



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KANNATTAVUUSTARKASTELU AURINKOSÄHKÖN HYÖDYNTÄMISESTÄ KAUPPAKESKUKSESSA

TEKIJÄ: Petri Linnamurto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Tuotantotalouden koulutusohjelma			
Työn tekijä Petri Linnamurto			
Työn nimi Kannattavuustarkastelu aurinkosähkön hyödyntämisestä kauppakeskuksessa.			
Päiväys	27.05.2015	Sivumäärä/Liitteet	39 / 6
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja, Ritva Käyhkö			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Osuuskauppa Suur-Savo Prisma Savonlinna			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää toteutuuko kaupanalan liikekiinteistössä oletettu tehonkulutuksen kasvu lämpimään vuoden aikaan. Samalla tarkasteltiin aurinkoenergialla tuotetun sähkön kannattavuutta kompensoimaan mahdollista ylimääräistä energian kulutusta.</p> <p>Tiedetään, että kylmälaitteiden toiminta-ajat ja energiankulutus lisääntyvät etenkin kesäkuukausina. Tämän ilmiön havainnoimiseksi tarkasteltiin kiinteistön sähkönkulutuslukemia 10 vuoden ajanjaksolta. Tarkastelujakso määriteltiin sellaiseen ajankohtaan, jossa ei ollut kiinteistöön kohdistuneita suuria korjaus- tai laajennusurakoita, jotka olisivat lisänneet sähkönkulutusta ja siten häirinneet selvityksen tekoa.</p> <p>Selvitystyössä oli tarkoituksena kiinnittää huomio erityisesti aurinkosähkön tuotantomahdollisuuksiin kohdekiinteistössä. Työssä kartoitettiin parhaiten toimivimmat tuotantojärjestelmät, rakennuksen sijainnin ja asennuspaikkojen vaatimukset sekä soveltuvuus. Lisäksi kartoitettiin alan toimijoita sekä investointikustannuksia eri teholuokan tuotantojärjestelmille ja järjestelmätyypeille. Samalla selvitettiin investoinnin taloudellinen kannattavuus oletetun toiminta-ajan rajoissa.</p>			
Avainsanat Aurinkopaneeli, Aurinkosähkö, Energiankulutus, Sijoituksen kannattavuus, Takaisinmaksuaika, Kustannustehokkuus			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Industrial Engineering and Management			
Author(s) Petri Linnamurto			
Title of Thesis A profitability analysis for utilizing solar electricity at a shopping center			
Date	27.052015	Pages/Appendices	39 / 6
Supervisor(s) Heikki Salkinoja, Ritva Käyhkö			
Client Organisation /Partners Osuuskauppa Suur-Savo Prisma Savonlinna			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to investigate if the expected rise of power consumption actualizes at the warm period of year in a commercial business property. Meanwhile it was also examined the profitability of electricity produced by solar power to compensate the possible excessive energy consumption.</p> <p>It is well known that the working time and energy consumption of refrigerator appliances are increasing especially during the summer months. To recognize this effect the properties' electricity consumption figures of past ten years were inspected. The inspection time period was defined for the season so that there were not large renovation or expansion projects under process in the properties, which would increase electricity consumption and disturb the investigation process.</p> <p>The purpose for the investigation work was to pay attention especially to solar electricity production possibilities in the target property. In the thesis were the best operational production systems, the location of property and assembly places requirements and suitability were charted. In the thesis there were also charted the operators of industry, investment expenses for production systems and system types operating in different kind of power categories. At the same time also investments, financial profitability in, the limits of expected operating time were solved.</p>			
Keywords Solar module, Photovoltaic, Energy consumption, investment profitability, Payback period, cost-effectiveness			

ESIPUHE

Tämän lopputyön valmistuttua olen entistä tietoisempi siitä, että on tullut aika kiittää niitä ihmisiä, joiden kanssa olen saanut olla tekemisissä opintojeni aikana. Olen saanut opiskella juuri niitä hienoja ja mielenkiintoisia aineita, joista aiemmin kuvittelin niiden jo olleen taakse jäänyttä aikaa. Ilman opintojani en olisi päässyt tutustumaan tutkimuskeskuksen työskentelyyn, jossa alan huiput tutkivat hiukkasten ja aineen syvimpää olemusta mielenkiintoisessa ympäristössä.

Haluan kiittää opiskelukavereitani, joista tuli hyviä ystäviä vuosien varrella. Osoitan myös lämpimät kiitokseni Savonian Varkauden yksikön opettajille hyvästä ja yksilöllisestä opetustyöstä. Kiitos myös muulle henkilökunnalle.

Ennen kaikkea haluan osoittaa kiitokseni perheelleni sekä maailman parhaalle Pia vaimolleni, joka on myötäelänyt rinnallani kaikki opintovuodet. *Repetitio est mater studiorum.*

Savonlinnassa 27.5.2015

Petri Linnamurto

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITTELYT

1 JOHDANTO	8
1.1 Tavoitteen määrittely ja tekniikan rajaus.....	8
1.2 Osuuskauppa Suur-Savo	9
1.3 Prisma Savonlinna	10
2 AURINGON SÄTEILYENERGIA	11
2.1 Säteilyn sähköenergia.....	12
2.2 Säteilyn lämpöenergia.....	12
2.3 Aurinkopaneelit.....	13
2.4 Aurinkokeräimet.....	14
3 KIINTEISTÖSÄHKÖN KULUTUSTARKASTELU	15
3.1 Vuosikulutuksen tarkastelu	15
3.2 Vuorokausikulutuksen tarkastelu	16
4 ENERGIAN TUOTTOTAVAN VALINTA	18
4.1 Kiinteistösähkön jakaantuminen	18
4.2 Tuottotavan määrittely.....	18
4.3 Järjestelmän sijainti sekä ympäristö.....	19
5 AURINKOSÄHKÖVOIMALA	20
5.1 Voimalatyyppi ja asennustapa.....	20
5.2 Viranomaisluvut	21
5.3 Voimalan hankintatapa	23
6 VOIMALAN KOKOLUOKKA JA KUSTANNUSARVIOT	25
6.1 Suoritustehon määrittely	25
6.2 Järjestelmän hankintakustannus	26
7 TALOUDELLINEN TARKASTELU	27
7.1 Energian hinnan kehitys ja näkymät	27
7.2 Järjestelmän tuottoennuste	27
7.3 Kannattavuustarkastelu.....	30
7.3.1 Nykyarvomenetelmä.....	30

7.3.2	Investoinnin takaisinmaksu	34
8	KEHITYSNÄKYMÄ	36
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38

LIITTEET

- Liite 1. Kuukausikulutusraportti, luottamuksellinen
- Liite 2. Vuorokausikulutusraportti, luottamuksellinen
- Liite 3. Prisma SIn sähkönkulutuksen kehitys 2003 - 2013, luottamuksellinen
- Liite 4. Prisma SIn sähkön keskikulutus kylminä ja lämpiminä kuukausina, luottamuksellinen
- Liite 5. Lämpökameran tutkimusraportti, julkinen
- Liite 6. Lämpökameran tutkimusraportti, julkinen

LYHENTEET JA MÄÄRITTELYT

On-grid järjestelmä	Sähköverkon rinnalle kytketty aurinkosähköntuotantojärjestelmä
Off-grid järjestelmä	Sähköverkon ulkopuolinen suljettu aurinkosähköntuotantojärjestelmä
kW	kilowatti (1000 wattia)
W (VA)	teho, watti (volttiampeeri)
W / m ²	säteilemisvoimakkuus
Wh	sähköteho, wattitunti
Diffuusinen säteily	(auringon) hajasäteilyä
Vesimolekyylä (H ₂ O)	pieni vesipisara, (divetymonoksidi)
Aerosoli	ilman ja pienhiukkasten seos ilmakehässä
Otsoni (O ₂)	maan ilmakehän molekyylä
Hiilidioksidi (CO ₂)	kasvihuonekaasu
Pienoisjännite (ELV)	Jännite, joka ei normaalisti ylitä 50 V vaihtovirralla tai 120 V tasavirralla
Vaihtovirta (ac)	Sähkövirta, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona
Tasavirta (dc)	Sähkövirta, jonka suunta ei muutu
Pii (Si)	Puolimetallinen alkuaine
Fotoni	Valokvantti, joka on sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen
Absorboiva	Imeä itseensä, sitoa
Puolijohde	Materiaali, joka johtaa sähköä huonommin kuin johde, mutta paremmin kuin eriste
Elektrodi	Sähköisen virtapiirin osa, jossa sähkö siirtyy väliaineeseen tai väliaineesta virtapiiriin
Invertteri	1- tai kolmivaihe vaihtosuuntaaja, joka muuttaa esim. 12 V:n tasajännitteen verkkoon sopivaksi, taajuudeltaan 50 Hz:n ja 230 V:n vaihtojännitteeksi
Yksikide	Kiderakenteessa atomit ovat tietyssä järjestyksessä
Monikide	Atomien paikka kiderakenteessa on hieman epämääräisempi kuin yksikiteisessä
Aurinkokenno	Prosessoitu piikiekkö, joka muuttaa auringonsäteilyn suoraan sähköenergiaksi
Aurinkopaneeli	Pienin aurinkokennoyksikkö, joka on ympäristöltä suojattu ja tuottaa tasavirtaa
Aurinkokeräin	Laite, jossa auringon säteilyenergia absorboidaan ja muutetaan lämpöenergiaksi siirrettäväksi edelleen lämmönsiirtoaineeseen
Absorptio	Kappaleen vastaanottama säteilyenergia
Selektiivipinta	Valosäteilyä tehokkaasti keräävä pinta
Väliaine	Aurinkokerääjässä energian siirtoon käytetty aine
Spot-hinta	Pohjoismaiden sähkömarkkinoiden markkinahinta sähköstä €/MWh
Kelluva-asennus	Aurinkopaneelien asennus tasakattotelineisiin, jotka ankkuroitu kattoon painoilla
kWp	Ilmoittaa laitteen/laitteiston huipputehon
snt/kWh	Ilmoittaa sähköenergian hinnan senttiä / kilowattitunti
Pohjakulutus(kWh)	Rakennuksen pienin jatkuva sähkönkulutus tunnissa

Fossiilisten polttoaineiden ehtyminen sekä lisääntyneet ympäristökatastrofit, ovat saaneet ihmisten mielenkiinnon lisääntymään uusiutuvia energialähteitä kohtaan. Oman vaikutuksensa mielenkiinnolle antaa myös energian keräilytekniikan selkeä parantuminen uusien innovaatioiden johdosta etenkin 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Myös se tosiasia, että energialähteet, kuten esimerkiksi öljy ja maakaasu on valjastettu maailman eri konflikteissa erilaisten tarkoitusperien ja politiikan tekovälineiksi on lisännyt käyttäjien kiinnostusta ympäristöystävällisiä ja saatavuudeltaan varmempia sekä pitkällä aikavälillä halvempia energiavaihtoehtoja kohtaan. Näitä uusiutuvia energialähteitä ovat mm. aurinkoenergia, tuulienergia, aaltoenergia, vesivoima, vuorovesienergia, maalämpö, ilmalämpö sekä tietysti puu, jota maassamme on aina osattu käyttää, jopa esimerkiksi auton energialähteenä.

Tässä työssä otettiin tarkastelun kohteeksi aurinkoenergia. Aurinkoenergian tyypillisiä käyttökohteita löytyy usein asuinrakennusten tai teollisuuden käyttösovellutuksista, mutta vielä harvemmin juuri päivittäistavarakaupan käytöstä. Kun kesäaikaan asuinrakennuksissa energian tarve pienenee lämmityksen vähentyessä, niin voidaan olettaa, että päivittäistavarakaupan tiloissa tapahtuu päinvastainen ilmiö. Tunnetusti rakennusten jäähdytys- / kylmälaitteet lisäävät energian kulutusta lämpimällä ilmalla. Tämä lisääntynyt sähkön kulutus ajoittuu juuri samaan aikaan, kun auringosta saatavaa puhdasta energiaa on saatavilla kaikkein eniten.

