



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ PIENTALOON

Solar power system to a domestic house

Tuomas Jääskeläinen

Kandidaatintyö

5.11.2015

LUT Energia

Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT School of Energy Systems

LUT Energia, sähkötekniikka

Tuomas Jääskeläinen

Aurinkosähköjärjestelmä pientaloon

2015

Kandidaatintyö.

23 s.

Tarkastaja: TkT Tero Ahonen

Tässä kandidaatintyössä selvitetään aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen kannattavuutta, teknisiä ratkaisuja sekä vaatimuksia pientaloon. Tutkimus suoritetaan tarkasteltavaan kiinteistöön aurinkosähköjärjestelmän teknisten ratkaisumahdollisuuksien sekä taloudellisesti kannattavimman mallin löytämiseksi. Työssä käydään läpi järjestelmän teknisten komponenttien rakennetta ja ominaisuuksia, niille määritellyjä vaatimuksia sekä hintaa. Työssä myös simuloidaan eri voimalakokonaisuuksien tuotantoa voimalan koon optimoimiseksi kohteelle.

Saatujen tulosten perusteella voimalan hankkiminen on vielä kallista ja takaisinmaksuajat pitkiä johtuen järjestelmän kalliista hinnasta. Tulevaisuudessa aurinkosähkö tulee olemaan kannattava investointi samalla, kun yhä enenevässä määrin energistyvässä maailmassa luovutaan fossiilisista polttoaineista niiden ympäristövaikutusten ja resurssien puutteen vuoksi. Aurinkosähkö on yksi potentiaalisista korvaajista tulevaisuudessa ja voimme odottaa järjestelmien hintojen laskevan kilpailun lisääntyessä. Myös valtion tuki tulevaisuudessa on mahdollinen pientuottajillekin.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems, Electrical Engineering

Tuomas Jääskeläinen

Solar power system to a domestic house

2015

Bachelor's Thesis

23 p.

Examiner: D.Sc. Tero Ahonen

In this Bachelor's thesis a solar power system to a domestic house is specified. Technical solutions, requirements and possible profitability of the solar power system is also studied. Reason for this study is to find optimal solution for the house considering economical and structural issues. In this study components of the solar power system considering their technical structures, features, demands and price are selected. The anticipated energy annual production results are made by simulating to find out the optimal size for power system.

Nowadays it is still quite expensive to purchase power system, as it takes approximately 15 years to pay back the investment with energy output profits. In the future solar power system to a household is very considerable due to price decrease in solar power systems, as there will global change in the energy policy from burning fossil fuels to renewable energy sources, such as solar power. Since fossil fuels pollute and have limited resources, it's expectable that solar power system prices will decrease, and government support will become possible even for small scale producers.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	1
1.1 Työn sisältö ja tavoite	2
2. Aurinkoenergia	3
2.1 Aurinkoenergian synty ja kulku ilmakehään	3
2.2 Auringon säteily määrä maahan	3
2.3 Auringonsäteily Suomessa	4
2.4 Käyttömahdollisuudet	5
3 Laitteisto	6
3.1 Aurinkoenergian muuntaminen	6
3.2 Aurinkopaneeli	7
3.3 Liitäntäkotelo	8
3.4 Vaihtosuuntaaja	8
3.5 Teline	10
3.6 Johdotus sekä verkkoon liittäminen	10
4 Laki aurinkosähköön liittyen	11
4.1 Tuotetun sähkön myyminen	11
4.2 Laitteiston määräykset	11
4.2.1 Vikasuojaus	11
4.3 Verkkoon liittäminen	12
4.4 Dokumentointi	12
4.5 Tuotannon mittaaminen	12
5 Tarkasteltava kohde	13
5.1 Kohteen sijainti ja rakenne	13
5.2 Kohteen kulutus	13
6 Voimalan mitoittaminen	15
6.1 Voimalan tuotannon simulointi	15
6.2 Voimalan hinta	15
6.3 Kannattavuus	16
6.4 Olosuhteiden vaikutus tuotantoon	17
6.5. Paneelien asentamisessa huomioon otettavia asioita	17
7. Kiinteistöön valittava järjestelmä	20
7.1 Paneelien asettelu	20
8. Aurinkosähkön tulevaisuus	22
8.1 Jatkotutkimus	22
9 Johtopäätökset	23

Lähteet

1 Johdanto

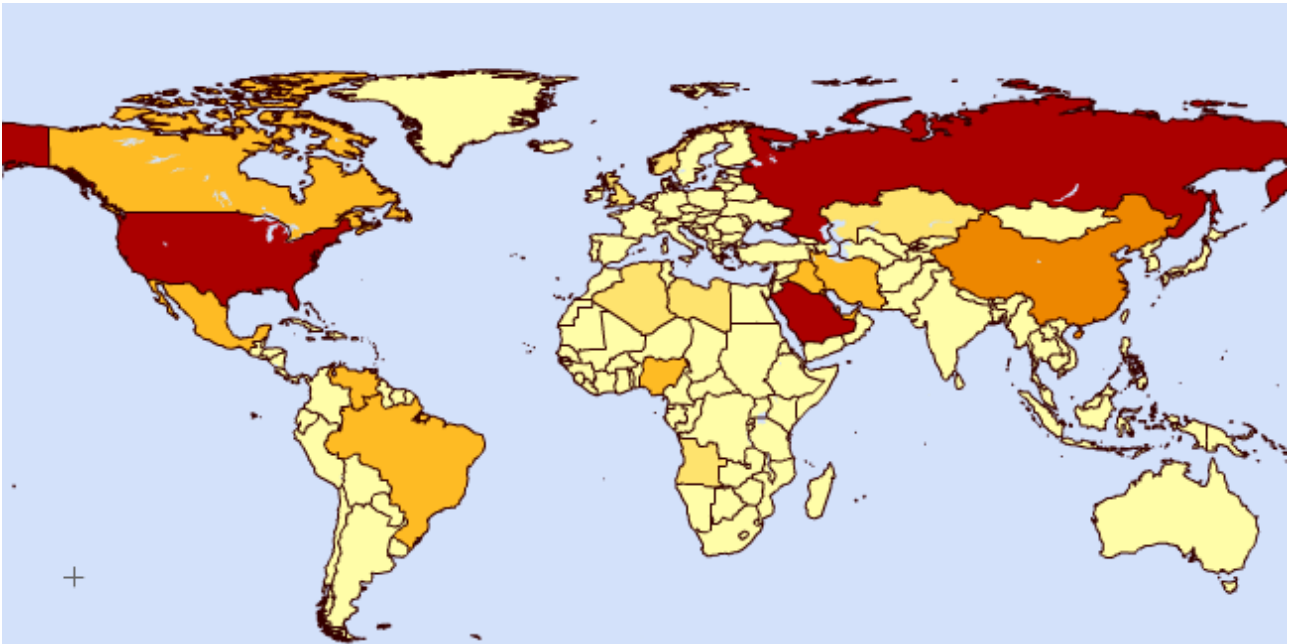
Tämän päivän länsimainen yhteiskuntamme on rakennettu pääasiassa fossiilisten polttoaineiden voimin. Fossiiliset polttoaineet, kuten kivihiili, maakaasu ja öljy, ovat luonnon miljoonien vuosien aikana tuottamaa. Ne tulevat loppumaan jossain vaiheessa käytännössä olemattoman uusiutuvuutensa vuoksi.

Ilmaston lämpenemisen on todistettu liittyvän fossiilisten polttoaineiden käyttöön (Science Daily,2015). Näiden polttaminen vapauttaa ilmakehään kasvihuonekaasuja, jotka lisääntyessään aiheuttavat lämpötilan nousua ja jäätikön sulamista.

Perinteisten energialähteiden resurssien huventuessa on noussut aiheelliseksi uusien energiatuotantomuotojen kartoittaminen. Myös Kiinan ja Intian kaltaisten suuren väkiluvun maiden teollistuminen ja kansalaisten elintasojen nousu luovat painetta korvaavien energialähteiden löytämiseksi.

Uusiutuvien energialähteiden käyttöön kannustaa myös nykyisten fossiiliperäisten polttoaineiden hintapolitiikka. Esimerkiksi öljyresursseja on vain muutamalla valtiolla. (U.S Energy Information Administration). Tällöin näiden niin kutsuttujen öljyvaltioiden politiikka vaikuttaa huomattavasti öljytynnyrin hintaan ja saatavuuteen. Lisäksi suuri osa näistä valtioista kuuluu Lähi-Itään, joka ei ole poliittisesti kovinkaan stabiilia aluetta. Esimerkiksi Saudi-Arabian kuninkaan kuolema nosti raakaöljyn hintaa tammikuussa 2015. (YLE Uutiset,2015).)

Saudi- Arabia myös suunnittelee suurta aurinkosähkötuotantoa vientitarkoituksiin, jolloin tulevaa öljyn hintaa ja tuotantoa on vaikeahkoa ennustaa.



