkosähköjärjestelmän kerrostaloon voi toteuttaa usealla eri tavalla. Näistä yksikään ei sovellu parhaiten kaikkiin kohteisiin, vaan huomioon tulee ottaa useampia muuttujia. Rajoitteina voi olla esimerkiksi sallitun asennuspinta-alan koko tai rakennuksen pohjakuorman suuruus. Lisäksi markkinoinnin haasteet tulee ottaa huomioon.

Sähkömarkkinalaki ei nykyisellään suosi taloyhtiön yhteistä liittymää. Valinnanvapautta pidetään tärkeänä, mikä tuottaa hankaluuksia takamittaroinnilla toteutetuille järjestelmille. Lisäksi takamittarointi lisää taloyhtiölle vastuun sähkönkulutuksen jyvittämisestä osakkaille. Toisaalta takamittarointi mahdollistaa suuremmat järjestelmäkoot.

Mikroinvertterit puolestaan lisäävät asennustyötä, mutta tuovat mahdollisuuksia tarkempaan sähköntuoton seurantaan. Voimalakoko on vaihteleva ja riippuu asuntojen sähkönkulutuksesta.

Kiinteistö sähköön kytkettävä voimala on yksinkertaisin tapa toteuttaa aurinkosähköjärjestelmä. Siinä hyöty näkyy suoraan pienempänä vastikkeena, mutta voimalakoko jää pieneksi, joten hyötykin on pienempi.

Toteutustapaa valitessa kannattaa siis ottaa huomioon tavoitteet sekä järjestelmien ja rakennuksen rajoitteet ja niiden pohjalta vertailla toimivuutta juuri kyseiseen kohteeseen.

Lähteet

1. Auringon säteily. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia foundation. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Auringon_s%C3%A4teily>. Luettu 21.1.2019.
2. Aurinkoenergia. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkoenergia>>. Luettu 21.1.2019.
3. Lindsay, Rebecca. Climate and earth's energy budget. 2009. Verkkoaineisto. National aeronautics and space administration. <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page1.php>>. Luettu 21.1.2019.
4. Huld, Thomas. Irene Pinedo-Pascua. Global irradiation and solar electricity potential. 2012. Verkkoaineisto. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.pdf>. Luettu 25.1.2019.
5. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Luettu 25.1.2019.
6. Performance of Grid-connected PV. 2012. Verkkoaineisto. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>. Luettu 25.1.2019.
7. Valosähköinen ilmiö. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia foundation. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valos%C3%A4hk%C3%B6inen_ilmi%C3%B6>. Luettu 1.2.2019.
8. Aurinkosähköteknologiat. 2017. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 1.2.2019.
9. Erat, Bruno. Erkkilä, Vesa. Nyman, Christen. Peippo, Kimmo. Peltola, Seppo. Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
10. Aurinkopaneelit. Verkkoaineisto. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tie-topankki/paneelit.pdf>>. Luettu 1.2.2019.
11. Inkinen, Pentti. Manninen, Reijo. Tuohi, Jukka. 2012. Momentti 2, Otava.
12. Saviranta, Pertti. 2016. Verkkoaineisto. Solar Synergia. <<https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/17/Millaisen-aurinkopaneelin-valitsen>>. Luettu 15.2.2019
13. Kauranen, Joonas. 2012. Valosähköisten aurinkopaneelien hyötysuhteet. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

14. Aurinkokenno. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>>. Luettu 15.2.2019.
15. Auringosta sähköä. 2017. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa>. Luettu 16.2.2019.
16. Structure details. Verkkoaineisto. Yangtze Solar. <<http://fi.yangtze-power.com/solar-panel/monocrystalline-solar-panel/480w-super-power-highest-efficiency-mono.html>>. Luettu 16.2.2019.
17. Aurinkopaneelit. 2019. Verkkoaineisto. Purotokka Oy. <<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit/>>. Luettu 1.3.2019.
18. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma>. Luettu 8.3.2019.
19. SFS 6000-7-712. Sesko.
20. Aurinkosähköjärjestelmät. 2015. Sesko. SFS 607.
21. Auvinen, Karoliina. Aurinkosähkön tuotantomallit taloyhtössä. 2017. Verkko-dokumentti. FinSolar. <https://ilmastokatu.fi/files/2017/02/Aurinkosa%CC%88hko%CC%88opas_07022016.pdf>. Luettu 21.3.2019.
22. Reinikainen, Erja. Laskentasäännöt. 2015. Granlund Oy. <https://www.tal-teka.fi/sites/default/files/file_attachments/finzeb-taustaraportti_5_laskentasaannot.pdf>. Luettu 27.3.2019.
23. Sähkömarkkinalaki. 2013. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>>. Luettu 1.4.2019.