1.1 Tavoitteen määrittely ja tekniikan rajaus

Insinööriyön päätarkoituksena oli tuottaa toimeksiantajalle tietoa sähköä tuottavista aurinkopaneelijärjestelmistä, jotka olisivat hyödynnettävissä päivittäistavarakaupan käytössä. Työn kohteena oli Savonlinnan Prisma tavaratalo, jossa tavoitteena oli todentaa kesäaikaan liittyvä sähkönkulutuksen kasvu sekä selvittää ne kohteet, jotka olivat kasvun syynä. Tämän lisäksi tavoitteena oli tarkastella millaisella aurinkosähkön tuotantojärjestelmällä (kutsutaan myös valosähköiseksi tehonsyöttöjärjestelmäksi) voidaan kompensoida ylimääräinen sähkönkulutus ja onko järjestelmän sähköntuotto kaikkiaan riittävää näillä korkeusvyöhykkeillä.

Erityisesti tarkoituksena oli selvittää aurinkosähkön tuotantoon liittyen tarjolla olevan tekniikan taso ja laitevaihtoehdot. Lisäksi tavoitteena oli selvittää järjestelmän kunnossapito- ja huoltokulut sekä sen elinkaari. Aikomuksena oli selvittää myös järjestelmän tuottaman sähkön myynnin kannattavuutta sekä sen soveltuvuutta kytkettäväksi nykyisen sähkönsyöttöjärjestelmän rinnalle.

Tässä lopputyössä tarkastelunkohteeksi on otettu sähköverkkoon integroitavissa (ns. On-grid - järjestelmä) oleva aurinkosähköntuotantojärjestelmä. Tarkoituksena oli selvittää onko valittuun järjestelmään investoiminen taloudellisesti kannattavaa tällä hetkellä sekä selvittää samalla löytyykö tutkimuksen aikana muita parannettavia kohteita sähkönkulutuksen pienentämiseksi. Edelleen, tässä työssä oli tarkoitus keskittyä kohteen kannalta parhaiten soveltuvan aurinkosähköjärjestelmän tarkasteluun ja jättää toisarvoiset järjestelmät vähemmälle huomiolle.

1.2 Osuuskauppa Suur-Savo

Osuuskauppa toiminta on saanut alkunsa Etelä-Savossa kauppias Aatami Kärnän toimiessa ensimmäisenä liikkeenhoitajana. Ensimmäinen osuuskauppa sijaitsi Ristiinan Himalansaareissa. Himalansaaren kauppakunnan perustava kokous pidettiin 4.3.1902 ja säännöt vahvistettiin 28.5.1902. Etelä-Savossa on reilun sadan vuoden aikana toiminut 41 kaupparekisteriin merkittyä osuuskauppaa. (Osuuskauppa Suur-Savon kotisivut.)

Osuuskauppa Suur-Savo on kasvanut merkittäväksi monitoimialayritykseksi Etelä-Savossa. Liikevaihto v. 2014 oli 350,1 milj. euroa ja henkilökuntaa osuuskaupassa oli keskimäärin yli 1200. Riittävän taloudellisen tuloksen turvin Osuuskauppa Suur-Savo pystyy tuottamaan laadukkaita palveluja sekä tarjoamaan monipuolisia etuja asiakasomistajilleen koko toimialueella. Vahva taloudellinen asema mahdollistaa myös pysyvien työsuhteiden tarjoamisen henkilöstölle sekä turvaa henkilöstön kehittymisen ammatissaan. (Osuuskauppa Suur-Savon kotisivut.)

Osuuskauppa Suur-Savo on yli 62 000 asiakasomistajan omistama yritys, joka toimii Etelä-Savossa 12 kunnan alueella. Toimialue kattaa Mikkelin, Pieksämäen ja Savonlinnan talousalueet. Yli 76 % toimialueen talouksista on osuuskaupan asiakasomistajia. Toimialoina ovat päivittäis- ja erikoistavarakauppa, liikennemyymälä- ja polttonestekauppa, autokauppa sekä matkailu- ja ravitsemiskauppa. Osuuskaupalla on myös pankkipalveluita tarjoava S-pankki sekä leipomo Mikkelissä. (Osuuskauppa Suur-Savon kotisivut.)

Osuuskaupan perustehtävänä on vastata asiakasomistajien tarpeisiin tuottamalla kilpailukykyisiä palveluja ja etuja, sekä kehittää ja ylläpitää oman toimialueen hyvinvointia. (kts. seur. sivu Kuva 1.1) Osuustoiminnallisten periaatteiden mukaan osuuskauppa käyttää liiketoiminnasta syntyvän tuloksen asiakasomistajien ja oman toimialueena hyväksi. Osuuskauppa Suur-Savo investoi vahvasti toimipaikkaverkoston kehittämiseen ja osuuskaupan tuloksesta se maksaa bonusten lisäksi asiakasomistajille ylijäämäpalautusta ja korkoa täyteen maksetulle 100 euron osuismaksulle. (Osuuskauppa Suur-Savon kotisivut.)

1.3 Prisma Savonlinna

Prisma Savonlinna avattiin v. 1992 ja se oli maakunnan ensimmäinen hypermarket. Vuonna 2002 Prismaa remontoitiin sekä laajennettiin hieman. Vuoden 2015 toukokuussa Prisma saa 3400 kerrosneliön laajennuksen ja sen kokonaispinta-alaksi tulee 12 000 neliötä. Prisma Savonlinna työllistää 70 henkilöä ja kesällä henkilöstön lukumäärä kasvaa n. 30:llä. (S-ryhmän kotisivut.)



Kuva 1.1. S-ryhmän liiketoimintamalli ja toiminnan tarkoitus (S-ryhmän kotisivut.)

AURINGON SÄTEILYENERGIA

Maailman suurin ja rajattomin energianlähde on aurinko. Rajattomuudesta voidaan hyvinkin puhua sillä auringon on oletettu paistavan maahan vielä seuraavat 4.5 miljardia vuotta. Ja suurimman energialähteen puolesta puhuu se tosiasia, että aurinko säteilee maahan 1.7×10^{23} kW:n kokonais-
tehon, joka vastaa 20 000 kertaisesti sitä tehon määrää, jonka koko maapallon teollisuus ja lämmitys nykyään käyttää.

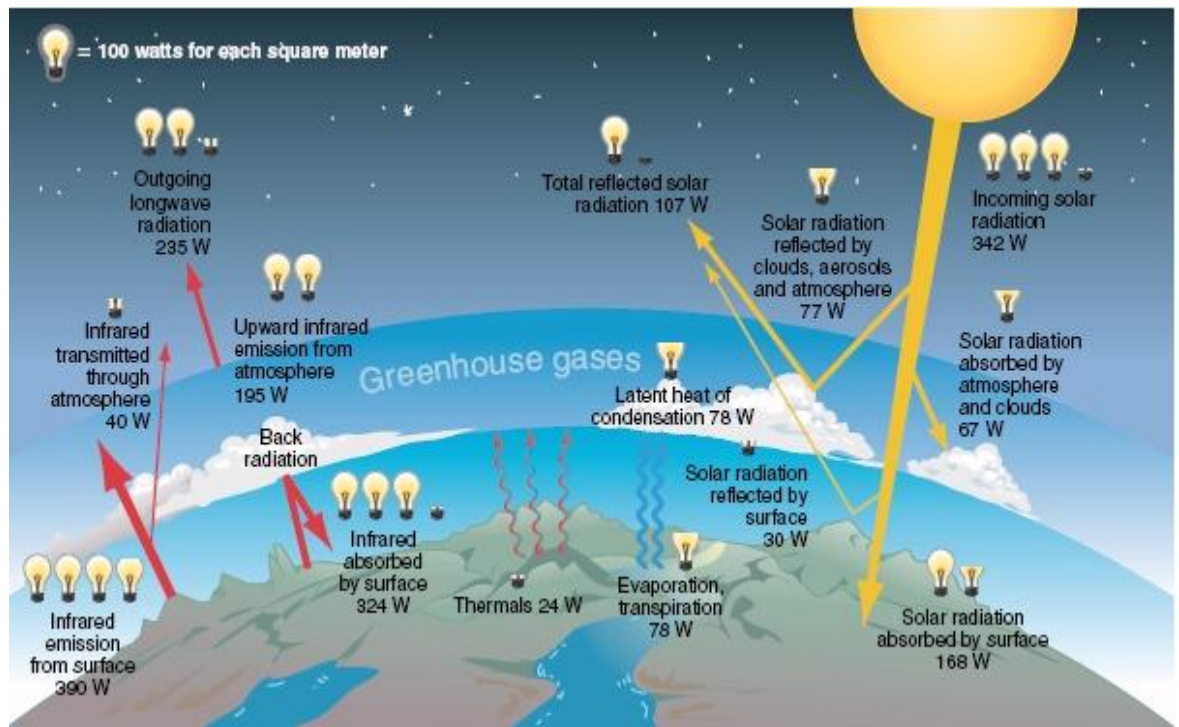
Auringon intensiteetti eli säteilyn voimakkuus, joka tulee ylemmän ilmakehän pinnalle yhdessä sekunnissa yhden m^2 :n alalle on keskimäärin 1370 W, tätä käsitettä kutsutaan aurinkovakioksi. Aurinkovakio vaihtelee arvojen 1.35 – 1.39 kW/m^2 välillä johtuen maan ja auringon etäisyyden vaihteluis-
ta.

Välitön aurinkovakio tarkoittaa sitä auringosta lähtöisin olevaa energia määrää, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maanpinnalla. Se on n. 0.8 – 1.0 kW/m^2 keskellä kirkasta päivää. Kun esim. säteilyteho 0.8 kW osuu pintaan tunnin aikana, saatu energiamäärä on 0.8 kWh. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola ja Suokivi 2008, 11.)

Auringon säteilyn pääsyä maan pinnalle heikentää merkittävästi ilmakehä, jonka läpi säteily joutuu kulkemaan. Ilmakehä koostuu erilaisista molekyyleistä, pienhiukkaspitkikkeleista, aerosoleista, vesihöyrystä jne... Osaltaan nämä edellä mainitut aineosat toimivat myös ihmisten eduksi, sillä ne heikentävät myös haitallisten UV-säteiden pääsyä maan pinnalle. Luonnollisesti myös maapallon asennolla aurinkoon nähden on suuri vaikutus, sillä auringon paistaessa esim. keskikesällä keskellä päivää on sen säteillä lyhyin matka maan pinnalle, tällöin säteilyenergian vaikutus on suurimmillaan. Vastaavasti aamulla ja illalla sekä talvella auringon säteet kohdistuvat maahan hyvin vinosta kulmas-
ta, tämän johdosta säteen matka maan pinnalle heikentävän ilmakehän läpi pitenee. Edellä mainittujen syiden vaikutuksesta aurinkovakion säteilyteho (keskim. 1.37 kW) on heikentynyt ilmakehässä n. 40 %, ennen kuin se on saavuttanut maanpinnan tason.

Maanpintaan kohdistuu ilmakehän johdosta kolmea erilaista säteilytyyppiä, jotka voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- auringon suorasäteily, joka tulee suoraan ilmakehän lävitse maan pintaan,
- auringon (diffuusinen) hajasäteily, joka heijastuu maahan esim. pilvien pinnoilta, korkeista maastonkohdista ja korkeista rakennuksista,
- ilmakehän vastasäteily, joka säteilee takaisin maasta heijastuvaa lämpösäteilyä ilmakehässä olevien vesimolekyylien, aerosolien, kaasujen (otsooni, hiilidioksidi) ja pienhiukkasten johdosta, voidaan kutsua myös kasvihuoneilmiöksi / -vaikutukseksi. (kts. seur. sivu kuva 2.1)



Kuva 2.1 Maahan tuleva ja lähtevä säteily W/m^2 (Satellite Applications for Geoscience Education.)

2.1 Säteilyn sähköenergia

Auringon säteilystä tuotetulla sähköenergialla voidaan nykyään korvata merkittävä osa sähkön kulutuksesta niin asuinrakennuksissa, kuin julkisrakennuksissa, että yrityskiinteistöissä. Tämä omatuotantoinen energia toimii verkosta ostetun sähkön rinnalla (On-grid järjestelmä). Laajasti käytetty energiantuotantomuoto on myös vapaa-ajanasuntoihin, veneisiin sekä asuntoautoihin asennettu aurinkosähköä varaava pienenjänniteverkko. Tämä sähköverkosta erillään toimiva järjestelmä tuottaa oman sähkönsä ja varaa sen yleisimmin 12 voltin akkuihin (Off-grid järjestelmä).