Kuva 1. Maailman öljytuotannon jakautuminen. Tummemmilla alueilla suuremmat resurssit.(Ecointerest, 2012)

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan energiamuotoja, joiden lähteinä käytetään uusiutuvia luonnonvaroja, esimerkiksi vesi- ja tuulivoimaa. Myös aurinkoenergia on uusiutumaton energia, koska aurinkokin lopettaa toimintansa joskus. Tämän tosin voidaan olettaa tapahtuvan vasta miljoonien vuosien päästä, joten aurinkoa voidaan pitää ehtymättömänä energialähteenä.

1.1 Työn sisältö ja tavoite

Tässä kandidaatintyössä pyritään etsimään valitulle kiinteistölle optimaalisen aurinkosähköratkaisu sähkölaskun pienentämiseksi sekä hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Kiinteistölle ostetaan sähköä paikalliselta energiayhtiöltä KSS Energialta. Aurinkosähköjärjestelmällä kyettäisiin tuottamaan sähköä, jolloin ostosähkön määrä pienenesi. Tietysti järjestelmät ovat hinnaltaan arvokkaita, joten tässä työssä etsitään simuloinnin avulla optimaalinen aurinkovoimalan koko investointikustannusten minimoimiseksi. Liian suuri voimala voi tuottaa liikaa sähköä kiinteistön kulutukseen nähden. Tällöin sähköä voidaan myydä verkkoon päin. Työssä tarkastellaan myös ylituotannon kannattavuutta. Voimala koostuu monesta eri komponentista ja myös näihin tutustutaan työn aikana. Vastaavia tutkimuksia on tehty useita, joten tämän työn pääpaino on tarkasteltavan kiinteistön järjestelmässä.

2. Aurinkoenergia

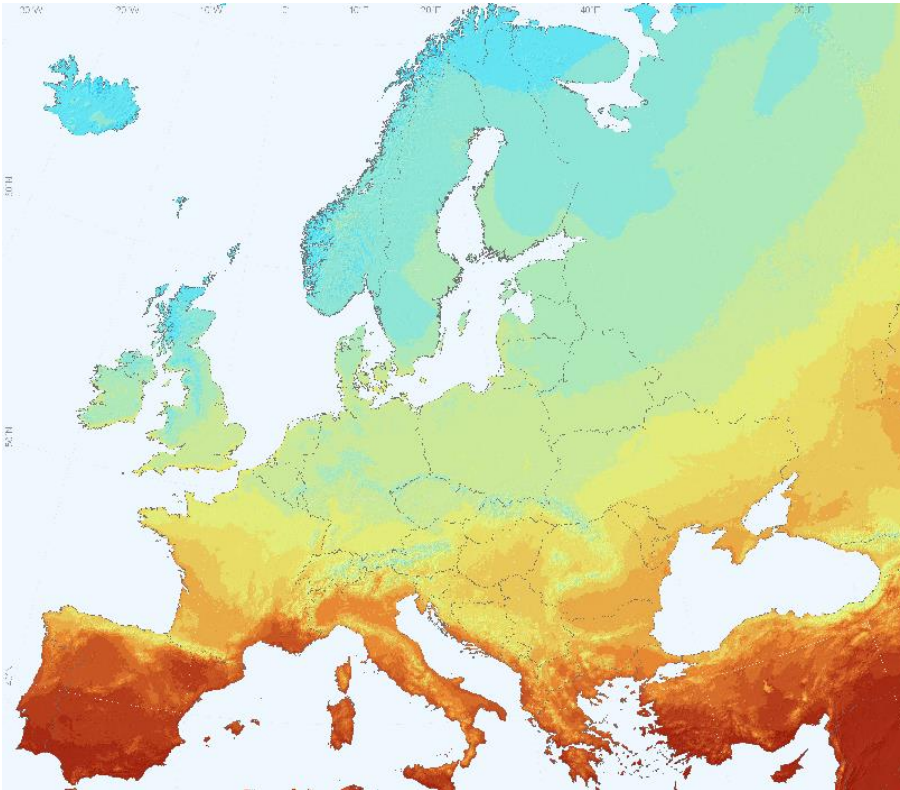
Tässä luvussa käsitellään aurinkoenergian syntyä, kulkua maahan sekä vertaillaan käyttömahdollisuuksia eri puolilla Eurooppaa.

2.1 Aurinkoenergian synty ja kulku ilmakehään

Aurinko tuottaa sähkömagneettista säteilyä, joka säteilee Auringosta maahan. Säteilyn laadut ovat ultravioletti- ja infrapunasäteily sekä näkyvä valo. Auringon tuottama energia syntyy fuusioreaktiossa ja matkaa maapallon pinnalle avaruuden läpi sähkömagneettisena aaltona. Osa heijastuu maan ilmakehästä pois, osa läpäisee sen ja matkaa maahan.

2.2 Auringon säteily määrä maahan

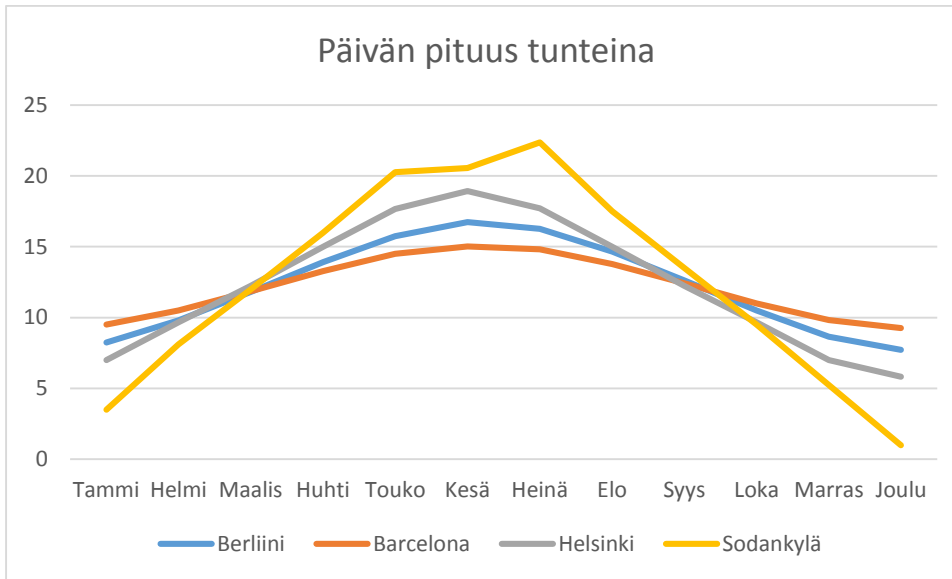
Auringon säteilyteho maan pinnalla on huomattava, noin 170 000 TW. Vertailukohteenä voidaan käyttää maailman suurinta energiantuotantolaitosta, Jangtsen-joen kolmen rotkon patoa Kiinassa, jonka nimellistuotantokapasiteetti on 22.5 GW, noin 1,3 miljoonasosaa auringon säteilemästä energiasta.(Chincold,2015). Tässä yhteydessä täytyy kuitenkin huomioida Auringon säteilyn olevan vain pieneltä osin hyödynnettävissä energiantuotantoon. Luonnollisesti säteily on jaksottaista johtuen maapallon pyörimisliikkeestä johtuvasta yöstä ja päivästä sekä vuodenaikariippuvaista maapallon pyörimiskulman mukaan. Myös paikka vaikuttaa vahvasti säteilyyn, Saharan autiomaan on tässä asiassa omaa luokkaansa verrattuna esimerkiksi Lappeenrantaan. Tämä johtuu erilaisesta säteilyn jakaumasta maan pinnalle. Samanlainen säde jakautuu pienemmälle alueelle päiväntasaajalla kuin Pohjolassa. (Energia,2015).



Kuva 2. Auringonsäteilyn jakautuminen Euroopan pinnalle. Sama säteily määrä jakautuu sitä suuremmalle alueelle mitä kauemmaksi päiväntasaajalta mennään. (Šúri, et al., 2012)

2.3 Auringonsäteily Suomessa

Suomea ei yleisesti mielletä kovin aurinkoiseksi maaksi. Kuitenkin mittausten perusteella Etelä-Suomessa päästään samoihin säteilymääriin kuin Keski-Euroopassa. Ainoastaan jakauma vuodelle on erilainen. Keski-Euroopassa Aurinko paistaa tasaisemmin ympäri vuoden kuin Pohjolassa, mikä on nähtävissä kaaviosta 1 ja taulukosta 1. Etelä-Suomessa talvikuukaudet ovat heikkoja tuotannon kannalta; aurinko paistaa lyhyissä jaksoissa ja lumi peittää keräysjärjestelmät. Vastavuoroisesti kesäinen Lappi keskiyön aurinkoineen tarjoaa hyvän mahdollisuuden ympärivuorokautiseen aurinkosähkön tuotantoon.



