101003735-E0001
15.11.2016

KUOPION KAUPUNKI, ALUEELLISET YMPÄRISTÖNSUOJELUPALVELUT

Savilahden aurinkopotentiaaliselvitys

PÖYRY

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas	Kuopion kaupunki, Alueelliset ympäristönsuojelupalvelut
Otsikko	Savilahden aurinkopotentiaaliselvitys
Vaihe	Loppuraportti
Projektinumero	101003735-001
Tiedoston nimi	101003735_Kuopio_Savilahden_aurinkopotentiaaliselvitys_loppuraportti_20161115.docx
Järjestelmä	Microsoft Word 14.0
Ulkoinen jakelu	Kuopion kaupunki, julkinen
Sisäinen jakelu	Pöyry Finland Oy / Arkisto
Laatija	
Vastaava yksikkö	Pöyry Finland Oy / EBG Thermal and Renewable Energy
Loppuraportti	
Dokumentin pvm	15.11.2016
Laatija/asema/allekirj.	Petri Niemi / Aurinkoenergia-asiantuntija
Tarkistuspvm	15.11.2016
Tarkistanut/asema/allekirj.	Jouni Laukkanen / Projektipäällikkö

Copyright © Pöyry Finland Oy

Esipuhe

Kuopion Savilahden alueella ollaan suunnittelemassa noin 34 000 asukkaan, työntekijän ja opiskelijan nykyaikaista kaupunginosaa. Uusien alueiden rakentaminen alkaa 2018 ja niiden on tarkoitus valmistua 2020-luvun aikana. Kuopion kaupunki on käynnistänyt vuoden 2016 alussa yhteistyössä alueen muiden toimijoiden kanssa Savilahden vähähiilinen energiamalli (SaVE) -yhteishankeen. Vuoden 2016 kestävän hankkeen tavoitteena on selvittää, kuinka Savilahdesta voidaan rakentaa vähähiilinen ja energiatehokas toiminta-alue.

Savilahden alueen aurinkoenergiapotentiaaliselvityksen tavoitteena on tarkastella aurinkosähkö ja -lämmön hyödyntämispotentiaalia sekä käyttöä osana alueen muita energiaverkkoja. Työn perustana käytettiin työn yhteydessä selvitettyä Savilahden alueen auringon säteilytasoa, jota voitiin hyödyntää sekä nykyisten että uusien rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaalin kartoittamiseen.

Työn laatija, Pöyry Finland Oy

Jouni Laukkanen, DI energiatekniikka

Petri Niemi, DI sähkötekniikka

Yhteystiedot
PL 4, Jaakonkatu 3
01621 Vantaa
puh. 010 33 11
sähköposti etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Olemassa olevan rakennuskannan aurinkopotentiaalianalyysi ja potentiaalikartta:
Antti Rousi, Sun Energia Oy, DI energiatekniikka
Tapani Rousi, Sun Energia Oy, FM matematiikka

Copyright © Pöyry Finland Oy

Raportissa käytetyt yksiköt ja termit

Etuliite	SELITYS
µ	mikro, miljoonasosa perusyksiköstä
m	milli, tuhannesosa perusyksiköstä
k	kilo, tuhat perusyksikköä
M	mega, miljoona perusyksikköä
G	giga, miljardi perusyksikköä

Copyright © Pöyry Finland Oy

TERMI / YKSIKKÖ	SELITYS
Aurinkoenergia	Aurinkosähkö ja/tai aurinkolämpö
Aurinkokenno	Aurinkokenno koostuu elektrodiparista, jossa auringon säteily muunnetaan sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. Voidaan jakaa esimerkiksi piipohjaisiin ja ohutkalvotekniikkaan perustuviin kennoihin.
Aurinkokeräin	Auringon säteilyenergiaa vastaanottava järjestelmä. Järjestelmässä kiertävä neste siirtää lämmön eteenpäin käyttökohteeseen.
Aurinkolämpö	Auringon säteilyenergian muuntamista lämmöksi esimerkiksi aurinkokeräimen avulla
Aurinkopaneeli	Sarjaan kytketyt aurinkokennot muodostavat aurinkopaneelin. Aurinkopaneeli on aurinkosähkön tuotantolaitosten peruskomponentti.
Aurinkopuisto	Lukuisista aurinkopaneelisarjoista koostuva aurinkosähkön tuotantoalue
Aurinkosähkö	Auringon säteilyenergian muuntamista sähköksi esimerkiksi valosähköisen ilmiön avulla
CSP	Keskittävä aurinkovoima (*engl. Concentrated Solar Power*). Järjestelmä vastaanottaa auringon säteilyenergiaa keskittämällä sen parabolisten peilien tai keskittävien tasopeilien avulla polttopisteeseen, jossa oleva kattila tai lämmönsiirtoputki lämpenee. Lämmennyttä nestettä voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköntuotantoon.
Invertteri	Tasasähkön vaihtosähköksi muuntava laite
Keskijänniteverkko	Tyypillisesti 10 kilovoltin tai 20 kilovoltin pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa.
Keskittävä aurinkovoima	kts CSP
Muuntaja	Sähkölaite, jonka tarkoituksena on siirtää tehoa sähköjärjestelmän jännitetasosta toiseen sähkömagneettisen induktion avulla
Pienjänniteverkko	Tyypillisesti 400 voltin (0,4 kilovoltin) pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa (yksivaiheinen tehollisarvo noin 230 V)
PV	*engl. photovoltaic,* kts. aurinkosähkö
Suurjänniteverkko	Suomessa tyypillisesti 110 kilovoltin, 220 kilovoltin tai 400 kilovoltin pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa
Tasokeräin	Aurinkokeräintyyppi, jossa kiertää lämpöä siirtävä neste
Tyhjiökeräin	Aurinkokeräintyyppi. U-putki -tyhjiökeräin toimii samalla periaatteella kuin tasokeräin. Lämpöputki - keräimessä neste höyrystyy ja siirtää lämmön.
V	Voltti, jännitteen yksikkö
VA	Volttiampeeri, näennäistehon yksikkö
W	Watti, (pätö)tehon yksikkö
Wh	Wattitunti, energian yksikkö. Käytetään esimerkiksi auringonsäteilyn tai energiantuotannon yhteydessä. Usein kWh tai MWh.
Wp	Watti (peak), asennetun huipputehon yksikkö