2.2 Säteilyn lämpöenergia

Auringon säteilemää lämpöenergiaa käytetään rakennuksissa yleisemmin jonkin päälämmönlähteen rinnalla. Tämä johtuu siitä, että lämpöenergiaa on saatavilla vaihtelevasti vuodenaajoista ja sääolosuhteista johtuen. Suomessa aurinkolämpöä käytetään esimerkiksi rakennuksissa, joissa on vesikiertoinen patteriverkosto tai vesikiertoinen lattialämmitys sekä ilmalämmitys. Aurinkolämpöä käytetään myös lämpimän käyttöveden kehittämiseen. Auringon lämpöenergian vaikutusta voidaan hyödyntää myös rakennusten sijainnilla maastoon ja ilmansuuntaan nähden sekä niiden arkkitehtuurilla.

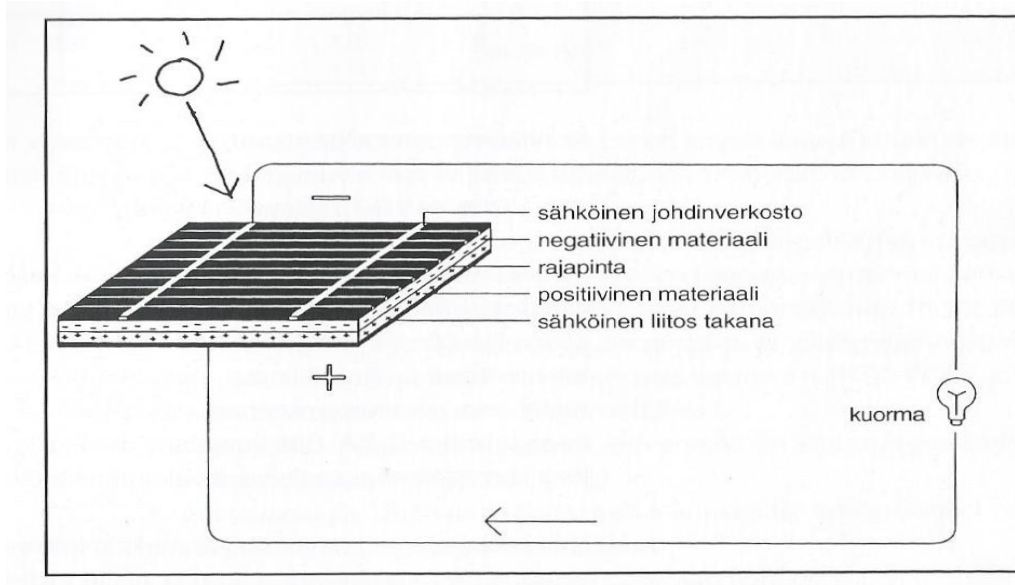
2.3 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, joita kytketään sarjaan riittävä määrä, jotta saataisiin muodostettua haluttu jännite, jolla voidaan varata esimerkiksi akkua. Yleensä vakiopaneelien ulostulevaksi syöttöjännitteeksi mitoitetaan 12 V tasajännitettä. Aurinkokennojen valmistuksessa käytetään yleisimmin piitä, joka on maankuoren toiseksi yleisin alkuaine heti hapen jälkeen. Sähköä tuottavassa kennossa (valo)fotoni osuu absorboivaan puolijohdteeseen, jossa syntyy varauksenkuljettaja elektrodeja. Nämä elektrodit kulkeutuvat puolijohderajapinnan yli toiselle puolijohdekerrokselle, josta muodostuu kennon sisäinen sähkökenttä kerrosten yli. Näin aikaansaatu sähkövirta johdetaan joko suoraan kulutuslaitteen käyttöön inverttereiden välityksellä tai sitten varattavaksi akkuihin.

(kts. seur. sivu kuva 2.2)

Aurinkokennot voidaan jakaa rakenteensa ja markkinoillaoluvuosien perusteella kolmeen eri ryhmään:

- Yksikidekennot, jotka ovat olleet markkinoilla pisimpään. Niiden hyötysuhde on hieman parempi kuin monikidekennoissa, mutta vastaavasti niiden valmistuksen hitaus ja monimutkaisuus tekee niistä hinnakkaampia kuin monikidekennot. Yksikidekennoista tehdyllä paneelilla on paras tuotto pilvisellä säällä ja se soveltuu mm. mökki, vene ja asuntoauto käyttöön.
- Monikidekennot ovat olleet markkinoilla jo myös pitkän aikaa. Ne häviävät yksikiteisille kennoille hieman hyötysuhteeltaan, joka ei kuitenkaan ole kuin muutaman prosentin luokkaa. Nämä kennot ovat teknisesti helpompia ja nopeampia valmistaa, joten niiden hinta on myös edullisin. Monikidekennoista valmistettuja aurinkopaneeleita käytetään poikkeuksitta suuremmissa aurinkosähköntuotantojärjestelmissä.
- Ohutkalvokennot ovat tulleet markkinoille viimeisimpänä ja niiden hyötysuhde on vielä tämän ryhmän pienin. Näiden kennojen etuna on kyky tuottaa sähköä hyvin huolimatta niihin kohdistuvasta varjostuksesta sekä ympäristön lämpötilasta. Toisaalta ne tarvitsevat enemmän tilaa kuin vastaavantehoiset jäykkärakenteiset kidekennopaneelit. Ohutkalvokennot soveltuvat taipuisan rakenteensa vuoksi käytettäväksi esim. asuntoautoissa sekä veneissä.

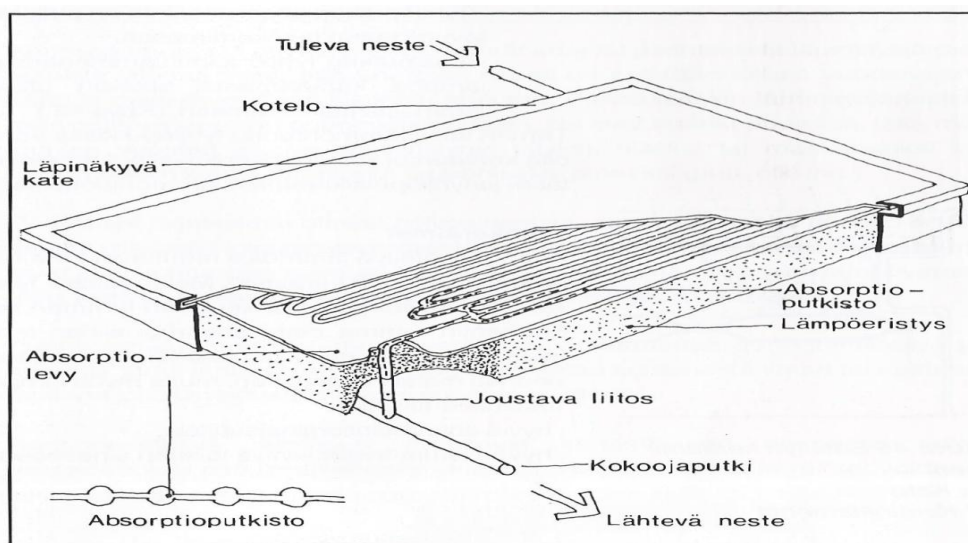


Kuva 2.2 Aurinkokennon toimintaperiaate ja rakenne (Erat ym. 2008, 121.)

2.4 Aurinkokeräimet

Talon katolle asennettu aurinkolämpökeräin sieppaa auringonsäteilyn energiaa ja sitoo sen lämmöksi keräimessä kiertävään nesteeseen tai joissain järjestelmissä ilmaan. Näin lämpöenergia voidaan kuljettaa väliaineen mukana joko varajaan tai suoraan kulutukseen.

Auringonsäteily lämmittää keräimen mustaa absorptiopintaa, joka sitoo itseensä energiaa ja kuumenee. Jotta lämmönsitovuus saadaan vielä tehokkaammaksi, absorptiopinnalla on selektiivinen pinnoite ja se on katettu karkaistulla lasilla tai muovilevyllä. Sekä pinnoite, että kate ottavat hyvin sisäänsä säteilyenergiaa auringonsäteilyn aallonpituuksilla, mutta estävät mustan absorptiolevyn lämpösäteilyä vuotamasta ulos. Kuumenneesta absorptiolevystä lämpö siirtyy keräimen sisällä olevissa ohuissa putkissa virtaavaan nesteeseen. (Motiva 2014, 6.) (kts. kuva 2.3)

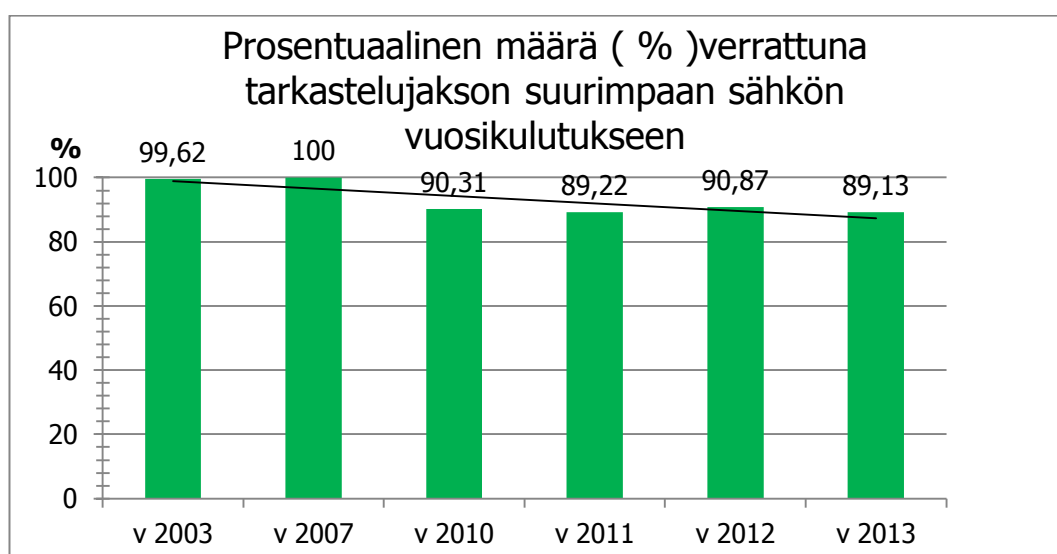


Kuva 2.3 Nestekerääjän toimintaperiaate ja rakenne (Erat 2008, 74.)

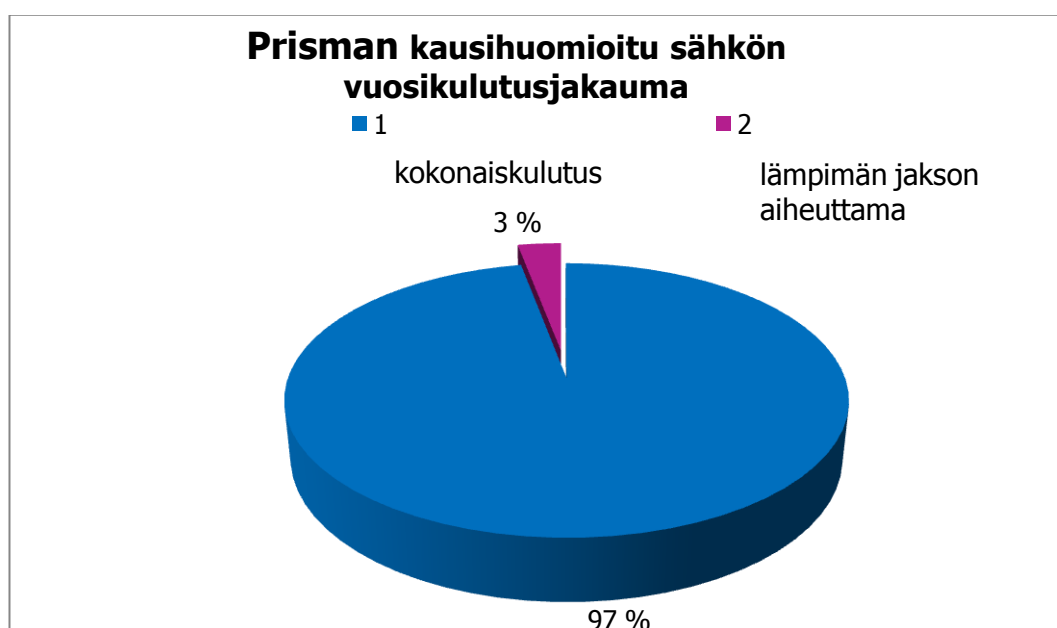
3 KIINTEISTÖSÄHKÖN KULUTUSTARKASTELU

3.1 Vuosikulutuksen tarkastelu

Kulutustarkastelussa oli tarkoituksena selvittää kohdekiinteistön vuosittaista, kuukausittaista sekä päivittäistä sähkön kulutusjakaamaa. Kerätystä datasta haluttiin selvittää, oliko kiinteistössä tapahtunut mitään normaalista poikkeavaa sähkönkulutuksen kasvua viimeisen kymmenen vuoden aikana (kts. kuva 3.1). Samoin selvitettiin, kuinka kulutus jakaantuu vuositasolla lämpimien sekä kylmien kuukausien välillä. Toisinsanoin, kuinka paljon kiinteistön sähkönkulutus kasvaa normaalista taustakulutuksesta esim. touko - elokuun välisenä aikana, vai tapahtuuko kulutuksessa juuri sen merkittävämpää muutosta. (kts. kuva 3.2)