Kaavio 1. Berliinin, Barcelonan, Helsingin ja Sodankylän päivien pituudet. Huomattavaa on, että päivän pituus vaihtelee sitä rajummin mitä kauemmas päiväntasaajasta mennään.

Taulukko 1. Päivien pituuden vuosittainen keskiarvo tunneittain

Berliini	Barcelona	Helsinki	Sodankylä
12 h 13 min	12 h 9 min	12 h 20 min	12 h 28 min

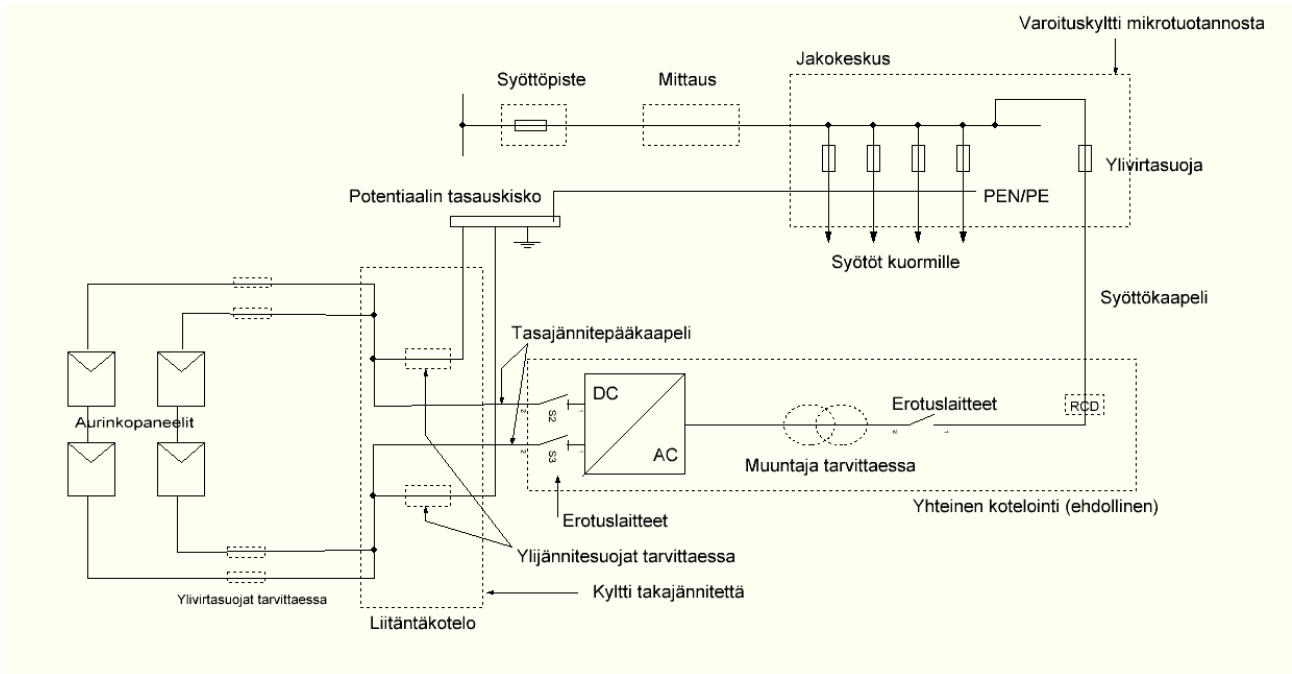
Mikäli ei huomioida Suomen talvien tuomia käytännön ongelmia, voidaan huomata Suomessa auringon paistavan jopa hivenen enemmän vuositasolla kuin Saksassa tai Espanjassa.

2.4 Käyttömahdollisuudet

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää pääasiassa kahdella tavalla. Joko keräämällä sitä aurinkokeräimillä ja muuntamalla lämpöenergiaksi veden tai kiinteistön lämmittämiseksi, tai keräämällä sitä aurinkopaneeleilla ja muuntamalla sähköksi joko omaan eristettyyn järjestelmäänsä, esimerkiksi mökkien valaistukseen tai talon jo valmiiseen sähköverkkoon. (Motiva,2015).

3 Laitteisto

Tässä luvussa esitellään aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit, jotka on myös esitelty ST-kortistoon (55.33) perustuvassa kuvassa 3.



Kuva 3. Aurinkovoimalan esimerkkikytkentäkaavio

3.1 Aurinkoenergian muuntaminen

Jotta auringon säteilyä voidaan hyödyntää muutenkin kuin valona tai lämpönä, on se ensin muunnettava toiseksi energiamuodoksi. Tämä onnistuu käyttämällä aurinkopaneelia. Näitä on kahdenlaisia; aurinkokennoja sähköksi muuntamiseen ja aurinkokeräimiä lämmöksi muuttamiseen. Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön.

Valosähköisessä ilmiössä auringon säteilemä fotoni osuu aineeseen, jolloin fotonin energia siirtyy aineen elektronille, joka puolestaan irtoaa ja siirtyy sähköverkkoon. Tuloksena on tavallisesti tasasähköä. (The physics hypertextbook, 2015)

3.2 Aurinkopaneeli

Yksittäiset aurinkokennot muodostavat aurinkopaneelin. Nämä tuottavat valosähköisen ilmiön avulla jännitettä. Jännitettä lisätään kytkemällä paneeleita sarjaan. Tätä kutsutaan paneeliketjuksi. Paneelien rinnankytkennällä puolestaan kasvatetaan ulostulovirtaa. Paneeleilla on niille tyypillinen hyötysuhde, tekniikasta riippuen noin 6-40%. Viimeisin hyötysuhde-ennätys on 46 % (Clean Technica,2014). Tämä on olennainen luku, koska suuremmalla hyötysuhteella toimiva tekniikka vaatii pienemmän tilan. Esimerkiksi monokristalli silikonilla varustettu paneeli 14-20% hyötysuhteella vaatii viidestä seitsemään neliometriä yhden kilowatin tuottamiseen. Tietysti suuremman hyötysuhteen omaavat paneelit ovat arvokkaampia. Voimalan kokoa lisätään paneelimäärää kasvattamalla. Toisaalta jos käytössä on tilaa paljon, voidaan käyttää heikomman hyötysuhteen paneeleita kokonaiskustannusten pienentämiseksi. (Stapleton G. & Neill S. 2012)

Taulukko 2. Esimerkkihintoja aurinkopaneeleille.

Paneelit			
W	€	Myyjä	€/W
15	24	Aurinkopaneelikauppa.fi	0.63
30	44	Aurinkopaneelikauppa.fi	0.68
50	75	Tuontiliike.fi	0.67
100	140	Aurinkosähkö.net	0.71
150	200	Aurinkosähkö.net	0.75
250	290	Tuontiliike.fi	0.86

Paneelien hinnat kasvavat luonnollisesti tehon kasvaessa. Samalla myös paneelien koko kasvaa. Myös aurinkopaneeleissa laatu vaikuttaa. Niin sanotut ”paremmat” merkit maksavat enemmän. Myös ulkomailta, kuten Saksasta, tilaaminen saattaa tulla edullisemmaksi varsinkin jos tilaukseen saadaan useampia osallistujia.

Seuraavaksi esitetyssä kuvassa on aurinkopaneeli katolle asennettuna. Huomattavaa on pienten kennojen muodostamat neliöt, jotka on kytketty sarjaan.



Kuva 4. Monikideaurinkopaneelien muodostama paneeliketju hallin katolla. (Liberty Voice, 2014)

3.3 Liitäntäkotelo

Liitäntäkotelossa tapahtuu paneeliketjun paneelien sähköinen yhdistäminen. Tarvittaessa koteloon voidaan lisätä suojalaitteistoa. Kotelon tulee noudattaa SFS-EN 60439-1 standardia ja se kytketään vaihtosuuntaajaan esimerkiksi aurinkopaneeleille tarkoitetulla PV-1F tasajännitekaapelilla. (ST-kortti 55.33, 2013)

3.4 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli invertteri on laite, jolla voidaan muuntaa tasasähköä vaihtosähköksi, joko yksi- tai kolmivaiheiseksi. (<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>) Koska Suomen kantaverkossa on käytössä 50 Hz taajuus, ei sinne ole sallittua liittää mitä tahansa taajuutta. Tämän takia on käytännössä kaikkiin verkkokäyttöön tarkoitettuihin aurinkosähköinverttereihin rakennettu ominaisuus, joka muokkaa tuotetun sähkön automaattisesti verkon taajuuteen, myös kolmivaiheisena. Vaihtosuuntaajalla on oma hyötysuhteensa, yleensä noin 90 % luokkaa. Tyypillisesti asuintalossa on yksi invertteri joka kytketään syöttökaapelilla rakennuksen pää- tai ryhmäkeskukseen ylivirtasuojauksella varustettuna SFS 600-7-712 standardia noudattaen. Asennuspaikalla ei invertterille ole merkitystä muuten kuin kaapelikustannuksissa. Tietysti ulos asennettaessa on laite suojattava säältä. Paloturvallisuus on myös otettava huomioon. (ST-kortti 55.33, 2013)

Taulukko 3. Invertterien esimerkkihintoja.