Copyright © Pöyry Finland Oy

Esipuhe
Raportissa käytetyt yksiköt ja termit
Sisällysluettelo

1 JOHDANTO ... 3

1.1 Selvityksen tavoite ja rajaukset ... 3

2 TAUSTATIETOA AURINKOENERGIAN TUOTANNOSTA ... 5

2.1 Tekniset lähtökohdat ... 5
2.2 Liittyminen kiinteistöjärjestelmiin ja muihin energiajärjestelmiin ... 11
2.3 Aurinkoenergian varastointi ... 16
2.4 Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen ... 17
2.5 Vaihtoehtoisia aurinkoenergian asennustapoja ... 18
2.6 Taloudelliset lähtökohdat ... 20

3 SUUNNITTELUKOHTEEN KUVAUS ... 25

3.1 Aluerajaus ja tarkasteltavat osa-alueet ... 25
3.2 Savilahteen jo rakennetut aurinkoenergiajärjestelmät ... 26

4 OLEMASSA OLEVAN RAKENNUSKANNAN AURINKOENERGIAPOTENTIAALIANALYYSI JA POTENTIAALIKARTTA ... 28

5 RAKENNUSALUEIDEN AURINKOENERGIAPOTENTIAALI ... 32

5.1 Olemassa olevan rakennuskannan potentiaalin arvioinnin lähtöoletukset ... 32
5.2 Uuden rakennuskannan potentiaalin arvioinnin lähtöoletukset ... 32
5.3 Osa-alue 1: Savisaari ... 33
5.4 Osa-alue 2: Marikon ranta ... 34
5.5 Osa-alue 3: Varikon alue ... 36
5.6 Osa-alue 4: Microkadun alue ... 39
5.7 Osa-alue 5: Yliopiston alue ... 41
5.8 Osa-alue 6: Prisman ympäristö ... 43
5.9 Osa-alue 7: Savilahdentien ja Viestikadun alue ... 45
5.10 Osa-alue 8: KYS – Niiralankatu ... 48
5.11 Osa-alue 9: Harjulan alue ... 50
5.12 Yhteenveto rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaalista ... 52

6 TYYPPIKIINTEISTÖJEN AURINKOENERGIAPOTENTIAALI JA INVESTOINTI- JA TUOTTOLASKELMAT ... 54

6.1 Lähtöoletukset tyyppitalojen laskelmiin ... 54
6.2 Rivitalo/kaupunkipientalo ... 56
6.3 Asuinkerrostalo ... 64
6.4 Toimistorakennus ... 67

7 SUOSITUKSET AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ SAVILAHDEN ALUEELLA ... 71

7.1 Alueellinen energiantuotanto ja liittyminen muihin energiajärjestelmiin ... 71
7.2 Suositukset rakennuksien suunnitteluun ... 72