Kuva 3.1 Prisma Savonlinna sähkön kulutuksen prosentuaalinen kehitys vuosina 2010 – 2013

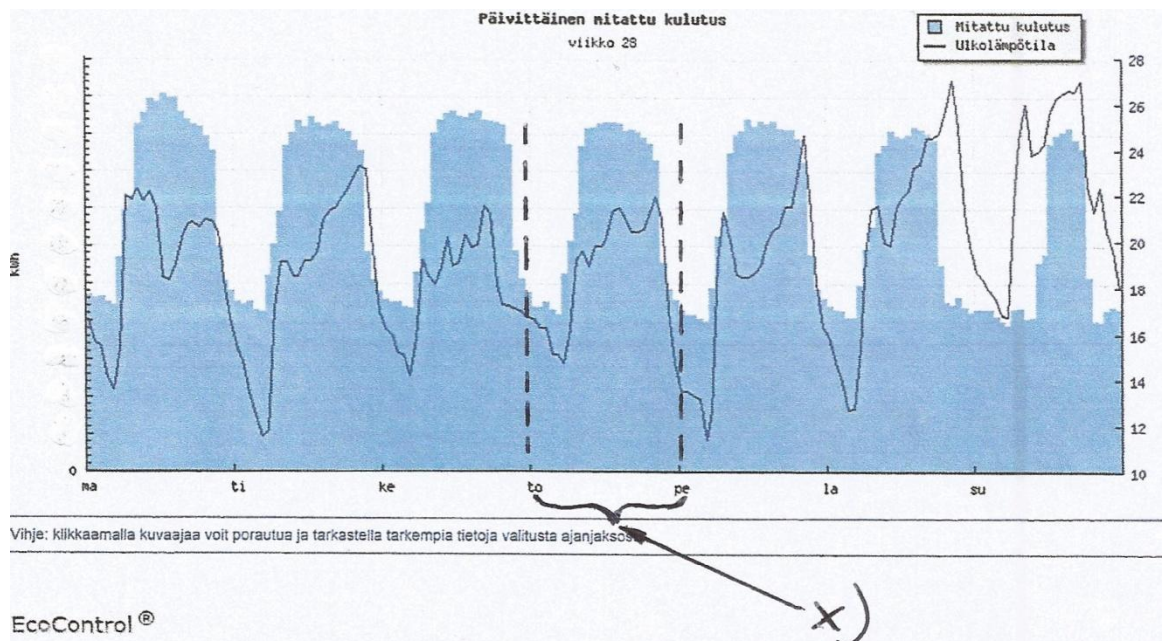


Kuva 3.2 Sähkön vuosikulutusjakaama huomioituna kausivaihteluilla

3.2 Vuorokausikulutuksen tarkastelu

Lisäksi tarkasteluun otettiin myös lämpimänjakson vuorokausikulutuksesta tuntijakauma, josta haluttiin selvittää kuinka selkeästi esimerkiksi kylmälaitteiden osuus tehonkulutuksesta olisi nähtävissä sähkönkulutusdiagrammeista (kts. kuvat 3.3 ja 3.4). Kulutusjakaumien teholliset arvot ovat eritelty tarkemmin **luottamuksellisissa liitteissä** 1, 2, 3 ja 4.

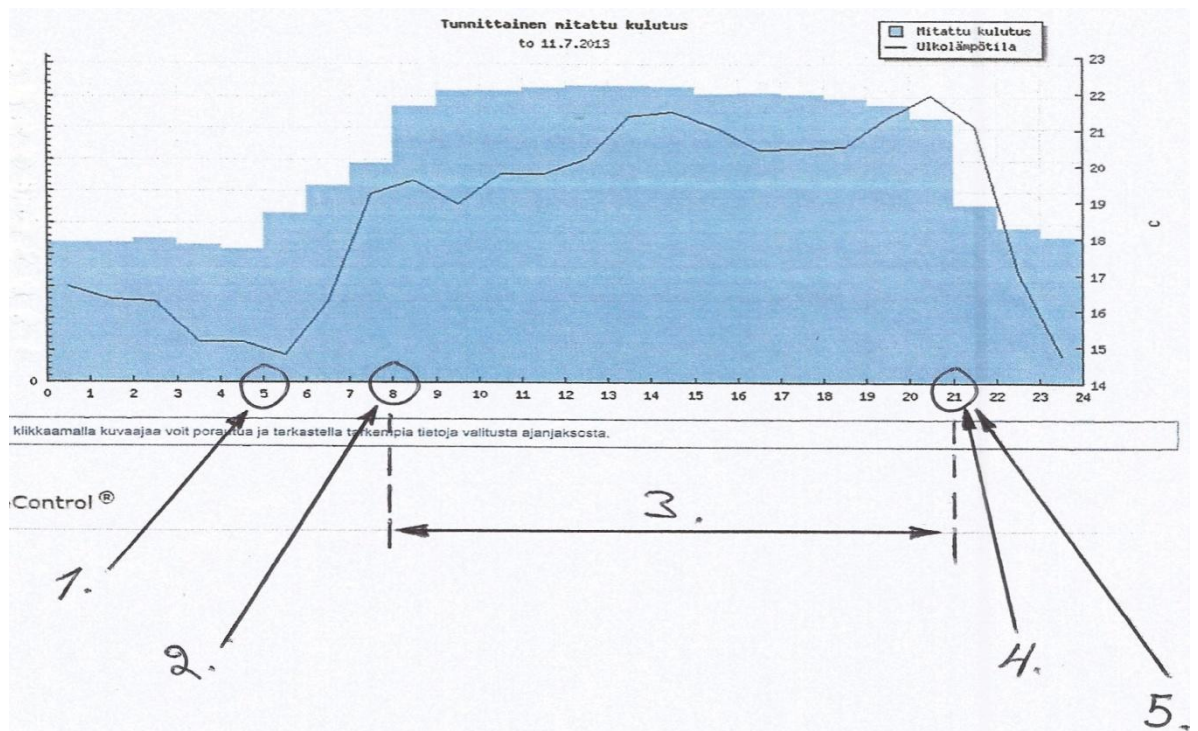
Tarkastelussa hyödynnettiin osaksi Suur-Savon Sähkö Oy:n Online-verkkopalvelua, jossa oli mahdollista saada asiakaskohtaista kulutustietoa valittujen parametrien puitteissa. Samoin hyödynnettiin kiinteistön aiempaa omaa energianmittausohjelmaa, joka oli myös käytössä nykyisen Online-verkkopalvelun rinnalla.



Kuva 3.3 Tarkastelujakso viikko 28:n kulutusraportista (Suur-Savon Sähkö Oy 2013, Online-palvelu.)

Yllä olevassa kuvassa 3.3 näkyy merkintä X), joka osoittaa kyseisen viikon vuorokautisen tarkastelujakson. Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 3.4 on havaittavissa tehonkulutuksen jakaantuminen ke-sävuorokauden aikana. Jaksosta ilmenee seuraavaa:

1. Kylmälaitteiden suojapeitteet nousevat ylös kello 05.00 ja osa valaistuksesta kytkeytyy päälle
2. Liike aukaistaan ja täysivalaistus sekä muut kulutuskojeet kytkeytyvät päälle kello 08.00.
3. Suurin kulutushuippu ajoittuu välille kello 08.00 – 21.00.
4. Kylmälaitteet peittyvät automatiikalla n. kello 21.10.
5. Automatiikka katkaisee pääosan valaistuksesta n. kello 21.20



Kuva 3.4 Tunnittainen tehonkulutus vuorokausiraportissa (Suur-Savon Sähkö Oy, Online-palvelu.)

Vuosikulutusjakauman selvitykseen valittiin ajanjakso vuosien 2003 – 2013 väliltä, koska selvityksen mukaan kyseinen aikaväli oli kaikista stabiilein ilman suurempia kiinteistön saneerauksia. Kiinteistössä oli vuonna 2002 toteutettu edellinen laajempi saneeraus ja vuonna 2014 syksyllä alkoi seuraava suurempi laajennusurakka, joka olisi vääristänyt normaalista sähkönkulutuksesta saatavaa dataa.

Selvitystyössä käytettiin hyväksi myös FLIR-lämpökameralla tuotettua kuvaa, jolla osaltaan pyrittiin tuomaan esille selvityskohteessa aiheutuvaa energiahävikkiä. Hävikki oli todettavissa tehonkulutuksen kasvuna kuvassa 3.4, jolloin kylmälaitteiden peitteet avautuivat ja sulkeutuivat. (kts. liitteet 5 ja 6 lämpökameran tutkimusraportit). Raporteista käy ilmi mm. lämpötilaerot samasta paikasta kuvattuna liikkeen ollessa avoinna ja suljettuna.

4 ENERGIAN TUOTTOTAVAN VALINTA

Kiinteistön sähkönkulutustarkastelussa havaittiin, että aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö olisi energiantuottotavaltaan tarkoituksenmukaisin Prismakiinteistön käyttöön. Aurinkokeräinten tuottamaa energiaa ei kannata toistaiseksi tarkastella, koska kiinteistö on kytketty kaukolämpöverkkoon ja sen kautta ostettu energia on vielä riittävän kilpailukykyistä.

4.1 Kiinteistösähkön jakaantuminen

Selvitystyö nojautui pitkälti kiinteistössä käytössä oleviin energianmittausohjelmiin sekä niistä saatuihin mittaustietoihin. Niiden perusteella kävi ilmi, että kylmälaitteiden osuus kiinteistön kokonaissähkönkulutuksesta on merkittävän suuri, keskimäärin noin 41 % vuodessa. Loput lähes 60 % kulutuksesta jakaantuvat mm. valaistuksen, ilmastoinnin, lämmityksen säätölaitteiden, kassajärjestelmien ja muiden toimilaitteiden kesken.

4.2 Tuottotavan määrittely

Koska aiemmassa kappaleessa jo mainittiin, niin aurinkoenergian tuottaminen lämmitykseen ei ole kohdekiinteistössä kannattavaa. On siis tarkasteltava tuottotapaa aurinkosähkön hyödyntämiseksi. Koska aurinkoenergian saanti vaihtelee suomessa vuodenaajoista johtuen siten, että keskitalvi, marras - tammikuu väli on tuotoltaan heikkotehoista ei tuotantojärjestelmää voida ajatella mitoitettavaksi niin, että siitä voisi tulla lähes omavarainen. Myöskään verkon ulkopuolinen Off-grid järjestelmä, jossa ylimääräistä tuotettua energiaa varastoidaan akkuihin ei tule kysymykseen tässä kohteessa sen kalleutensa sekä epäkäytännöllisyytensä johdosta. Kyseistä järjestelmää käytetään enimmäkseen vapaa-ajanasunnoissa.

Aurinkopaneeleilla toteutettu sähköntuotantojärjestelmä, joka on mitoitettu niin, että kiinteistö voi käyttää kaiken tuotetun energian omaan käyttöön on eri vaihtoehtoista hyödyllisin. Näin voidaan säästää sähkönjakeluyhtiöltä ostettua energiaa ja saada siten paras tuotto tehdylle investoinnille. Hinta oletuksena maksetusta sähköstä on 10 snt/kWh, joka pitää sisällään liittymän perusmaksun kuukaudessa, energiamaksun, siirtomaksun sekä sähköveron ja arvonlisä-veron.