Invertterit				
W	€	Laite	Myyjä	€/W
1300	990	Sunny Boy 1300TL 1~	verkkokauppa.finnwind.fi	0.76
2500	1230	Sunny Boy 2500TL SINGLE TRACKER 1~	aurinkoinsinoorit.fi	0.49
3000	1320	Sunny Boy 3000TL 3~	aurinkoinsinoorit.fi	0.44
3000	1293	Sunny Boy 3000TL SINGLE TRACKER 1~	aurinkoinsinoorit.fi	0.43
3000	1545	Fronius Symo Light 3~	verkkokauppa.finnwind.fi	0.52
4000	1406	Sunny Boy 4000TL 3~	aurinkoinsinoorit.fi	0.35
4500	1799	Fronius Symo Light 3~	verkkokauppa.finnwind.fi	0.40
5000	1607	Sunny Boy 5000TL 3~	aurinkoinsinoorit.fi	0.32
5000	2287	Sunny TriPower 5000TL 3~	verkkokauppa.finnwind.fi	0.45



Kuva 5. Vaihtosuuntaaja sekä erotuslaitteet. (Sustain UK, 2016)

3.5 Teline

Aurinkopaneelit tulee luonnollisesti kiinnittää. Telineen avulla paneelit voidaan kiinnittää tukevasti katolle eri kulmiin tai mahdollisesti seinään. Myös maahan kiinnitettäviä telineitä on olemassa. Telineiden kiinnitysominaisuudet riippuvat telinemallin antamista mahdollisuuksista. Kiinnikkeet valitaan kohteen mukaan. (ST-kortti 55.33,2013)



Kuva 6. Katolle asennettu teline.(Ecosmartinc, 2015)

3.6 Johdotus sekä verkkoon liittäminen

Aurinkopaneeleilta rakennetaan johtoyhteys vaihtosuuntaajalle. Vaihtosuuntaajalta taasen vedetään johdot ryhmäsulakkeille. Sähköverkkoa eli ryhmäsulakkeita ennen on oltava myös automaattikatkaisija, joka irrottaa tuotannon verkosta sähkökatkon ajaksi takajännitteen estämiseksi. Tämä on rakennettu toiminnalliseksi osaksi verkkoon liitettäviä inverttereitä, ja sitä kutsutaan yleisesti LoM-suojaukseksi (Loss of Mains). Erotuslaitteistoa on myös hyvä laittaa turvallista huoltoa varten. Näitä ovat esimerkiksi lukittavat turvakytkimet. (ST-kortti 55.33,2013)

4 Laki aurinkosähköön liittyen

Tässä luvussa käydään lävitse aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä säädöksiä ja oman voimalan käyttöönottamiseen tarvittavia lupia

4.1 Tuotetun sähkön myyminen

Mikäli tuotettua sähköenergiaa ei kuluteta itse, se on mahdollista myydä verkkoon. Myymisestä tehdään sopimus ostajan kanssa. Paikallinen verkkoyhtiö toimittaa mitatut arvot myymisen osalta ostajalle. Verkkoyhtiö saattaa veloittaa mittarin asentamisesta tai vaihtamisesta. Tuotannosta maksettava hinta määräytyy spottihinnan mukaan, ollen tyypillisesti noin 3 snt/kWh. Verkkoyhtiö voi myös veloittaa oman verkkonsa käytöstä sähkönsiirrossa. KSS Verkkoyhtiön alueella alle 2 MVA tuotantolaitoksen verkkoonliittämismaksut katsotaan tapauskohtaisesti. Siirtomaksu on suuruudeltaan nimellinen, muutama sentti per 1 MWh. (Jani Lohela, KSS Verkkoyhtiö, Haastattelu 10.10.2014.)

4.2 Laitteiston määräykset

Liitettävän laitteiston on oltava Suomen verkkoon hyväksyttyä ja niiden tulee noudattaa standardeja. Luettelo standardeista on listattu liitteeseen 1. Alle 50 kWp tuotantolaitokset luetaan mikrotuotantolaitoksiin. Käytännössä pientaloihin tehtävät laitokset ovat alle 10 kWp. Yli 3.7 kWp laitokset on aina kytkettävä kolmevaiheisesti. Esimerkkikytkentäkaavio löytyy liitteestä 2. (ST-kortti 55.33,2013)

4.2.1 Vikasuojaus

Vikasuojauksesta suunniteltaessa SFS 6000-7-712 mukaisesti aurinkosähköjärjestelmää pidetään kuormituksena ja tehonlähteenä on sähköverkko.

Aurinkopaneelijärjestelmä ei itsessään kykene tuottamaan kovin suurta vikavirtaa, mutta esimerkiksi salamanisku on jo aivan eri kokoluokkaa virtoja mitattaessa. Tällöin on hyvä asentaa ylivirtasuojaus paneelien jälkeen suojaamaan muuta laitteistoa ja muuta verkkoa. Luonnollisesti ylivirtasuojaus tulee asentaa myös suojaamaan paneelista verkosta mahdollisesti tulevilta vikavirroilta.

Järjestelmän tasasähköosan suojaukseen suositellaan käytettävän luokan II laitteistoa. Kaapelin jatkuvan kuormitettavuuden ollessa yli 1.25 kertainen standardoiduissa olosuhteissa maksimioikosulkuvirtaan verrattuna, on mahdollista jättää paneeliketjukaapeleista ja paneelistokaapeleista ylikuormitussuojaus pois. Tämä koskee myös tasajännitepääkaapelia.

Vaihtosähköosan suojausta suunniteltaessa sovelletaan SFS 6000 määräyksiä. Invertterin kaapeliin, joka liittyy järjestelmän talon sähköverkkoon, on syötön puolelle laitettava turvakytkin. Syöttökaapeli itsessään on suojattava vaihtosähköosan alkupisteeseen sijoitetulla ylivirtasuojalla. (ST-kortti 55.33,2013)

4.3 Verkkoon liittäminen

Verkkoon liittäessä on ehdottomasti haettava laitokselle hyväksyntä verkkoyhtiöltä ja samalla tiedotettava heitä tällaisesta laitoksesta. Verkkoyhtiölle on myös ilmoitettava minne kiinteistössä on sijoitettu katkaisija, mistä paneelien syötön voi katkaista. Syötön katkaisijalle on oltava verkkoyhtiöllä esteetön pääsy. Myös muihin tarpeellisiin paikkoihin, kuten sähköpääkeskuksen oveen ja pääsulakkeiden sekä katkaisijan viereen, on selkeästi merkittävä aurinkosähköjärjestelmän olemassa olo sekä mistä syötön voi katkaista tarvittaessa. (ST-kortti 55.33,2013)



Kuva 7. Esimerkki varoituskylististä.(Turvakilvet,2015)

4.4 Dokumentointi

Aurinkosähköjärjestelmän dokumentoinnissa sovelletaan standardia SFS-EN 62446. Siinä on kerrottu vaadittavat dokumentoitavat asiat, testaukset, tarkastukset, tarkastusraportit ja dokumenttien sijoitukset sekä esimerkkejä. (ST-kortti 55.33,2013)

4.5 Tuotannon mittaaminen

Tuotannon mittaaminen tapahtuu normaalilla kWh-mittaukseen kykenevällä energiamittarilla. Jotkut mittarimallit kykenevät kaksisuuntaiseen mittaukseen. Mikäli ei ole tällaista laitetta mahdollisuutta käyttää, on asennettava kaksi eri mittaria. Toinen mittaa verkosta tulevaa ja toinen verkkoon menevää energiamäärää. Mittari asennetaan verkosta päin katsottuna pääsulakkeiden perään. (Stapleton G. & Neill S. 2012)

5 Tarkasteltava kohde

Tässä luvussa esitellään työssä tarkasteltavan kohteen yleistiedot sekä aurinkosähkösuunnitteluun tarvittava informaatio.