Copyright © Pöyry Finland Oy

7.3 Kannattavuus 74

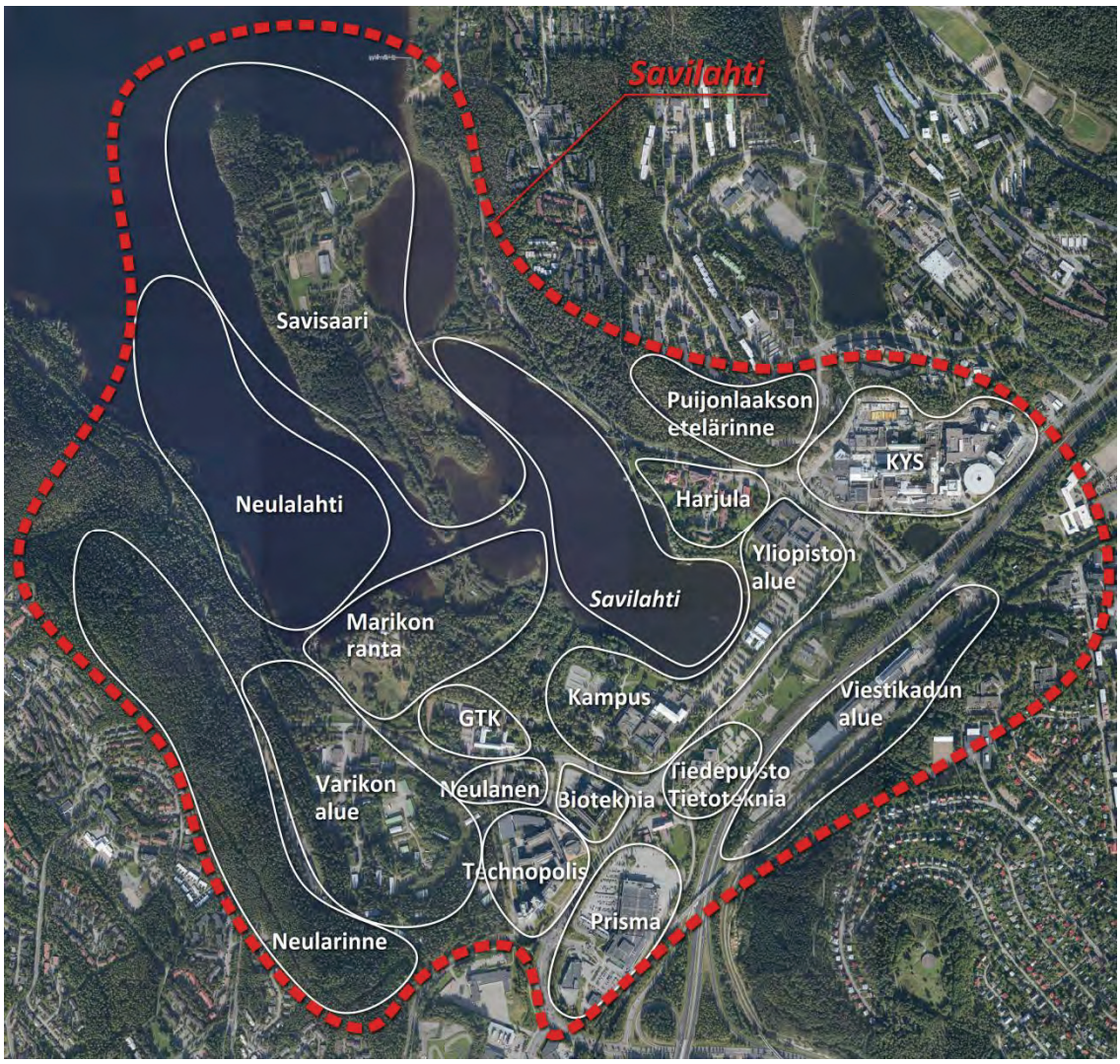
8 YHTEENVETO 75

9 LÄHTEET JA VIITTEET 77

Copyright © Pöyry Finland Oy

1 JOHDANTO

1.1 Selvityksen tavoite ja rajaukset



Kuva 1-1 Kuopion Savilahden alue. (Kuvan lähde: Kuopion kaupunki)

Kuopion Savilahden alueella ollaan suunnittelemassa noin 34 000 asukkaan, työntekijän ja opiskelijan nykyaikaista kaupunginosaa. Uusien alueiden rakentaminen alkaa 2018 ja niiden on tarkoitus valmistua 2020-luvun aikana. Kuopion kaupunki on käynnistänyt vuoden 2016 alussa yhteistyössä alueen muiden toimijoiden kanssa Savilahden vähähiilinen energiamalli (SaVE) -yhteishankeen. Vuoden 2016 kestävän hankkeen tavoitteena on selvittää, kuinka Savilahdesta voidaan rakentaa vähähiilinen ja energiatehokas toiminta-alue.

Savilahden alueen aurinkoenergiapotentiaaliselvityksen tavoitteena on tarkastella aurinkosähkö ja -lämmön hyödyntämispotentiaalia sekä käyttöä osana alueen muita energiaverkkoja. Työn perustana käytettiin työn yhteydessä selvitettyä Savilahden alueen auringon säteilytasoa, jota voitiin hyödyntää sekä nykyisten että uusien rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaalin kartoittamiseen.