Vastaavasti, jos tuotantojärjestelmä on mitoitettu yli oman tehonkulutuksen, joutuu ylijäämänsähkön myymään jakeluyhtiölle. Sähkøyhtiö maksaa siitä korkeintaan sen hinnan jolla se itse ostaa energian eteenpäin myytäväksi, jos edes sitäkään. Tällä hetkellä pohjoismaisen sähköpörssin tukkuhinta ns. spot-hinta on noin 3 snt/kWh. kts. nordpoolspot.com

4.3 Järjestelmän sijainti sekä ympäristö

Kun tarkastellaan aurinkotuotantojärjestelmän tuotantotapaa ja sen määrittelyä on syytä kiinnittää erityistä huomiota järjestelmän sijainnille. Sijainnista riippuu merkittävästi kuinka optimaalisen tehokkaasti järjestelmä pystyy tuottamaan sähköä ja siten nopeuttamaan takaisinmaksuaikaa siihen sijoitetulle pääomalle. Järjestelmä olisi tuottoisinta sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa maastossa olevat korkeuserot tai puusto sekä viereiset rakennukset eivät aiheuttaisi varjostumia aurinkopaneelisiin ja näin heikentäisivät sähköntuotantoa.

Aurinkopaneelien suositeltavin ilmansuunta asennuksille on väli itä - etelä - länsi. Parhaimman tuoton paneeleille antaa etelän suunta, mutta myös välille kaakko(- 45 ° itään) ja lounas (45 ° länteen) asennetut paneelit ovat myös hyvin tuottavia.

Mikäli käytettävissä on runsaasti kattopintaa, kuten on tarkastelun kohteena olevassa kiinteistössä, niin järjestelmä on taloudellisinta ja varmintä sijoittaa sinne. Näin paneelien asennuksille saada paremmat kallistuskulmat kuin seinäasennuksissa ja ne eivät vie ylimääräistä tilaa tontilta verrattuna siihen jos olisivat asennettuna maahan.

Maahan asennetut paneelit vievät enemmän tilaa kuin fyysisesti tarvitsevat, koska niille pitää rajata alue jossa ne toimivat ja niiden läheisyyteen ei voi rakentaa mitään korkeampia rakennelmia. Samoin katolle asennusta puoltaa myös vaaran väheneminen ilkivallasta.

5 AURINKOSÄHKÖVOIMALA

5.1 Voimalatyyppi ja asennustapa

Kuten edellä olevasta tarkastelusta voi havaita, niin On-grid järjestelmä on tarkoituksenmukaisin vaihtoehto aurinkosähkön tuottamiseksi kohdekiinteistön käyttöön. Tässä kohteessa aurinkopaneelien kiinnitys katolle on edullisinta suorittaa niin sanottuna kelluva-asennuksena, jossa paneelit kiinnitetään telineisiin ja telineet ankkuroidaan kattoon lisäpainojen avulla. Kelluva-asennuksen etuna on, että kattoon ei tehdä telineitä varten ankkuroinnin läpivientejä, joka osaltaan pienentää vesivaurion riskiä. Etuna on myös telineiden helppo siirrettävyys mahdollisten korjaustöiden tieltä. Alla kuvat kohteista, joissa on käytetty kelluvaa asennustapaa paneeleille. Ensimmäisessä kuvassa 5.1 tasakattotelineiden päälle rakennettu Suomen toiseksi suurin huipputeholtaan 323 kWp On-grid voimala Salossa. Toisessa kuvassa 5.2 (kts. seur. sivu) LUT kampukselle rakennettu 220 kWp On-grid voimala.



Kuva 5.1 Astrum liikekeskus Salo, Motiva 12.5.2014. (Areva Solar)

Aurinkopaneelien asennukset suositellaan ajoitettavaksi vanhemmissa kiinteistöissä heti katon kunnostustöiden jälkeen. Tämä siksi, jotta paneelientän alle jäisi mahdollisimman hyväkuntoinen kattorakenne, sillä paneelien oletettu käyttöikä liikkuu 25 – 30 vuoden välillä.

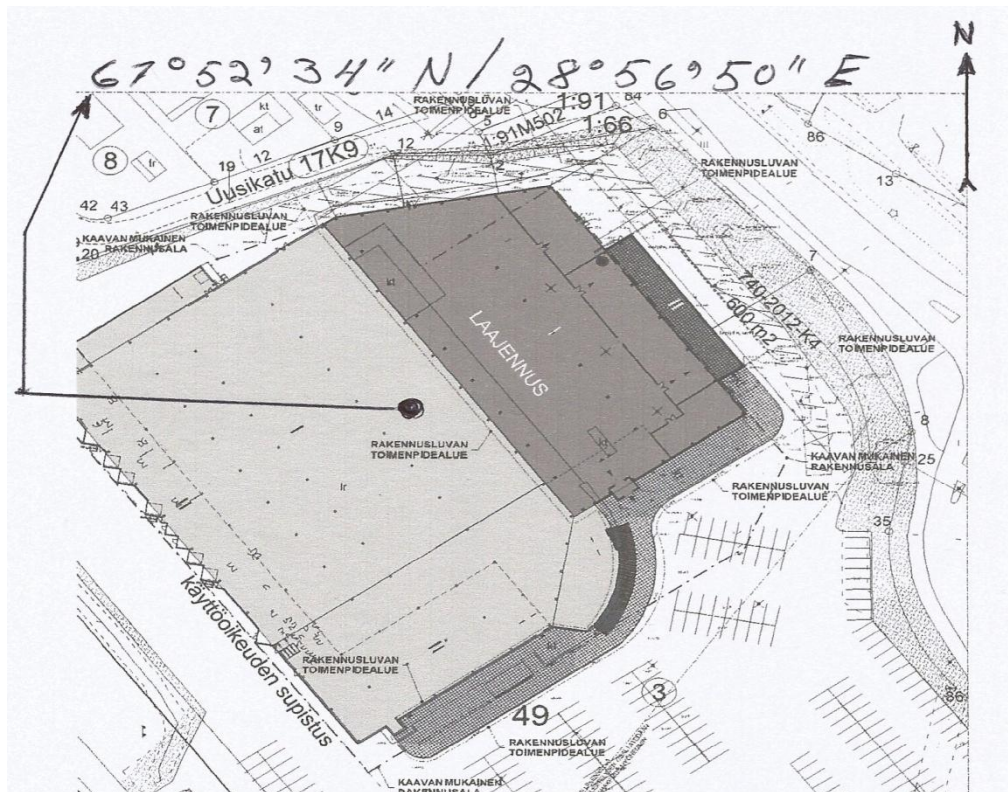


Kuva 5.2 LUT kampus Lappeenranta aurinkovoimala. (Linnamurto 7.4.2014)

5.2 Viranomaisluvut

Savonlinnan Prismassa on valmistunut toukokuun 2015 lopulla uusi 3400 kerrosneliön laajennusosa. Tämän laajennusosan katolla olisi aurinkosähkövoimalalle ideaalinen asennuspaikka. Asiaa puoltaa myös Savonlinnan rakennusvalvonnan viranomaisen kannanotto, jossa tiedusteltiin viraston vaatimuksia 50, 100 ja 200 kWp tehoisten voimaloiden rakentamiselle. Viraston silloinen rakennustarkastaja Sairanen (7.5.2014) totesi, jotta *”kyseiseen kiinteistöön on mahdollista rakentaa tiedustelun mukaiset aurinkovoimalaitosvaihtoehdot toimenpideluvan puitteissa, koska kyseessä on vanhempi rakennus”*. Kuitenkin hän painotti, että lupa on myönnettävissä vain uuden laajennusosan katolle ja seinämällisiä ratkaisuja ei voi puoltaa julkisivullisista sekä ilkivaltaa vältettävistä syistä.

Kuvassa 5.3 (*kts. seur. sivulla*) on asemapiirustus Prismasta ja sen laajennusosasta. Kuvaan on lisätty aurinkosähkön potentiaalista tarkastelua varten paikannuskoordinaatit sekä ilmansuunta. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 5.4 on näkyvillä suotuisa sijaintipaikka tarkasteltavalle aurinkosähköjärjestelmälle.



Kuva 5.3 Prisma Savonlinna asemapiirustus (Vasarainen 2015.)



Kuva 5.4 Näkymä Prisman katolta lounaaseen. (Linnamurto 25.5.2015)

5.3 Voimalan hankintatapa

Järjestelmältään aurinkosähkövoimala on varsin selkeä eikä ole tekniikaltaan kovin monimutkainen. Tämän johdosta monet pienvoimalat tilataan usein itse tai yhteistilauksena ja asennus tapahtuu omin avuin, ryhmässä tai työssä käytetään sähköurakoitsijaa.

Suuremmissa voimalahankkeissa on syytä tukeutua alan urakoitsijan ammattitaitoon, koska heiltä saa paljon hyödyllistä ennakkotietoa hankkeeseen liittyen kuten esimerkiksi:

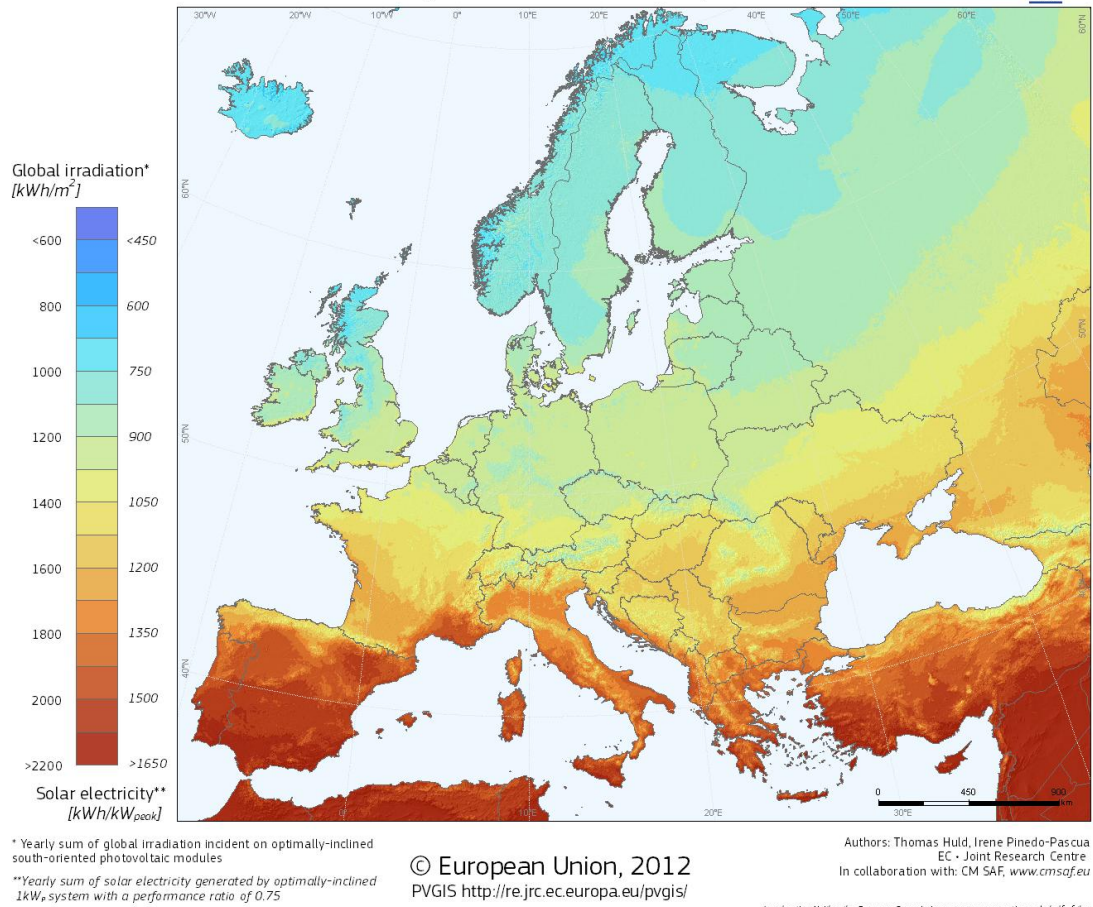
- energiatarpeen mitoituksesta
- aurinkosäteilyn saatavuudesta
- soveltuvista ja käytettävistä järjestelmistä
- energiantuottoennusteista jne.