5.1 Kohteen sijainti ja rakenne

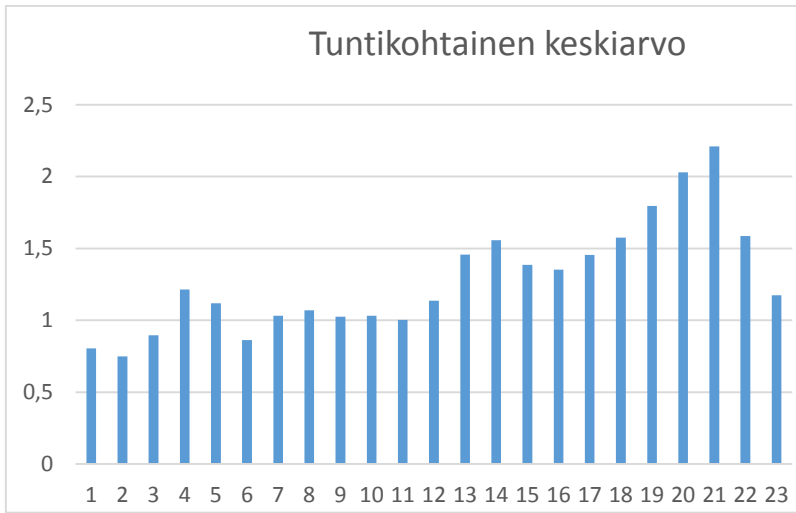
Tarkasteltava kohde on Pohjois-Kymenlaaksossa sijaitseva, verkkoyhtiö KSS Verkko Oy:n alueella sijaitseva rivitalokiinteistö, jossa kaksi kerrosta, yläkerta maan tasalla ja alakerta rinteessä. Talo on pitkittäin katsottuna luode-kaakko suunnassa siten, että julkisivu on koillispuolella ja rinne takapihalla laskeutuu lounaaseen. Talo on etelästä kaakkoon päin 30 asteen kulmassa. Kiinteistön etupihalla sijaitsee korkea lehtipuu, joka varjostaa katon pohjoisosaa. Autotalli on sähköistetty ja sijaitsee julkisivun puolella talon pohjoiskulmassa. Ryhmäsulaketaulu sijaitsee alakerrassa. Sähkömittari sijaitsee erillään asunnosta, teknisessä tilassa talon eteläpäädyssä.



Kuva 8. Keskellä olevan rivitalon keskimäinen asunto on tarkastelun kohteena. Nuoli osoittaa pohjoiseen.(Google,2015)

5.2 Kohteen kulutus

Kohde on vakituudessa asuinkäytössä. Verkkoyhtiöltä saatujen tuntikäyrien perusteella suurin kulutus tapahtuu klo 20-21 ja on tällöin keskiarvoltaan noin 2.2 kWh, kun otetaan koko vuosi huomioon. Kun huomioidaan ainoastaan kesäaika, tulee keskiarvoksi noin 1.4 kWh. Vuosikulutus kokonaisuudessaan on noin 9700 kWh. Päiväaikaan, jolloin aurinkotuotanto on parhaimmillaan, on kulutus keskiarvoa pienempää, noin 1 kWh/h.



Kaavio 1. Talon kulutuksen jakauma.

6 Voimalan mitoittaminen

6.1 Voimalan tuotannon simulointi

Tässä työssä simulointiohjelmana käytettiin HOMER Legacya. Ohjelman aurinkotuotannon simulointi perustuu satelliittitietoihin auringonsäteilystä. (Homer Energy, 2014)

HOMER:iin syötettiin kiinteistön koordinaatit ja vuoden tuntikohtainen kulutus. Muuttujiksi valittiin eri voimalakokoja, ilmansuuntia sekä paneelien kallistuskulmia. Ohjelma palautti simuloituna eri variaatioiden vuosituotannot tuntitasolla, kokonaistuotannon sekä huipputehon. Parhaimman tuloksen antoi kallistuskulma 45 astetta ja ilmansuunta 5 astetta etelästä kaakkoon. Huipputeho ja kokonaistuotanto kasvoivat voimalan nimellistehon suurentuessa. Taulukossa 4 on esitetty joitakin simulointituloksia, jotka on koottu liitteeseen 3.

Taulukko 4. Tuotannon simulointi tulokset kallistuskulman ollessa 45 astetta ja ilmansuunnan ollessa 5 astetta etelästä kaakkoon

1 kW	3 kW	4 kW	5 kW	6 kW	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW	
1053	3241	4321	5401	6482	7562	8642	9723	10803	kWh

6.2 Voimalan hinta

Voimalan rakentaminen on kallista. Edullista se ei ole yksityishenkilöille, esimerkiksi SolarShop (Solarpower, 2014) tarjoaa 2 kW järjestelmää noin 4000 €:n hintaan, ilman asennusta ja paneelien rahtia. Järjestelmän osat voi ostaa erikseen ja pyytää tarjousta asennuksesta ja suunnittelusta. Esimerkiksi Fortum tarjoaa järjestelmää ja asennusta yhdessä ja erikseen. Taulukkoon 4 on koottu Fortumin verkkosivuilla ilmoitettuja hintoja erikokoisille aurinkovoimaloille sekä niiden asennustöille. Pakettiin sisältyy aurinkopaneelilaitteisto (paneelit, invertteri, kattokiinnikkeet ja sähkötarvikkeet), konsultointikäynti, kuljetus, asennus ja käyttöönoton opastus. (Fortum, 2015)

Taulukko 4. Fortumin hinnasto aurinkosähköpaketeille

Voimalan koko (kW)	Hinta (€)	Asennustyö (€)	Hinta asennettuna (€)	Kokonaishinta kokoon suhteutettuna (€/W)
1,5	3695	1330	5025	3.35
2,25	5280	1340	6620	2.94
3	6460	1550	8010	2.67
4,5	9385	1815	11200	2.49
6	10950	3800	14750	2.45
7,5	14050	4250	18300	2.44
9	16200	4900	21100	2.34

Kuten taulukosta havaitaan, on järjestelmien hankkiminen arvokasta. Isohkon järjestelmän hinta asennettuna lähentelee jo uuden henkilöauton hintaa. Mutta toisin kuin auto, tämä investointi tuottaa taloudellista hyötyä vähentämällä ostosähkön tarvetta. Takaisinmaksuaikoja on avattu myöhemmin esitettävässä taulukossa. Tietysti hinnastot ovat vain Fortumin esittämiä tarjouksia, eivätkä ole kuin pieni otos, mutta antavat suunnan hinnoille. Voimalan koon kasvaessa €/W-hinta pienenee, ollen kuitenkin vähintään 1.8 €/W. Tässä on mukana kaikki voimalaan tarvittavat komponentit. Myös asennushinta pienenee voimalan koon kasvaessa, ollen vähintään 0.5 €/W. Näiden hintojen voidaan olettaa pienentyvän nousevan kilpailun myötä tulevaisuudessa.

6.3 Kannattavuus

Kannattavuus on yksi tärkeimmistä tarkasteltavista asioista. Voimalakoot valittu on Fortumin tarjoamista vaihtoehtoista kattavuuden lisäämiseksi. Taulukossa 5 on laskettu Fortumin tarjoamien vaihtoehtojen vuosituotot kolmella eri sähkön kokonaishinnalla.

Taulukko 5. Fortumin aurinkosähkypakettien tuotot eri koolla ja energian hinnalla.

Voimalan koko (kW)	Vuosituotto (kWh)	10 c/kWh (€)	15 c/kWh (€)	20 c/kWh (€)
1,5	1600	160	240	320
2,25	2400	240	360	480
3	3200	320	480	640
4,5	4700	470	705	940
6	6300	63	945	1260
7,5	7900	790	185	1580
9	9500	950	1425	1900

Edellä esitetyssä taulukossa on huomioitava laskennan oletuksena olevan kaiken tuotannon päätyminen omaan käyttöön. Tällöin siitä saadaan suurin hyöty. Esimerkiksi 3 kWp laitoksen vuosituotannosta 10% mennessä myyntiin 3 c/kWh hintaan putoaa tuotto 15 c/kWh energian hinnalla noin 40 € vuositasolla. Eli kaikki tuotanto kannattaa käyttää itse. Tällöin myös saadaan takaisinmaksulle pienin mahdollinen aika. Takaisinmaksulla tarkoitetaan aikaa, jonka voimala vaatii tuottaakseen siihen sijoitetun summan. Taulukossa 6 on ilmoitettu erikokoisten voimaloiden takaisinmaksuajat, kun inflaatiota tai korkokantaa ei ole huomioitu laskennassa. Voimaloiden hintoina käytetty Fortumin tarjoamia vaihtoehtoja asennettuina.

Taulukko 6. Järjestelmien takaisinmaksuajat tuotannon mennessä kokonaan omaan käyttöön

Voimalan koko (kW)	Vuosituotto (kWh)	10 snt/kWh (a)	15 snt/kWh (a)	20 snt/kWh (a)
1,5	1600	31	21	16
2,25	2400	28	18	14
3	3200	25	17	13
4,5	4700	24	16	12
6	6300	23	16	12
7,5	7900	23	15	12
9	9500	22	15	11

Taulukosta voidaan huomata takaisinmaksuun kuluvan ajan olevan enemmän riippuvainen kWh:n hinnasta kuin voimalan koosta. Myös isompi voimala näyttäisi olevan nopeammin itsensä takaisin maksava sijoitus.