Selvitys antaa pohjatiedot aurinkoenergiaan, eli aurinkosähkön ja aurinkolämmön, tuotantoon, sen teknisiin ja taloudellisiin lähtökohtiin sekä vaikutuksiin liittyen. Selvityksessä esitellään lisäksi lyhyesti aurinkoenergian sekä siihen liittyvän lainsäädännön ja ohjauksen nykytilaa Suomessa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Savilahden alueen aurinkoenergiapotentiaaliselvityksen tavoitteena on tarkastella aurinkosähkö ja -lämmön hyödyntämispotentiaalia sekä käyttöä osana alueen muita energiaverkkoja. Selvityksen tavoitteena on tarjota Kuopion Savilahden kaupunginosan toimijoille työkaluja suunnitella ja ottaa käyttöön aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmiä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

2 TAUSTATIETOA AURINKOENERGIAN TUOTANNOSTA

2.1 Tekniset lähtökohdat

Aurinkoenergian hyödyntämiseen kehitetty teknologia on luokiteltavissa kolmen pääpiirteen kautta:

- passiivinen tai aktiivinen järjestelmä
- sähkön tai lämmön tuotantoon soveltuva teknologia
- keskittävä tai ei-keskittävä teknologia

Tässä selvityksessä keskitytään pääasiassa aktiiviseen aurinkoenergian hyödyntämiseen. Aktiivista aurinkoenergiateknologiaa on kehitetty sekä sähkön että lämmön tuotantoon. Tässä selvityksessä pääpaino on aurinkokennoja hyödyntävässä sähköntuotannossa sekä aurinkokeräimiä hyödyntävässä lämmöntuotannossa, mutta myös keskittävä aurinkovoima esitellään.

Passiivinen hyödyntäminen liittyy esimerkiksi rakennusten suunnitteluun ja rakentamiseen siten, että auringonvalo- ja lämpö tulee hyödynnetyksi mahdollisimman tehokkaasti järkevän suuntauksen ja esimerkiksi isojen ikkunapintojen avulla. Passiivista aurinkoenergian hyödyntämistä käsitellään tässä selvityksessä vain yleisellä tasolla.

Lisäksi aurinkoenergiaa hyödyntävät ratkaisut voidaan jaotella niiden mittakaavan, kapasiteetin ja tuotannon perusteella. Voidaan puhua esimerkiksi pientuotannosta ja teollisen mittakaavan tuotannosta.

2.1.1 Aurinkosähkö (PV)

Auringon säteilyenergian muuntaminen hyödynnettäväksi energiaksi on mahdollista toteuttaa useilla eri teknologioilla. Tällä hetkellä maailmanlaajuisesti eniten kokemusta on *aurinkosähköstä* (engl. *photovoltaic*, PV), jossa auringon säteilyenergiaa muutetaan suoraan sähköenergiaksi.

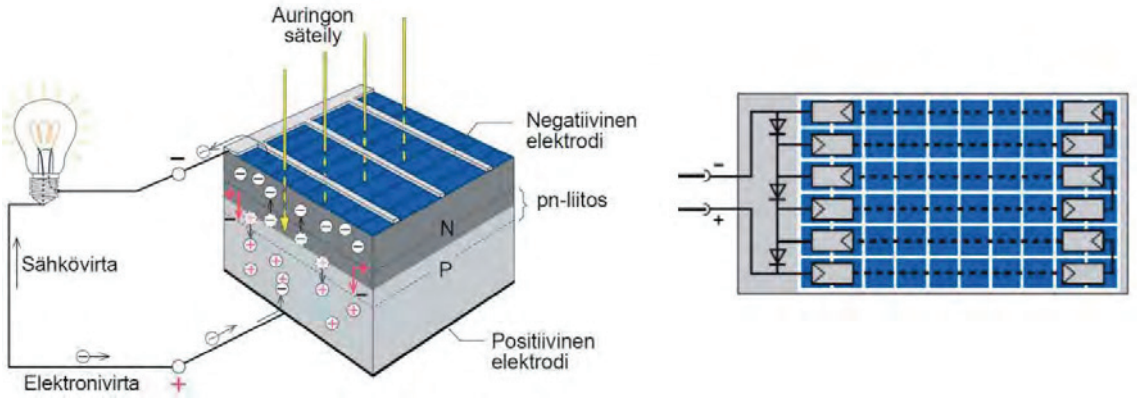
Aurinkosähkön tuotannossa hyödynnettävät teknologiat on jaettavissa kolmeen sukupolveen.

- **Ensimmäisen sukupolven teknologiaa** edustavat yksi- ja monikiteiset piikennot. Tämänhetkiset kaupalliset aurinkosähköjärjestelmät ovat pääasiassa kyseistä teknologiaa.
- **Toisen sukupolven teknologiaa** puolestaan ovat ns. ohutkalvoaurinkokennot. Tässä ja edellä mainitussa ensimmäisen sukupolven teknologiassa aurinkosähkön tuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohtavista materiaaleista (kuten piistä) rakennettuihin kennoihin, joissa auringon säteilyenergia saa aikaan sähköisen jännite-eron kahden ohuen puolijohde-elektrodin (p ja n) välille. Myös ohutkalvokennoja on kaupallisessa tuotannossa sekä myös käytössä suurissa aurinkopuistoissa.
- **Kolmannen sukupolven teknologiaksi** voidaan luokitella esimerkiksi nanokidekennot (Grätzel-kennot, väriaineherkistetyt aurinkokennot), joissa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. Ne ovat pääasiassa vielä tutkimuksen kohteena. Kehitysasteella on myös useita muita kennotyyppejä: esim. joustavat ja rullattavat kennot, sekä keräävän peilin tai linssin yhteyteen asennettavat kennot.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaupallisissa aurinkosähköjärjestelmissä käytetään useista kennoista koostuvia aurinkopaneeleita. Auringon säteily tuottaa aurinkokennon elektrodipareissa sähköisen potentiaalieron, jonka synnyttämä tasasähkövirta voidaan kierrättää ulkoiseen sähköpiiriin. Aurinkopaneeleilla tuotettu tasasähkö voidaan edelleen muuttaa yleisessä sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi niin kutsuttujen invertereiden avulla.