Aivan kuten muussakin rakentamisessa, niin suuremmissa aurinkosähköjärjestelmissä kannattaa hankkeelle ottaa valvoja, joka katsoo asiakkaan puolesta, että sovittuja ehtoja noudatetaan ja että toimitaan tilaajan etujen mukaisesti. Alan valvojalta saa myös hyödyllisiä neuvoja viimehetken tekniikasta, kannattavuustarkastelusta sekä sopimus- ja takuukäytännöstä. Neuvoja kannattaa kysyä myös mm. Aurinkoteknisestä Yhdistyksestä.

Tässä lopputyössä on otettu tarkasteluun pakettiratkaisu, jossa alan urakoitsijoille on annettu yhdenmukaiset tiedot suunniteltavasta kohteesta ja heiltä on pyydetty antamaan kustannusarvio kolmesta eri voimalavaihtoehdosta avaimet käteen -periaatteella.

Kuvasta 5.3 (kts. seur. sivulla) käy selville Suomessa saatavissa oleva aurinkoenergian potentiaali, joka on samaa suuruus luokkaa kuin Pohjois- Saksassa. Suomessa ja esimerkiksi Savonlinnassa aurinkosähkön tuottoa lisää etenkin se, että kaupunki sijaitsee suurten järvien keskellä, joiden vaikutuksesta tuulet puhaltavat varjostavia pilvejä pois alueelta. Samoin tuottoa tasaa esim. Saksaan nähden valoisat kesävuorokaudet sekä viileä ilmasto, joka parantaa aurinkopaneeleiden suorituskykyä.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuva 5.3 Aurinkosäteily ja aurinkosähkön tuotantopotentiaali Euroopan maissa (Huld, Pinedo-Pascua 2012.)

6 VOIMALAN KOKOLUOKKA JA KUSTANNUSARVIOT

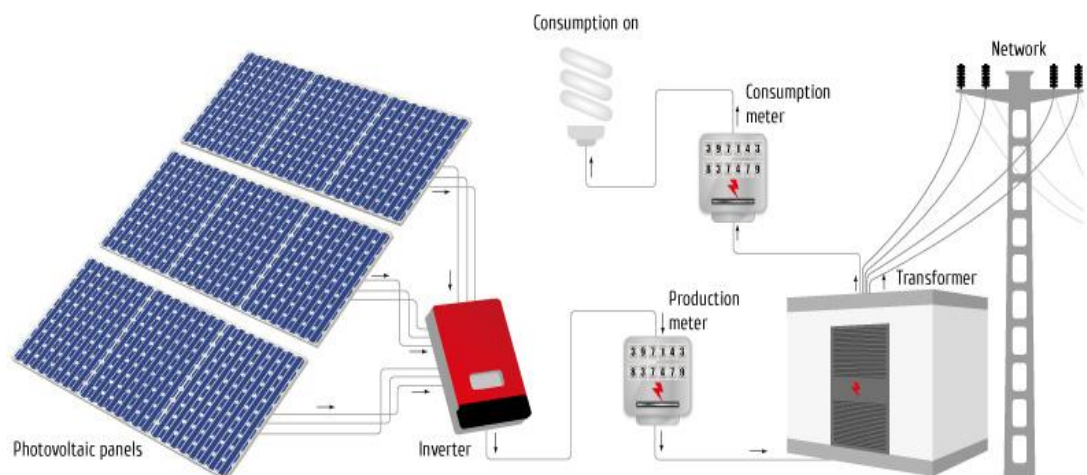
6.1 Suoritustehon määrittely

Kuten aiemmin kappaleessa 4.2 mainittiin, niin verkkoon kytketty aurinkovoimala kannattaa mitoittaa siten, että kaikki sen tuottama energia käytetään omassa kulutuksessa. Tällöin tuotetulle energialle saadaan paras hinta kilowattitunnilta (snt/kWh). Suoritustehoa määriteltäessä kannattaa tarkastella saatavilla olevia tilastoja rakennuksen sähkönkulutusjakaumasta.

Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että selvitetään rakennuksen keskimääräinen pohjakulutus päiväsaikaan kW / tunti(h) vähintään vuoden ajalta. Tämän jälkeen mitoitetaan voimalan nimellisteho (paneelien yhteenlaskettu teho kWp) niin, että se on enintään yllä mainitun pienimmän jatkuvan tehon suuruinen.

Luonnollisesti järjestelmän mitoituksessa kannattaa huomioida myös mahdollinen laajentamisen tarve tulevaisuudessa. Lisäksi kannattaa huomioida mahdollinen tuleva rakentaminen sekä ympärillä olevan puuston kasvu.

Tässä selvitystyössä päädyttiin tarkastelemaan kolmen nimellisteholtaan erikokoisen voimalan kustannusrakennetta. Järjestelmien kokovaihtoehdot olivat 50 kWp, 100 kWp ja 200 kWp. kts. kuva 6.1



Kuva 6.1 Periaatekuva verkkoonkytketystä aurinkosähköjärjestelmästä (STS Solar SC 2015.)

6.2 Järjestelmän hankintakustannus

Järjestelmävaatimuksista laadittiin yhdenmukainen budjettiarviopyyntö, jonka perusteella alan yrityksiltä pyydettiin kustannusarvio/budjettitarjous kyseisistä voimalavaihtoehdoista erittelyjen mukaisesti.

Erittelyissä mainittiin voimalakartoituksen liittyvän aikuisopintojen lopputyöhön jonka hankesuunnittelijana ja yhteyshenkilönä allekirjoittanut toimi. Erittelyissä ei tuotu esille millään tavalla selvitystyön toimeksiantajaa ja toimituskohteen sijaintitiedoksi mainittiin Etelä-Savo.

Budjettitarjouspyynnössä mainittiin mm. seuraavat erittelyt:

- rakennuksen sijainti (kts. yo.)
- katon loivuus
- Kattomateriaali
- aurinkopaneeleiden kiinnitystapa
- katon mitat sekä pinta-ala
- katon reunan korkeus maasta sekä maininta nostokaluston esteettä pääsystä kohteelle
- asennuspaikan ilmansuunta
- vaihtosuuntaajien sekä sähköpääkeskuksen sijainti
- järjestelmän kaapelointimatka sähköpääkeskukselle
- järjestelmän kokovaihtoehdot
- paneelien toivottu kallistuskulma (min. – max)
- lopuksi maininta asennuspaikan esteettömyydestä ilman varjostumia

Lisäksi budjettitarjouksessa pyydettiin huomioimaan seuraavaa:

Avaimetkäteen-toimitus ja hinta sis. alv 24 %; Kohteen lisätietojen kartoitus omaan laskuun; Lupaasioiden hoitaminen; Toimitus ja asennustyöt, Energiamittauksen etäluettavuus; Käyttöönottotarkastus ja dokumentointi tilaajalle sekä viranomaisille.

Budjettitarjouspyyntöjä lähetettiin alan toimijoille 9 kappaletta, joista vastauksia realisoitui varteenotettaviksi kustannusarvioiksi 3 kappaletta (kts. Taulukko 6.2).

Taulukko 6.2 Budjettitarjoukset aurinkovoimalan eri kokoluokista avaimet käteen-toimituksena (Linnamurto 26.5.2015)

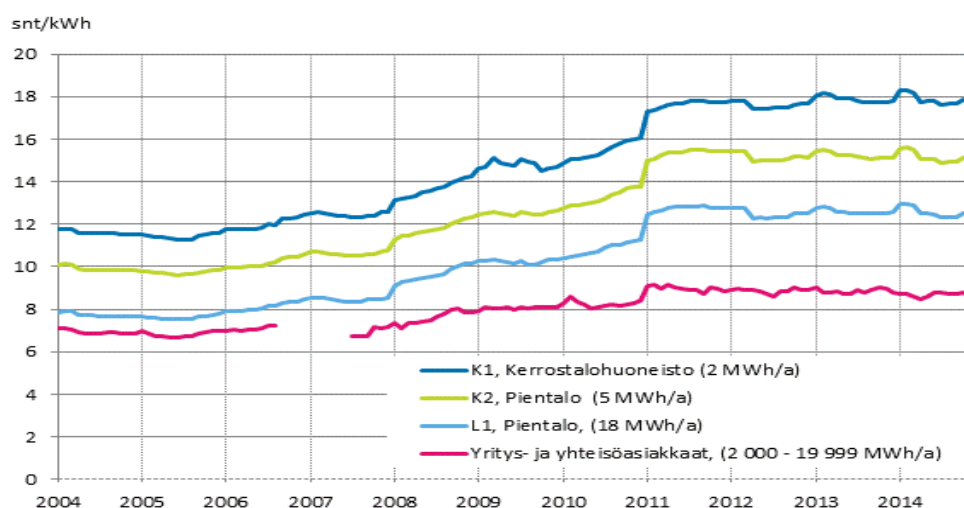
Voimalan nimellisteho (kWp)	YRITYS A kokonaishinta sis. alv 24 %	YRITYS B kokonaishinta sis. alv 24 %	YRITYS C kokonaishinta sis. alv 24 %
50	79 732 €	87 420 €	117 800 €
100	150 598 €	169 880 €	198 400 €
200	293 632 €	329 840 €	396 800 €
hinta sis. alv 24 % €/W (50), (100), (200)	(1,59), (1,51), (1,47)	(1,75), (1,70), (1,65)	(2,36), (1,98), (1,98)

7 TALOUDELLINEN TARKASTELU

7.1 Energian hinnan kehitys ja näkymät

Vaikka sähkön hinta on Suomessa verrattain edullista eurooppalaisittain, niin se on jatkanut kuitenkin tasaisesti kasvua aina vuodesta 2005 lähtien (kts. Taulukko 7.1). Vasta vuonna 2012 hintakehitys tasaantui ja vuonna 2014 hinta tuli hivenen alaspäin johtuen kansainvälisistä kriiseistä ja niiden vaikutuksesta johtuvasta öljynhinnan laskusta. On oletettavaa, jotta valtion nykyisessä taloudellisessa ahdingossa, jossa kaivataan kiipeästi lisätuloja tullaan myös näkemään puuttumista sähkönhinnanmuuttujiin, kuten esimerkiksi kanta- ja jakeluverkon siirto- ja myyntikuluihin sekä sähköveroon tai sen arvonlisäveroon. Siinä vaiheessa, kun öljyn hinta lähtee taas selkeään nousuun on myös sähkönhinta ja muut energiat seuranneet tunnetusti perässä.

Taulukko 7.1 Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin (Tilastokeskus 2015)



7.2 Järjestelmän tuottoennuste

Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotantoarvion voi laskea Euroopan Unionin ylläpitämällä aurinkosähkölaskurilla jota kutsutaan lyhenteellä PVGIS. Lyhenne muodostuu sanoista Photovoltaic Geographical Information System. Laskuri perustuu pitkäaikaiseen satelliittien mittaukseen lämpötilatilastoista ja aurinkosäteilyn tehosta. Laskuriin voi syöttää maksimissaan 20 kW tehoisen aurinkopaneelijärjestelmän josta se vielä laskee sähköntuotantoarvot.

Seuraavalla sivulla oleva taulukko 7.2 kertoo tuotantoarvot 1 kWp tehoiselle aurinkopaneelijärjestelmälle, joka on suunnattu etelään ja on kallistettu 25^o asteen asennuskulmaan. Paneelien ollessa suunnattu lounaaseen samalla kallistuskulmalla syntyy järjestelmän tehontuotannossa n. 3,8 %:n alenema.

Vastaavasti, jos aurinkopaneelien määrää kasvatetaan siten, että kokonaisteho kasvaa kymmenkertaiseksi (10 kWp) kasvaa myös samassa suhteessa järjestelmän tuottama sähköntuotanto, joka on vuoden lopussa noin 8170 kWh. Luonnollisesti viimeisessä sarakkeessa oleva auringon säteilyenergianmäärä ei muutu mihinkään, vaan pysyy vakiona.

Taulukko 7.2 Aurinkosähkön keskimääräiset tuotantotehot Prisman alueella 1 kWp tehoisen voimalan mukaan arvioituna (Huld, Dunlop 2014.)