6.4 Olosuhteiden vaikutus tuotantoon

Suomessa on käytännössä mahdotonta tuottaa tehokkaasti aurinkosähköä ympäri vuoden. Talvella ei aurinko paista kovinkaan montaa tuntia vuorokaudesta, sekä lumi peittää paneelit. Tällöin ei pystytä tuottamaan sähköä paneeleilla. Koska sähköä on tuolloin useimmiten kuitenkin käytettävä, on se silloin ostettava. Sateella ja pilvisellä säällä tuotanto heikkenee, koska maan pinnalle pääsevien säteiden määrä pienenee. Kesällä aurinkoisena päivänä ei kulutuksen ylittäminen ole mahdottomuus pienehkölläkään laitoksella. Spottihinnan määräämä 3 sentin myyntihinta ei ole kovin suuri. Kun myös huomataan tuotantokapasiteetin lisäämisen olevan arvokasta, ei ylituotanto ole kovinkaan kannattavaa.

6.5 Paneelien asentamisessa huomioon otettavia asioita

Paneelien kiinnittämiseen liittyy paljon asioita. Pitää huomioida kiinnitysmahdollisuudet. Katto tai seinä voi olla kiinnityksen kannalta hyvin hankala. Rakenteiden on kestettävä paneelien ja lumen yhteispaino. Kiinnitettävä alusta ei saa olla heikossa kunnossa ettei rakennus vaurioidu, esimerkiksi laskemalla vettä kiinteistön rakenteisiin mahdollistamaan homevaurioita. Sekä kiinnitettäväksi kelpaavaa pinta-alaa on oltava riittävästi. Aurinkopaneelin ollessa kennojen sarjakytkentä, on varjon välttäminen tärkeää. Jopa harmittoman oloinen varjo voi lamaannuttaa koko paneelin toiminnan kulkiessaan paneelin halki. Tämä on huomioitava paneelien asennuksessa, jottei paneelit varjostaisi toisiaan. (<http://www.solardesign.co.uk/shading-intro.php>)



Kuva 9. Tuotantoa haittaava varjo.(Solar design,2015)

Edellisessä kuvassa paneeleita varjostaa harmittoman näköinen varjo. Kuitenkin se katkaisee monta paneelisarjaa. Myös lumi tai joku muu vastaava valoeste katkaisee sarjan. Tästä syystä on paneelien pitäminen puhtaana tärkeää.

Toinen varjostamisen aiheuttama ongelma on paneelien sijoittaminen kohteeseen. Eritoten kulmaan asennettavat paneelit voivat varjostaa toisiaan, ja auringon vaihtaessa paikkaa varjo siirtyy. Jokaisessa kohteessa on pohdittava erikseen paras ratkaisu.

Suuri ongelma kattokiinnityksessä on tuuli. Paneeleita kulmaan asentaessa jättää se suuren pinta-alan ja ”taskun” tuulen revittäväksi. Tämä voidaan estää asentamalla paneelit katon mukaisesti. Tämä tosin vähentää tuotantoa. Toinen mahdollisuus on lisätä massaa telineisiin, jolloin ne eivät lähde yhtä helposti tuulen mukaan, esimerkiksi kivilaatoilla. Toisaalta tämä lisää helposti massaa katolle, jolloin katon kuormitettavuus lumisena talvena saattaa ylittyä. Kolmas mahdollisuus on asentaa paneelin taakse suojakilpi, jolloin ilma ei pääse taskuun. Mikäli se asennetaan myös sopivaan kulmaan, saadaan tuulen vaikutus minimoitua. Tämä vaihtoehto ei myöskään lisää paljoa massaa katolle, ja toimii tehokkaasti myös seinään asennettaessa. Tällä tavalla on myös mahdollista suojata johdotukset paremmin.



Kuva 10. Asennustelineen jättämä taskumainen tila (Wired Pakistan 2016).

Kuten yllä olevasta kuvasta huomataan, tuulelle jäävä pinta-ala on huomattava. Tuulen osuessa sopivaan kulmaan repii se paneelien mukana helposti myös kattoa ja kattorakenteita.

Myös lupa-asiat on huomioitava. Viranomaisilta eli rakennusvalvonnalta on tiedusteltava heidän kantansa kiinteistöön asennettavaan järjestelmään. Taloyhtiöiltä tai vastaavalta on saatava lupa asennukseen. Paikalliselta verkkoyhtiöltä on myös hankittava luvat verkkoon liittämiseen.

Yksi mietittävä asia lisää on estetiikka. Aina ei optimaalisin asennus tuotannon kannalta ole kaikkein esteettisin. Tätä asiaa on konsultoitava kiinteistön omistajalta sekä hyvien tapojen mukaisesti myös naapureilta.

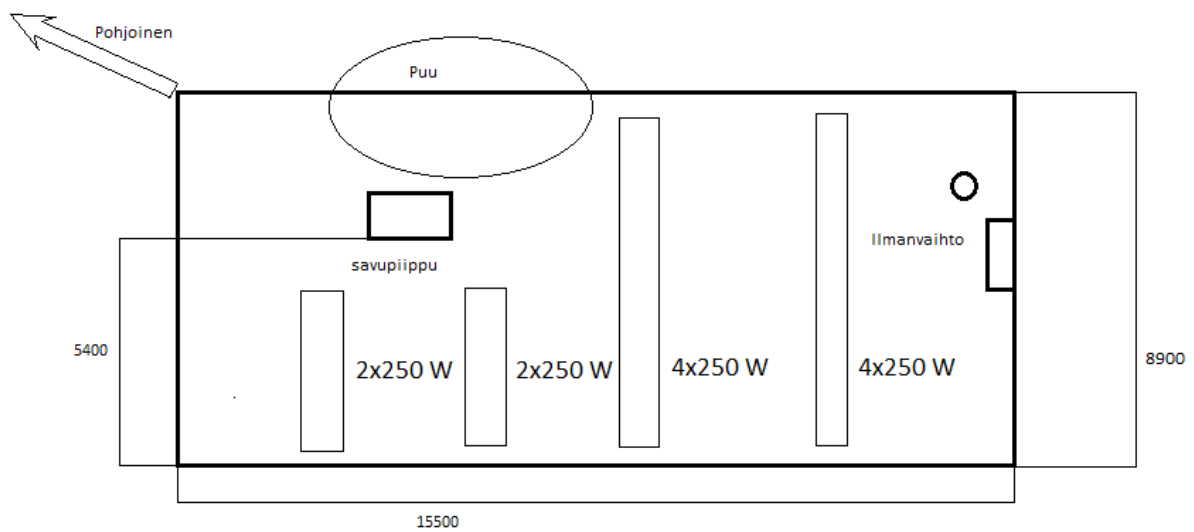
7. Kiinteistöön valittava järjestelmä

Budjetilla suuri merkitys järjestelmää valittaessa. Mutta mikäli ei huomioida sijoitettavaa rahamäärää, voidaan miettiä valintaperusteena voimalan kokoa ja sen takaisinmaksuaikaa. Eli etsitään piste, jossa voimalakompleksi alkaa tuottaa verkkoon energiaa. HOMER simulaatiotuloksia sekä kohteen tuntikulutusta vertailemalla saadaan 3 kW voimalateholla vuositason myytyä verkkoon noin 32 kWh. Tämä on sen verran pieni ylitys, että se voidaan laittaa vuotuisen vaihtelun piikkiin. 3 kW voidaan pitää optimaalisena voimalatehona. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä 12 kpl 250 W paneeleita. Tämä siksi, että tilaus on yksinkertaisesta ja edullista tilattaessa yhtä paneelityyppiä. Katon varjojen välttämiseksi voidaan myös käyttää 13 kpl 245 W paneeleita tai 12 kpl 245 W paneeleita ja 1 kpl 50 W paneeli. Käytännössä paneelit eivät koskaan tuota invertterille liikaa tehoa eikä jännitettä, joten on varaa myös hieman lisätä tehoa. 250 W paneeli voisi olla esimerkiksi 250 P 60 Glas / Glas Vision –paneeli, hintaan 320 € / kpl. Tämä on Glas / Glas –tekniikalla toimiva paneeli, jolle on luvattu jopa 30 vuoden toiminta-ajan jälkeen vähintään 87% teho nimellistehoon nähden (217.5 W). Tämä olisi pitkäkestoinen ratkaisu. (Enfsolar,2015)

Optimaalisin kulma kohteelle on 45 asteen kulma vaakatasoon nähden sekä 5 astetta etelästä kaakkoon. Tulokset löytyy liitteestä 3. Toisaalta kuten liitteestä käy ilmi, ei paljoa hävitä vuositason mikäli paneelit päätetään asentaa talon katon suuntaisesti. Tuotannon pudotus on tällöin noin 2,5 %. Eikä myöskään pieni kulman pudottaminen tuota kovin suurta haittaa tuotannolle; kulman laskeminen 30 asteeseen nostaa optimaalisesta kulmasta hukatun energian prosentuaalista määrää 4,5 prosenttiin. Suunnan muuttaminen on telineiden asennusta helpottava sekä ennen kaikkea estetiikkaa lisäävä toimenpide. Kulman muutoksella saadaan katolle lisää asennuspinta-alaa varjostuksen pienenemisen muodossa. Varjojen välttämiseksi voidaan taaempaan olevat paneelirivit nostaa telineen avulla korkeammalle, jolloin ne pystytään asentamaan lähemmäksi toisiaan.