Kuva 2-1 havainnollistaa aurinkokennon ja -paneelin toimintaperiaatetta.



Kuva 2-1 Aurinkokennon ja sarjaan kytketyistä aurinkokennoista muodostuvan aurinkopaneelin toimintaperiaate (Kuva: Ahoranta 2015).

Tyypillisesti yhdestä nykyaikaisesta aurinkopaneelista saatava sähköteho on noin 250-300 W. Aurinkopaneeleja voidaan kytkeä yhteen sähköverkkoliityntää varten, jolloin useampaa aurinkopaneelia varten voidaan käyttää yhtä tasavirran vaihtovirraksi muuttavaa invertteriä.

Paneelit ovat perinteisesti tasoon asennettuja. Kehitysasteella on kuitenkin myös mm. kartion muotoinen ja pyörivä Spin Cell -paneeli, joka muotonsa ansiosta vaatii vähemmän tilaa ja pyörimisen ansiosta välttyy ylikuumentumisongelmalta, mikä parantaa hyötysuhdetta.

Aurinkopaneelien hyötysuhteen parantamiseksi pyritään paneelista takaisin siroavan auringonsäteilyn määrää rajoittamaan. Tästä syystä paneelien pinta käsitellään tyypillisesti ohuella kerroksella valon takaisinsirontaa vähentävällä materiaalilla, kuten esimerkiksi piinitridillä. Pintakäsitellyt aurinkopaneelit heijastavat paneelista takaisin valoa lähinnä sinisen valon aallonpituuden alueella, josta myös seuraa aurinkopaneeleille tyypillinen tummansininen tai tummanharmaa väri.

Tyypillisesti 1 kW aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköenergiaa noin 700-1200 kWh vuoden aikana. Aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 15 % tyypillisellä materiaalilla (esim. monikiteinen pii). Parhaimmat kaupalliset teknologiat voivat saavuttaa jopa yli 20 %:n hyötysuhteen. Eri materiaaleihin ja teknologisiin ratkaisuihin perustuvilla aurinkosähkökennoilla on erilaiset hyötysuhteet. Yhteistä teknologioille kuitenkin on se, että niiden toimintaa ja sitä kautta hyötysuhdetta on saatu merkittävästi parannettua viime vuosina.

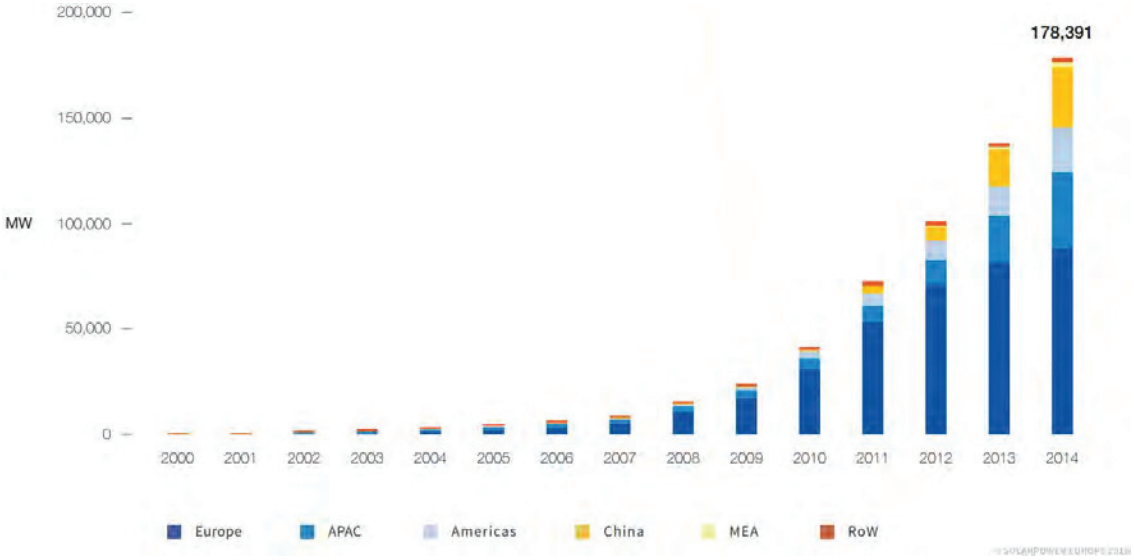
Tyypillinen aurinkopaneelien takuuaika on 25 vuotta ja todellinen käyttöikä voi olla jopa yli 30 vuotta, vaikkakin paneelien hyötysuhde vähenee paneelien ikääntyessä keskimäärin noin 0,1 – 0,5 % vuodessa (Wirth 2016). Paneelien suorituskykyä ja käyttöikää sen sijaan rajoittaa esimerkiksi liasta, roskista, lämpötilavaihteluista, tuulesta, lumesta ja jäästä aiheutuva ulkoinen mekaaninen rasitus. On kuitenkin mahdollista että esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän tasasähkön vaihtosähköksi muuttava invertteri joudutaan vaihtamaan noin 15 vuoden välein, vaikka itse aurinkopaneelit säilyisivätkin toimintakykyisenä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