Fixed system: inclination=25°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.45	13.8	0.52	16.0
Feb	1.38	38.5	1.57	44.0
Mar	2.26	70.2	2.69	83.5
Apr	3.61	108	4.54	136
May	4.27	132	5.66	176
Jun	4.17	125	5.67	170
Jul	4.13	128	5.69	176
Aug	3.04	94.3	4.08	126
Sep	1.93	57.9	2.48	74.3
Oct	1.00	31.0	1.23	38.1
Nov	0.35	10.4	0.41	12.4
Dec	0.23	6.98	0.27	8.22
Yearly average	2.24	68.1	2.91	88.5
Total for year		817		1060

E_d : Keskimääräinen sähköntuotantopotentiaali päivässä (kWh)

E_m : Keskimääräinen sähköntuotantopotentiaali kuukaudessa (kWh)

H_d : Keskimääräinen auringon säteilyenergia päivässä (kWh/m²)

H_m : Keskimääräinen auringon säteilyenergia kuukaudessa (kWh/m²)

Edellisen johdosta voimme päätellä, että tarkastelun alla olevissa aurinkosähköjärjestelmissä sähkön vuosituotot toteutuvat seuraavasti:

- Nimellisteholtaan 50 kWp voimalan realistinen vuosituotto-odotus on 40 850 kWh/v
- Vastaavasti nimellisteholtaan 100 kWp voimalan tuotto-odotus on n. 81 170 kWh/v
- Ja voimala, jonka huipputeho on 200 kWp voidaan olettaa tuottavan n. 163 400 kWh/v

Lasketaan manuaalisesti ja verrataan aurinkosähkövoimalan tuottoennuste laskurin antamiin arvoihin. Otetaan laskuesimerkiksi 50 kWp voimala.

Perustiedot:

- Kiinteistö sijaitsee Savonlinnassa
- Aurinkokennojen kokonaispinta-ala saadaan laskemalla yhden paneelin pa, joka on 1 x 1.65 m keskimäärin. Yksi paneeli 1.65 m² on yleensä = 250 W, joten 50 000W / 250 W x 1.65 m² = 330 m²
- Paneelien suuntaus on etelä ja kallistuskulma 25 °, josta saadaan 1 kWp mukaan = 817 kWh
- Huipputehokerroin K_{max} on monikidepiikennolle nykyään n. 0.16 kW/m², joka vastaa 15 % hyötysuhdetta referenssisäteilyn 1 kW/m² tilanteessa
- Paneelit on asennettu katolle, jossa ne ovat varsin hyvin tuuletettuja, joten käyttötilanteen toimivuuskertoimeksi F_{käyttö}[-] voidaan hyväksyä 0.80
- Referenssisäteilytilanne [1 kW/m²]

Laskenta:

Taulukko 7.2 mukaan Savonlinnassa kohdistuu auringonsäteily vaakapinnalle kokonaisenergian määrältään vuodessa E_{sol,hor} = 817 kWh/m² /v

Maksimitehokerroin referenssisäteilytilanteessa on P_{max} = K_{max} x A = 0.16 kW/m² x 330 m² = 52.80 kW

Tulos:

Normaalisti laskettuna vuotuiseksi sähköntuotoksi saadaan

$$E_{s,pv,out} = E_{sol,hor} \times P_{max} \times F_{käyttö} / I_{ref} = 817 \text{ kWh/m}^2/\text{v} \times 52.80 \text{ kW} \times 0.80 / 1 \text{ kW/m}^2 = \underline{34\,510.10 \text{ kWh/v}}$$

Edellä saatu tulos on laskettu ympäristöministeriön verkkojulkaisusta saadun ohjeistuksen mukaan.

Samalla kaavalla laskettaessa muodostuu 100 kWp ja 200kWp voimaloille vuosittainen sähköntuotto seuraavanlaisiksi.

$$100 \text{ kWp} = \underline{69\,020,16 \text{ kWh/v}} \quad \text{sekä} \quad 200 \text{ kWp} = \underline{138\,040,32 \text{ kWh/v}}$$

Mikäli laskelmista jätettäisiin huomioimatta käyttötilanteen toimivuuskerroin F_{käyttö}[-] 0.80, niin tulokset olisivat lähes yhdenmukaiset muiden toimittajien ja laskureiden vuosituottolaskelmien mukaan. (Heimonen, YM 2012.)

7.3 Kannattavuustarkastelu

Tässä kappaleessa käydään läpi saatujen budjettitarjousten osalta aurinkosähkövoimalan kannattavuutta. Investointimahdollisuutta tarkastellaan nykyarvomenetelmän sekä investoinnin takaisinmaksumenetelmän keinoin. Tarkastelussa ei tuoda esille julkisesti hinta-arvioita antaneiden yritysten tietoja. Kustannustarkastelussa haluttiin selvittää, mikä on nykyinen aurinkosähköjärjestelmän hintataso pakettiratkaisuna sekä millainen on nykyisten järjestelmien suorituskyky.

Viimeisten viiden vuoden aikana hintakehitys aurinkopaneeleissa on ollut erittäin lupaava ajatellen niiden yleistymistä. Paneeleiden hinta on pudonnut viidessä vuodessa yli 50 % ja se on saanut yksityistaloudet sekä yritykset että julkisen sektorin suhtautumaan omaan sähköntuotantoon entistä myönteisemmin. Osaltaan kiinnostukseen on myös vaikuttanut tekniikan selkeä parantuminen, suorituskyvyn kasvu ja uusien toisiin tehontuottolaitteisiin integroitavat järjestelmät.

7.3.1 Nykyarvomenetelmä

Taulukoista 7.3 – 7.5 (kts. seur. sivu) näemme nykyarvomenetelmällä tarkasteltuja investointikustannuksia. *”Nykyarvomenetelmässä kaikki tuotot ja kustannukset diskontataan hankintahetkeen eli investointiajan alkuun valitun laskentakorkokannan mukaa. Investointi on käytetyn korkokannan mukaan kannattava, jos tuottojen nykyarvo (alkuarvo) on suurempi tai yhtä suuri kuin kustannusten nykyarvo”. (Karjalainen 2012, 299.)*

Taulukko 7.3 Aurinkosähkön kannattavuustarkastelu (Linnamurto.)

50 kW_p AURINKOVOIMALAINVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN TARKASTELU

Investointiajanjakso	25	vuotta
Laskentakorkokanta	4	%
Investointiavustus TEM	30	%
Hankintakustannukset	79732	€
Sähköhinta	-0,1	/kWh
Sähkön vuosituotantoarvio	40 850	kWh/v

		Nykyarvo
Hankintakustannukset - investointituki	55 812,40 €	55 812,40 €
Vuotuiset kustannukset (huolto/ylläpito)	-500	20,00 €
Vuotuiset tuotot	-4085	163,40 €
Jäännösarvo	-5000	200,00 €

Tuottojen nykyarvo		363,40 €
Kustannusten nykyarvo		183,40 €
Erotus		180,00 €

Joten investointi on kannattava

Taulukko 7.4 Aurinkosähkön kannattavuustarkastelu (Linnamurto.)

100 kWp AURINKOVOIMALAINVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN TARKASTELU

Investointiajanjakso	25	vuotta
Laskentakorkokanta	4	%
Investointiavustus TEM	30	%
Hankintakustannukset	150598	€
Sähköhinta	-0,1	/kWh
Sähkön vuosituotantoarvio	81 170	kWh/v

		Nykyarvo
Hankintakustannukset - investointituki	105 418,60 €	105 418,60 €
Vuotuiset kustannukset (huolto/ylläpito)	-500	20,00 €
	-8117	324,68 €
Jäännösarvo	-5000	200,00 €

Tuottojen nykyarvo		524,68 €
Kustannusten nykyarvo		344,68 €
Erotus		180,00 €

Joten investointi on kannattava

7.5 Aurinkosähkön kannattavuustarkastelu (Linnamurto.)

200 kW_p AURINKOVOIMALAINVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN TARKASTELU

Investointiajanjakso	25	vuotta
Laskentakorkokanta	4	%
Investointiavustus TEM	30	%
Hankintakustannukset	293 632	€
Sähköhinta	-0,1	/kWh
Sähkön vuosituotantoarvio	163 400	kWh/v

		Nykyarvo
Hankintakustannukset-investointituki	20 554,24 €	20 554,24 €
Vuotuiset kustannukset (huolto/ylläpito)	-500	20,00 €
Vuotuiset tuotot	-16340	653,60 €
Jäännösarvo	-5000	200,00 €

Tuottojen nykyarvo		853,60 €
Kustannusten nykyarvo		673,60 €
Erotus		180,00 €

Joten investointi on kannattava

7.3.2 Investoinnin takaisinmaksu

Alla olevissa laskelmissa näemme takaisinmaksuajan menetelmällä tarkasteltuja investointikustannuksia.
”Menetelmän avulla määritellään aika, jonka kuluttua investoinnista saavat nettotuotot ovat yhtä suuret kuin investointikustannukset. Investointia pidetään sitä parempana, mitä lyhyempi tämä aika on”. (Pulkkinen, Ho-lopainen2006, 170.)

INVESTOINNIN TAKAISINMAKSUAJAN TARKASTELO 50 kWp VOIMALALLE**Investoinnin lähtöarvot**

Laskentakorko	4 %
Pitoaika (vuosina)	25 v
Jäännösarvo	5000 €
Investointimeno	79 732,00 €
Investointituki	23919,60 €
Nettotuotto / Vuosi	4085,00 €
Tuettu investointi	55 812,40 €
Maksuerä / vuosi	2232,50 €

Korkojaksojen lukumäärä 1,04 vuodessa

Sijoitetun pääoman takaisinmaksuaika 13,66 vuotta

Pääoman tuottoaste / ROI 7,32 %

INVESTOINNIN TAKAISINMAKSUAJAN TARKASTELU 100 kWp VOIMALALLE**Investoinnin lähtöarvot**

Laskentakorko	4 %
Pitoaika (vuosina)	25 v
Jäännösarvo	5000 €
Investointimeno	150 598,00 €
Investointituki	45179,40 €
Nettotuotto / Vuosi	8117,00 €
Tuettu investointi	105 418,60 €
Maksuerä / vuosi	4216,74 €

Korkojaksojen lukumäärä 1,04 vuodessa

Sijoitetun pääoman takaisinmaksuaika 12,99 vuotta

Pääoman tuottoaste / ROI 7,70 %

INVESTOINNIN TAKAISINMAKSUAJAN TARKASTELU 200 kWp VOIMALALLE**Investoinnin lähtöarvot**

Laskentakorko	4 %
Pitoaika (vuosina)	25 €
Jäännösarvo	5000 €
Investointimeno	293 632,00 €
Investointituki	88089,60 €
Nettotuotto / Vuosi	16340,00 €
Tuettu investointi	205 542,40 €
Maksuerä / vuosi	8221,70 €

Korkojaksojen lukumäärä 1,04 vuodessa

Sijoitetun pääoman takaisinmaksuaika 12,58 vuotta

Pääoman tuottoaste / ROI 7,95 %

8 KEHITYSNÄKYMÄ

Selvitystyön aikana on käynyt ilmi entistä selvemmin, että kehitys tulee kulkemaan yhä kiihtyvämällä tahdilla kohti uusioenergian hyödyntämistä. Vaikka meillä tällä hetkellä on polttoaine hieman halventunut, niin tuskin se tulee olemaan mikään kovin pitkäaikainen ilmiö. Kuten kappaleessa 7.1 todettiin tulee valtion veropolitiikka osaltaan pitämään huolen siitä, että yritykset sekä yksityistaloudet suosivat entistä enemmän vaihtoehtoisia energiamuotoja. Mutta kyllä valtio myös edistää uuden teknologian käyttöönottoa. Siitä on hyvänä esimerkkinä TEM:n (Työ- ja elinkeinoministeriö) myöntämä Investointituki, jonka suuruus voi olla 30 % investointeihin, jotka tehdään uusiutuviin energiatekniikoihin.