7.1 Paneelien asettelu

Kiinteistön katolla on ilmanvaihtouukkoja sekä noin 35 cm korkea seinämä erottamassa asuntojen katot toisistaan. Myös pohjoispuolella sijaitseva puu varjostaa katon pohjoisnurkkaa yhdessä savupiipun kanssa. Tämä jättää katon pohjoisnurkan käytännössä kuolleeksi kulmaksi tuotannon kannalta. Panelointi on toteutettava painottaen katon eteläosaa. Toinen suuri ongelma sijoittelussa on paneelien omien varjojen välttäminen. Esimerkkipaneelin mitat ovat 1677 mm * 990 mm * 40 mm. Tästä voi muodostaa neljän ja kolmen paneelin ketjuja. Kolmen paneelin ketju on mitaltaan noin 5,2 m pienillä väleillä pisimmän kyljen ollessa kohti kattoa. Neljän paneelin ketjutus vastaavalla paneelilla on 6,9 m. Tällaisia neljän paneelin ketjuja voitaisiin sijoittaa kaksi savupiipun ja katon seinämän väliin sekä kaksi kahden paneelin ketjua näiden taakse savupiipun viereen.



Kuva 11. Paneelien sijoittelu katolle.

Katon ollessa tasakatto on telineiden tuulisuojaus toteutettava mieluiten muuten kuin painoja lisäämällä.

Invertteri on valittava siten, että se kestää 3 kW huipputehon. Käytännössä pienempikin riittää, koska voimalan toimiminen täydellä teholla koskaan on epätodennäköistä. Esimerkiksi paneelien sijaitessa eri suuntiin pienempi invertteri riittää mainiosti. Invertteri kannattaa sijoittaa autotalliin, jonne saadaan katolta tehtyä johtoyhteys helposti. Myös ryhmäsulaketaulu sijaitsee lähellä autotallia. Autotallin eteen voisi sijoittaa katkaisijan.

Varoituskyttilä täytyy sijoittaa mittarikeskukseen pääkatkaisijan ja pääsulakkeiden luo, autotalliin, katkaisijoille sekä sulaketauluille. Myös sähkömittarille on hyvä laittaa varoituskyttilä. Lisäksi talon asukkaita on perusteltua valistaa aurinkosähköjärjestelmän mahdollisesti aiheuttamista vaaroista, kuten takajännitteestä.

Verkkoyhtiölle ilmoittamisen yhteydessä on energianmittaus hyvä tarkistaa. Kyseisen kohteen sähkömittari mahdollistaa mittauksen molempiin suuntiin, joten sille ei tarvitse tehdä mitään. Verkkoyhtiö tekee tarpeelliset muutokset järjestelmiinsä.

8. Aurinkosähkön tulevaisuus

Tulevaisuuden näkymät aurinkosähkössä ovat valoisia. Komponenttien hinnat ovat laskeneet vuodesta 1977 99%, ja vuoden 2011 alusta 60%. Tämän suuntauksen jatkuessa tulevat komponentit tulevaisuudessa halpenemaan huomattavasti. Tämä luonnollisesti lyhentää takaisinmaksuaikaa, mikä on yksi suurimpia kehittämisen kohteita tämän hetken markkinoilla. Tämä hintojen lasku johtuu muun muassa suuremmasta tarjonnasta markkinoilla. Uusia tuottajia tulee mukaan toimintaan ja kilpailu pienentää hintaa. Tämä johtaa myös paneelien hankinnan helpottumiseen. Nykyään myytävät järjestelmäkokonaisuudet ovat selkeitä eivätkä vaadi liiallista asiaan paneutumista.

Toinen suuri tekijä hintapolitiikassa on tekniikan kehittyminen. Paneeleissa tapahtuu suurta kehitystä uusien materiaalien ja niiden yhdistelmien kehittymisen myötä. Yksi suurimmista kehitettävistä aiheista on ollut paneelien hyötysuhde. Nykyään hyötysuhde ennätys on noin 46 %.(Clean Technica,2014)

Kolmas on tietoisuuden lisääntyminen. Saksa on esimerkillään nostanut aurinkoenergian vahvasti esille. Saksa tuottaa noin 7 % maan käyttämästä energiasta aurinkoenergialla, aina pienistä talonkattovoimaloista suurempiin voimalapuistoihin. Tämä on ollut mahdollista valtion vahvalla tuella. Suomessakin tietoisuus on lisääntynyt, muttei vielä osata hyödyntää kesän potentiaalia. Pilottihankkeita tarvitaan lisää esimerkiksi.

USA:ssa jotkut yritykset ovat luoneet leasing-mallin helpottamaan järjestelmän hankintaa. Yritys rakentaa järjestelmän asiakkaalle ilman asiakkaan kustannuksia, ja myy voimalan tuottaman sähkön asiakkaalle. Tämä hyödyttää asiakasta edullisemmän energian muodossa ja yhtiötä hyödyttää myyty energia ja verohelpotukset. Suomeenkin voitaisiin kehittää vastaavanlainen hanke.(United States Environmental Protection Agency, 2015).

8.1 Jatkotutkimus

Rivitalon muut asunnot ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia, joten jatkotutkimuksena voisi määrittää muille asunnoille vastaavanlaiset järjestelmät tai pohtia mahdollista yhteistä järjestelmää.

Toinen tutkittava asia on komponenttien hinnan kehitys, ja arviointi tulevaisuuden järjestelmähinnoista ja hintakehityksestä.

9 Johtopäätökset

Nykyään aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen on helppoa. Valmiita paketteja asennuksineen on olemassa markkinoilla, sekä osia tarjoaa erikseen useampi valmistaja. Talon omaan sähköverkkoon liittäminen onnistuu myös, sekä tuotannon myyminen sähkömarkkinoilla. Järjestelmien hinnat ovat vielä korkeahkoja sekä tuotannon avulla takaisinmaksu vie kalliillakin energian hinnalla kymmenisen vuotta. Hinnat ovat kuitenkin tulossa alaspäin, joten kannattanee vielä hieman odotella.

Tarkasteltuun kiinteistöön kannattaa asentaa 3 kW voimalakompleksi, jolloin ei tapahdu liiallista ylituotantoa ja omaan käyttöön tuotanto on mahdollisimman suurta. Paneelien optimaalinen kulma on 45 astetta vaakatasoon nähden. Paras suunta olisi 5 astetta etelästä kaakkoon. Kuitenkaan tuotanto ei kärsi kohtuuttomasti, vaikka näistä arvoista vähän poiketaan estetiikan nimissä. Autotallia kannattaa käyttää invertterin sijoituspaikkana.

Lähteet

Science Daily, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 6.1.2016] Saatavilla

http://www.sciencedaily.com/terms/fossil_fuel.htm

Yle Uutiset, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 23.6.2015] Saatavilla

http://yle.fi/uutiset/saudikuninkaan_kuolema_nosti_oljyn_hintaa/7755570?ref=leiki-uu

Yle Uutiset, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 23.6.2015] Saatavilla

http://yle.fi/uutiset/oljyvaltio_saudi-arabia_suunnittelee_ryhtyvansa_aurinkoenergian_suurvallaksi/8009656

U.S Energy Information Administration , International energy data and analysis, 2014 [internet-sivu].[Viitattu 13.4.2015] Saatavilla

<http://www.eia.gov/countries/index.cfm?view=production>

Energiatoteellisuus, Energia ja ympäristö, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 21.6.2015] Saatavilla

<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>

Three Gorges Project, 2014 [internet-sivu].[Viitattu 18.10.2014] Saatavilla

<http://www.chincold.org.cn/dams/rootfiles/2010/07/20/1279253974143251-1279253974145520.pdf>

Motiva, Aurinkoenergia, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 22.6.2015] Saatavilla

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia

The physics hypertextbook, Photoelectric effect, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 11.10.2014] Saatavilla

<http://physics.info/photoelectric/>

Clean Technica, Which Solar Panels Are Most Efficient, 2014 [internet-sivu].[Viitattu 16.4.2015] Saatavilla