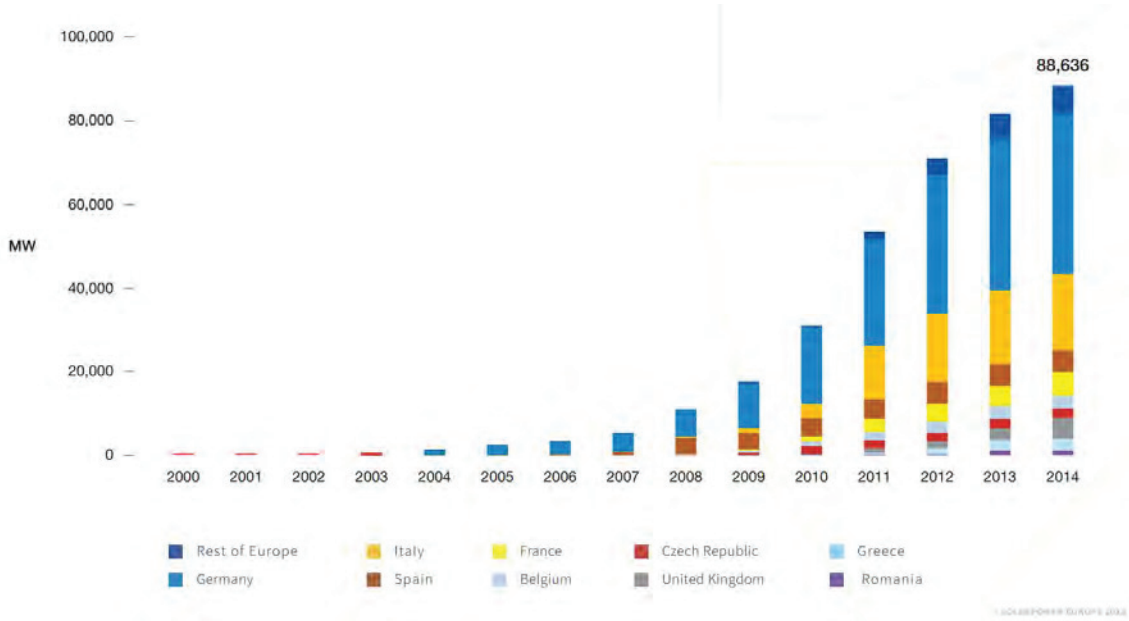
Lukuisista aurinkopaneeleista koostuvat kokonaisuudet voidaan luokitella joko pientuotannoksi (yksityinen tai kaupallinen) tai teollisen mittakaavan tuotannoksi riippuen järjestelmän kokonaiskapasiteetista. Kapasiteetiltaan yli 500 kW järjestelmiä pidetään teollisen kokoluokan laitoksina.

Asennettujen aurinkopaneelien määrä on kasvanut tasaisesti viime vuosien aikana (Kuva 2-2). Vuonna 2014 Italiassa, Saksassa ja Kreikassa yli 7 % kulutetusta sähköenergiasta tuotettiin aurinkosähköjärjestelmin (SolarPower Europe). Myös aurinkokennotekniikka kehittyy tasaisesti ja teknologiset läpimurrot ovat mahdollisia, mutta niiden ajoittumista on vaikea ennustaa.

A



B



Kuva 2-2 A) Maailmanlaajuisesti asennetun aurinkosähkön kumulatiivinen kehitys 2000-2014, alueittain: Eurooppa, Aasian-Tyynenmeren alue (APAC), Pohjois- ja Etelä-Amerikka, Lähi-Itä ja Afrikka (MEA) sekä muu mailma (RoW). B) Euroopassa asennetun aurinkosähkön kumulatiivinen kehitys 2000-2014, maittain. (Kuva: SolarPower Europe)