Päivittäistavarakaupan alalla on jo jonkin aikaan tehnyt tuloaan verkkokauppa. Tämän tyyppinen kaupankäynti lisää luonnollisesti kaupoissa kylmäsäilytystilojen tarvetta. Silloin joudutaan pohtimaan, olisiko hyödyllistä ottaa käyttöön kaupan kattopinta-alat joissa voisi tuottaa energiaa omaan tarpeeseen. Sähkön käyttö tulee lisääntymään sillä autokantaan alkaa pikkuhiljaa ilmestyä sähkö -/hybridiautoja, jotka tarvitsevat latauspisteitä toimiakseen. Tulevaisuudessa niitä tulevat kysymään niin asiakkaat kuin henkilökuntakin. Myös vetyautot eli polttokennoautot ovat lisääntymään päin sillä ne ovat otettu kaikkein tärkeimmäksi kehitysuunnaksi Japanin autoteollisuudessa. Myös nämä ajoneuvot lisäävät sähkön käyttöä, sillä niiden tarvitsema vety voidaan erotella vedestä juuri sähkön avulla.

Jos oikein visioidaan, niin kattopaneeleilla tuotetulla ylijäämä sähköllä voitaisiin laittaa pystyyn vedyn pien-
tuotantolaitos, jolloin voitaisiin varastoida aurinkoenergiaa paljon tehokkaammin kuin akkuihin. Edellä mainittu satsaus olisi urauurtavaa toimintaa ja toisi niin imagollisesti kuin julkisestikin runsaasti markkina-arvoa. Tästä on esimerkkinä Woikoski Oy:n omaan käyttöön hankkima vetyauto, joita ei liene löytyvän Suomesta vielä kovin montaa kappaletta.

JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tämän lopputyön aikana oli tarkoitus selvittää Savonlinnan Prisman sähkönkulutustiedoista, että nouseeko kyseisen kiinteistön sähkönkulutus merkittävästi kesällä touko – elokuun välisenä aikana. Samalla oli tarkoitus selvittää millainen osuus kylmälaitteilla on kulutuksen kasvussa. Edelleen tarkoituksena oli selvittää aurinkosähkön hyötykäyttömahdollisuus juuri samaan aikaan, kun sitä eniten kulutetaan.

Kiinteistön sähkönkulutusjakaumaa selvitettiin yli kymmenen vuoden ajalta. Tähän tarkoitukseen valittiin sopivan stabiili ajankohta, jolloin kiinteistössä ei suoritettu suuria remontteja vaan ne olivat tehty juuri aiemmin tai ne olivat vasta tulossa.

Kun kulutustietoja seurattiin ja laskettiin mm. viimeisen 4 vuoden jaksolta ennen Prisman laajennusta, havaittiin hieman odotuksen vastaisesti, jotta kylmälaitteet eivät aiheutakaan selkeästi huomattavaa kulutuskasvua kiinteistön kokonaistehonkulutuksessa. Tosin kylmälaitteiden osuus koko kiinteistön kulutuksessa oli keskimäärin luokkaa 41 %, mutta se jakaantui vuoden ajalle yllättävän tasaisesti. Tämä kertoo siitä, että rakennuksen lämmöntalteenotto, ilmastointi ja lämmitys ovat hyvin optimoitu. Samalla se kertoo myös rakennuksen eristyksestä, joka on ilmeisen hyvä sillä rakennuksen lämpötasapaino tuntuu olevan balanssissa eikä kylmää tai lämmintä pääse harakoille. Jokatapauksessa entisten avonaisten kylmähylyjen kohdalla lämpökameralla tuotettu raportti (Liitteet 5 ja 6) osoittaa selkeästi jäädytysilman karkaamisesta myymälätilaan. Kyseinen ongelma on poistunut uusien kylmälaitteiden käyttöönoton jälkeen.

Kiinteistön sähkönkulutustarkastelussa laskettiin kylmänvuodenajan keskiarvo sekä lämpimänjakson keskiarvo. Näitä tuloksia verrattiin keskenään ja huomattiin, että vaikka kylmän ajan keskiarvolla olisi menty koko vuosi niin kulutus ei olisi juuri tippunut merkittävästi. Tämä osoittaa sen samoin kuin tulokset, että kylmälaitteista ei aiheudu merkittävää kulutusheilahdusta vuoden kokonaiskulutukseen.

Tämän lisäksi lopputyössä selvitettiin verkkoonkytketyn aurinkosähkön tuottamista Prisman kiinteistössä, sekä siihen liittyvien kokonaisinvestointien taloudellisuutta. Tämä selvitys osoitti aurinkosähköntuottamisen olevan suunnilleen plusmiinus nolla tällä hetkellä. Järjestelmästä ei synny voittoa erityisesti, mutta investoituen kanssa siitä ei synny tappiotakaan. Eri asia on, miten suuri imagollinen vaikutus sillä on asiakkaisiin vihreän energian ja hiilijalanjäljen johdosta.

LÄHTEET

Julkaistut aineistot

Karjalainen, Leila 2012. Liiketalouden matematiikka. Toinen, uudistettu painos. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy. ISBN 978-952-9776-34-4. 298 – 309.

Pulkkinen, Pekka, Holopainen, Martti 2006. Talous- ja rahoitusmatematiikka. 4, uudistettu painos. Porvoo. Oppimateriaalit Oy. ISBN 951-0-31299-1. 174 – 188.

ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, Peltola, Seppo, & SUOKIVI, Hannu 2008. Aurinko-opas, Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo. Painoyhtymä Oy. ISBN 978-952-92-2721-1.

Verkkojulkaisut

Heimonen, Ismo 2012. Aurinko-opas. Ympäristöministeriön opas aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien laskentaan. [verkkojulkaisu] 20 – 22, 31 – 32. [viitattu: 26.5.2015]. Saatavissa:

https://www.google.fi/?gws_rd=ssl#q=Aurinko+Laskentaopas+2012+Ymp%C3%A4rist%C3%B6ministeri%C3%B6

Huld, Thomas, Dunlop, Ewan 2014. Euroopan Unionin Yhteinen Tutkimuskeskus. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalilaskuri. [verkkojulkaisu] [viitattu: 26.5.2015]. Saatavissa:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php>

Huld, Thomas, Pinedo-Pascua, Irene 2012. Euroopan Unionin Yhteinen Tutkimuskeskus. Aurinkosäteilyn ja aurinkosähkön tuotantopotentiaali Euroopan maissa. [verkkojulkaisu] [viitattu: 25.5.2015]. Saatavissa:

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png

Motiva 12.5.2014. Kuva Areva Solar. Astrum liikekeskus, Salo [viitattu: 21.5.2015]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/8961/520/Astrum-keskus_aurinkopaneelit_katolla.jpg

Motiva 2014. Auringosta lämpöä ja sähköä 2014 [viitattu: 9.5.2015]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.1027.shtml

Nord Pool Spot sähkömarkkinoiden verkkosivu [viitattu: 21.5.2015]. Saatavissa:

<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/FI/Daily/?view=table>

Osuuskauppa Suur-Savo kotisivut [viitattu: 8.5.2015]. Saatavissa:

<https://www.s-kanava.fi/web/s/suur-savo/>

S-ryhmän kotisivut [viitattu: 8.5.2015]. Saatavissa:

https://www.s-kanava.fi/uutinen/prisma-savonlinnan-laajennus-harjakorkeudessa/1696105_10882

Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu].

ISSN=1799-7984. 4. Vuosineljännes 2014, Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 26.5.2015].

Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2014/04/ehi_2014_04_2015-03-19_kuv_005_fi.html

STS Solar SC 2015. Grid-connected photovoltaic power system, Bulgaria [viitattu: 26.5.2015]. Saatavissa: <http://solar.sts.bg/media/uploads/2012/11/on-grid-system.jpg>

Suur-Savon Sähkö Oy 2013. Online-palvelut, sähkönkulutusraportit [viitattu: 22.4.2015].

Saatavissa: <https://online.ssoy.fi/main/default.asp>

Muut lähteet

Linnamurto, Petri 7.4.2014. Aurinkopaneelit LUT kampuksen katolla [digikuva]. Windows valokuva-valikoima. Sijainti: Savonlinna: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Linnamurto, Petri 25.5.2015. Näkymä lounaaseen Prisman katolta [digikuva]. Windows valokuva-valikoima. Sijainti: Savonlinna: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Linnamurto, Petri 26.5.2015. Budjettitarjoukset aurinkovoimalan eri kokoluokista avaimetkäteentoimituksena [verkkodokumentti]. Sijainti: Savonlinna: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Linnamurto, Petri 26.5.2015. Taulukot 7.3,7.4,7.5, Aurinkosähkön kannattavuustarkastelua [verkkodokumentti]. Sijainti: Savonlinna: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Puro, Vesa-Matti 2014. Aurinkoenergiakurssi, Parikkala 18.10.2014

Sairanen, Rauno, haastattelu 7.5.2014

Taalas, Petteri 2014. Ilmastomuutos on täällä seminaari/haastattelu, Savonlinna 9.7.2014

Vasarainen, Olli, Arkkitehtitoimisto Heikki Kirjavainen 12.5.2015. Asemapiirustus Prisma Savonlinna [verkkodokumentti]. Sijainti: Mikkeli: Porrassalmenkatu 21 A 32.

LIITE 5. LÄMPÖKAMERAN TUTKIMUSRAPORTTI



Tutkimusraportti

Raportin päivämäärä 20.5.2015

Yritys Savonia Amk /
Tuotantotalouden
koulutusohjelma /
ins.opinnot

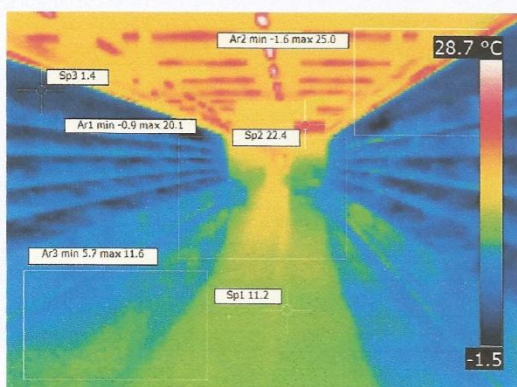
Asiakas OK Suur-Savo Prisma
Savonlinna

Osoite Ilmarisenkatu 22 C,
57200 SAVONLINNA

Paikan osoite Nojanmaantie 15, 57210
SAVONLINNA

Lämpökuvajaaja Petri Linnamurto

Yhteyshenkilö Ari Kuokka



Kuva- ja mittausparametrit

Tekstikommentit

Kameramalli FLIR T200_ Western

Hyllyt avoinna liikkeen Arvo0
aukioloaikana

Kuvan päivämäärä 5.5.2014 20:54:40

Kuvan nimi IR_5823.jpg

Emissiivisyys 0,90

Heijastuva lämpötila 20,0 °C

Kohteen etäisyys 2,0 m

Kuvaus

KYLMÄOSASTO, lämpökamerakuva

KYLMÄOSASTO, digikamerakuva

LIITE 6. LÄMPÖKAMERAN TUTKIMUSRAPORTTI



Tutkimusraportti

Raportin päivämäärä 20.5.2015

Yritys Savonia Amk /
Tuotantotalouden
koulutusohjelma /
ins.opinnot

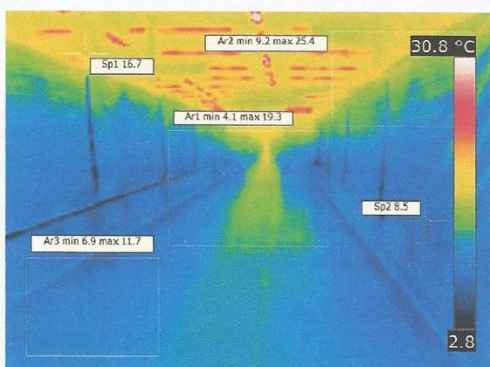
Asiakas OK Suur-Savo Prisma
Savonlinna

Osoite Ilmarisenkatu 22 C,
57200 SAVONLINNA

Paikan osoite Nojanmaantie 15, 57210
SAVONLINNA

Lämpökuvajaaja Petri Linnamurto

Yhteyshenkilö Ari Kuokka



Kuva- ja mittausparametrit

Tekstikommentit

Kameramalli FLIR T200_ Western

Hyllyt peitetty, liike
suljettuna Arvo0

Kuvan päivämäärä 5.5.2014 21:12:49

Kuvan nimi IR_5847.jpg

Emissiivisyys 0,90

Heijastuva lämpötila 20,0 °C

Kohteen etäisyys 2,0 m

Kuvaus

KYLMÄOSASTO, lämpökamerakuva

KYLMÄOSASTO, digikamerakuva