<http://cleantechnica.com/2014/02/02/which-solar-panels-most-efficient/>

Solar Power Panel System, 2014 [internet-sivu].[Viitattu 2.8.2015] Saatavilla

<http://www.solarpowerpanelsystem.com/>

Solar Hot, Solar Panel Mounting Hardware, Flush Mount Hardware, 2009 [internet-sivu].[Viitattu 2.6.2015] Saatavilla

<http://www.solarhotusa.com/products/solar-collectors-mounting.html>

HOMER Energy, HOMER legacy: The original, 2014 [internet-sivu].[Viitattu 5.12.2014] Saatavilla

http://www.homerenergy.com/HOMER_legacy.html

Solarpower, [internet-sivu].[Viitattu 8.5.2015]. Saatavilla

<http://www.solarpower.fi/>

Fortum, Fortum Aurinkopaketti, 2015 [internet-sivu].[Viitattu .6.2015]. Saatavilla

<https://www.fortum.fi/countries/fi/energiansaasto-ja-ratkaisut/aurinkopaneelit-aurinkopaketti/pages/default.aspx?ad=search&gclid=Clazg8ul9cgCFQPncgod4o0GyQ>

The Solar Design Company, Intruduction to solar shading, 2011 [internet-sivu].[Viitattu 12.5.2015]. Saatavilla

<http://www.solardesign.co.uk/shading-intro.php>

ENF, S-Class P 60 Vision balance datalehti, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 3.9.2015]. Saatavilla

<http://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/Polycrystalline/14495>

Google, karttapalvelu, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 2.7.2015]. Saatavilla

<https://www.google.fi/maps>

Aurinkovirta, Invertteri, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 2.5.2015]. Saatavilla

<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>

Aurinkopaneelikauppa, Invertteri, 2015 [internet-sivu].[Viitattu 2.5.2015]. Saatavilla

<http://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Invertterit>

Jani Lohela, KSS Verkko OY, Haastattelu 10.10.2014.

Sähkötieto ry, 2013, ST-kortti 55.33, Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. Espoo: Sähköinfo Oy.

Stapleton G. & Neill S. 2012 Gridconnected solar electric systems. New York: Earthscan.

United States Environmental Protection Agency, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 2.7.2015]. Saatavilla

<http://www3.epa.gov/greenpower/buygp/solarpower.htm>

Fraunhofer ISE, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 14.10.2015]. Saatavilla

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

Ecointersect, World oil production, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 12.7.2015]. Saatavilla

<http://econintersect.com/files/wall/published/wall.php?post=201501045627>

Liberty Voice, Uutisartikkeli, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 2.7.2015]. Saatavilla

<http://guardianlv.com/2014/09/white-house-says-u-s-will-train-veterans-to-install-solar-panels/>

Sustain Energy Solutions, Solar PV Process, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 2.7.2015]. Saatavilla

<http://sustain-uk.com/solar-pv-process/>

Suomen Turvakilvet Oy, Verkkokauppa, 2015 [internet-sivu]. [Viitattu 2.7.2015]. Saatavilla

http://turvakilvet.omaverkkokauppa.fi/epages/turvakilvet.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/turvakilvet/Products/10-131

Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D. & Ossenbrink, H. A., 2012. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. [verkkodokumentti], [luettu 23.5.2015]. Saatavilla

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Wired Pakistan, Keskustelufoorumi, 2014 [internet-sivu]. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavilla

<http://www.wiredpakistan.com/topic/21801-solar-calculator-and-software-tools/>

Liitteet

Liite 1

Lait ja asetukset asiaan liittyen

Sähköturvallisuuslaki (410/1996 ja muutokset)

Sähkömarkkinalaki (386/1995 ja muutokset)

Standardit

SFS-EN 50438. Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille.

EN 60904-3. Photovoltaic devices. Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.

EN 61215. Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules. Design qualification and type approval.

IEC 60755. General requirements for residual current operated protective devices.

SFS 6000-5-55. Muut sähkölaitteet.

SFS 6000-7-712. Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät.

SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet.

SFS-EN 60439-1. Jakokeskukset.

SFS-EN 62446. Sähköverkkoon kytketyt valosähköiset järjestelmät. Minimivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolle, käyttöönototesteille ja tarkastuksille.

Asetukset

Sähköturvallisuusasetus (498/1996 ja muutokset)

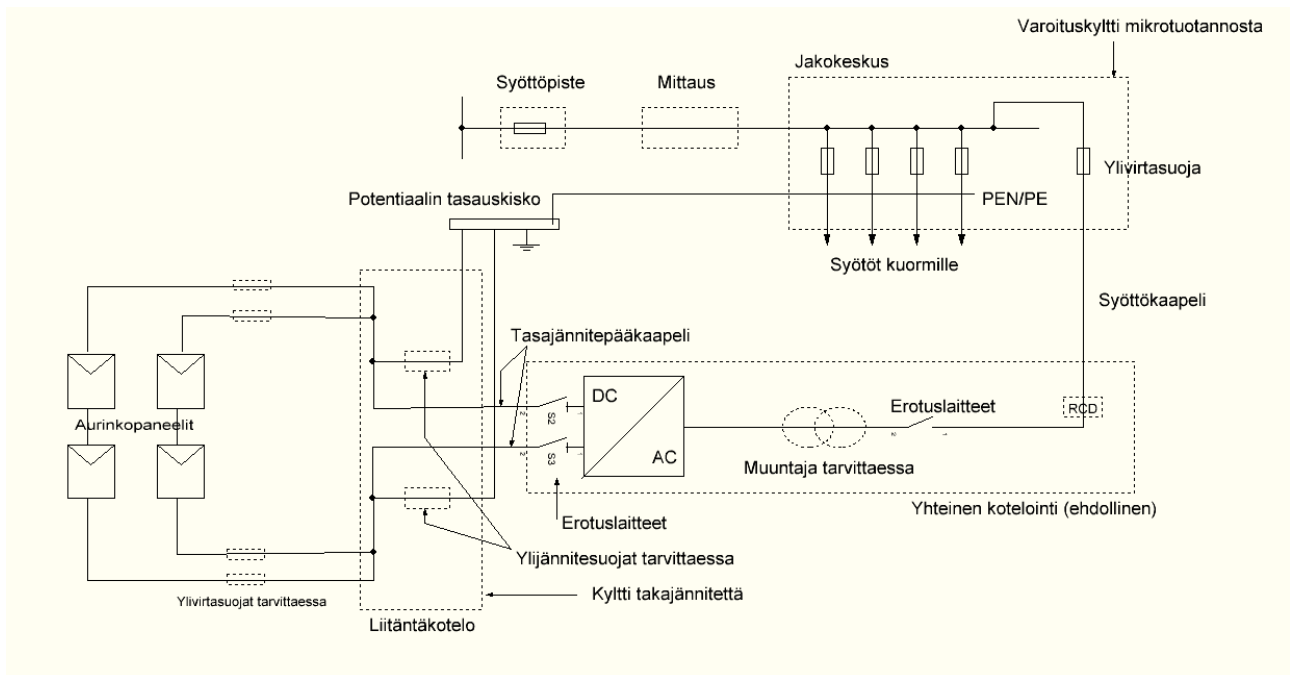
Määräykset

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996 ja muutokset)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä(517/1996 ja muutokset)

Liite 2. Esimerkkikytkentäkaavio



Liite 3. Simulointitulokset

Suunnan ja kulman simulointiin käytettiin voimalakokona 1 kW. Tulokset taulukossa ovat simuloinnista saatuja tuotantomääriä kilowattitunneissa vuositasolla. Ensimmäisellä rivillä on kallistuskulma kattoon nähden 5 asteen välein. Vasemman reunan sarake kuvaa suuntaa asteina siten, että etelä on 0 astetta, positiivinen suunta länteen päin kiertäen asteina ja negatiivinen itään. Optimaalisin tulos kallistuskulma 45 astetta ja suunta 5 astetta etelästä itään on korostettu.

		Kallistuskulma										
Suunta	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
-30	823									1027		
-25	823									1035		
-20	823									1043		
-15	823					1004	1024	1038	1046	1048	1044	1034
-10	823					1007	1027	1041	1049	1051	1048	1039
-5	823					1008	1029	1042	1050	1053	1050	1041
0	823	870	912	950	982	1008	1028	1042	1050	1052	1049	1040
5	823	870	911	949	981	1007	1027	1041	1049	1050	1046	1037
10	823	869	910	947	978	1004	1024	1037	1045	1046	1043	1034
15	823	868	908	944	974	1000	1019	1032				
20	823	867	906	940	970	994	1013	1025				
25	823	865	903	936								
30	823	863	899	930								

Optimaalisin tulos eri voimalan tehoilla simuloituna HOMER Legacy:lla

1 kW	3 kW	4 kW	5 kW	6 kW	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW	
1053	3241	4321	5401	6482	7562	8642	9723	10803	kWh