Copyright © Pöyry Finland Oy

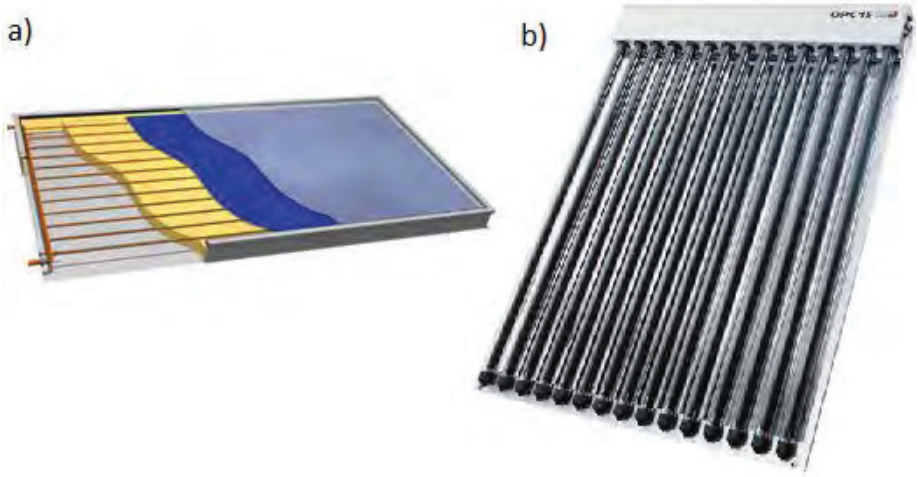
2.1.2 Aurinkolämpö

Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää sähköntuotannon lisäksi myös aurinkolämmön tuotantoon.

Aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyenergiaa otetaan talteen aurinkokeräinten avulla ja siirretään käyttökohteeseen järjestelmässä kiertävällä nesteellä. Aurinkolämpöä voidaan käyttää kiinteistön käyttöveden ja tilojen lämmitykseen. Lämpöä voidaan myös varastoida varaajaan myöhempää käyttöä varten.

Kaksi yleisintä keräintyyppiä ovat taso- ja tyhjiöputkikeräin. Tasokeräimessä kiertää jäätymätön neste, esimerkiksi vesi-glykoliseos, joka siirtää lämmön keräimiltä varaajaan tai lämmönsiirtimelle. U-putki -tyyppisellä tyhjiökeräimellä on sama toimintaperiaate, kun taas lämpöputki-tyyppisessä (*heat pipe*) tyhjiökeräimessä neste höyrystyy ja siirtää lämmön putken alapäässä olevan lämmönsiirtimen ja jakotukin kautta kiertopiiriin.

Tasokeräin on Euroopassa yleisempi kuin tyhjiöputkikeräin, etenkin suurissa järjestelmissä. Tyhjiöputkikeräimiä käytetään puolestaan paljon erityisesti Kiinassa, josta niitä tuodaan myös Eurooppaan. Tasokeräin on edullisempi, mutta hyötysuhteeltaan jonkin verran tyhjiöputkikeräintä heikompi. Tasokeräimet ovat yksinkertaisia ja erittäin toimintavarmoja, kun taas tyhjiöputkikeräimissä on hiukan suurempi rikkoontumisriski ja enemmän halpatuonnista johtuvia laatuvaihteluita. Tyhjiöputkikeräin pystyy hyödyntämään hajasäteilyä jossain määrin tasokeräintä tehokkaammin. Tasokeräimen tyypillinen toimintalämpötila on 30 – 70 °C ja tyhjiöputkikeräimen 70 – 120 °C. Tyhjiöputkikeräimen etuna on, että sen lämpöhäviöt ovat tasokeräintä pienemmät, joten se soveltuu siltä osin paremmin toimimaan korkeammassa lämpötilassa paikassa, jossa ympäristön lämpötila on alhainen.



Kuva 2-3 Tyypillisen tasokeräimen rakenne (Wagner Euro L20AR) ja tyypillinen tyhjiöputkikeräin (OPC 15 -tyhjiöputkikeräin).

Nestekiertoisten keräinten lisäksi on kehitetty myös kuumailmakeräimiä. Ne ovat toimintavarmoja ja edullisia, mutta lämmön varastointi on hankalaa ja keräinten toimintalämpötila on tyypillisesti alle 50 °C. Kuumailmateknologiasta löytyy myös useita ”tee se itse” -tyyppisiä ratkaisuja.

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää korkeammassa lämpötilassa esimerkiksi sähköntuotantoon aurinkovoimalaitoksessa niin kutsuttujen keskittävien ratkaisuiden avulla, kuten parabolisten peilien tai keskittävien tasopeilien avulla. Tällaiset järjestelmät vaativat runsaasti suoraa auringonsäteilyä ja soveltuvat siksi nykyteknologialla heikommin Suomeen. Keskittävää aurinkovoimaa ei tästä syystä tarkastella laajemmin tässä selvityksessä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Elinkaareltaan aurinkolämpöjärjestelmät ovat pitkäikäisiä. Keräinten arvioitu elinikä on noin 20-30 vuotta, mutta tiettyjä komponentteja on uusittava käytön aikana. Esimerkiksi pakkasnesteen säiliö ja pumpun paisuntasäiliö tulee uusia 10–15 vuoden välein. Tyhjiöputkikeräimet ovat tasokeräimiä herkempiä rikkoutumiselle, mutta tyhjiöputkia voidaan yleensä vaihtaa putkikohtaisesti kun taas rikkoutunutta tasokeräintä ei voi korjata.

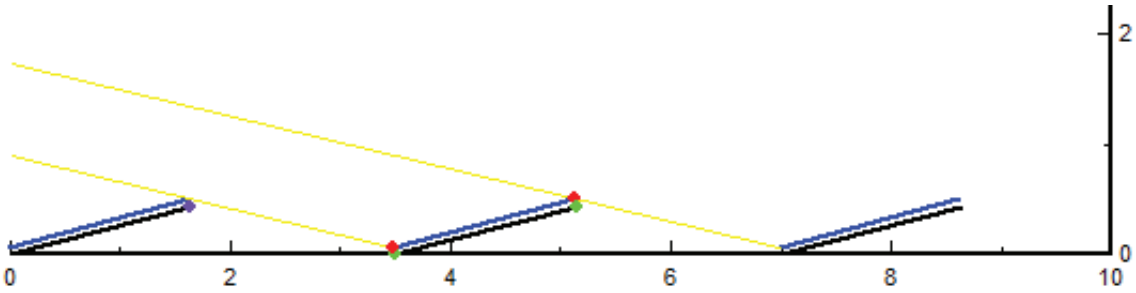
2.1.3 Kiinteistöjen aurinkopaneelien ja aurinkokeräimien asennus

Aurinkopaneelit tai -keräimet voidaan asentaa joko katolle, rakennuksen julkisivuun tai maavaraisesti. Myös kelluville perustuksille asentaminen sekä tiealueiden kattaminen aurinkopaneeleilla on teknisesti mahdollista. Kiinteistöjen aurinkoenergiajärjestelmät ovat useimmiten kattoasennuksia, ja niille annetaan suurin painoarvo tässä työssä.

Paneelien ja keräimien energiantuotantoon vaikuttaa huomattavasti niiden kallistuskulmat. Johtuen auringon suhteellisen pienestä säteilykulmasta, saadaan aurinkopaneelille tai -keräimelle huomattavasti enemmän aurinkosäteilyä kallistamalla paneelia. Ero vaakatasoon asennetun ja optimikulmaan asennetun paneelin tai keräimen vastaanottamaan auringon säteilyenergiaan on jopa 30 %.

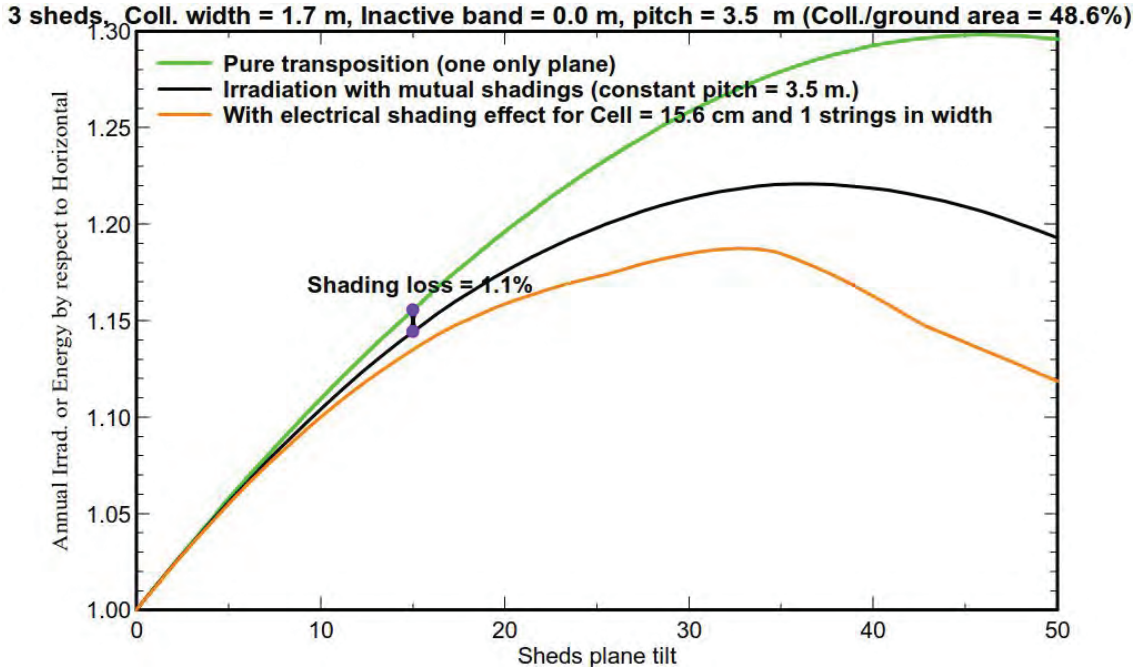
On myös huomattavaa, että paneelit ja keräimet tuottavat Kuopion leveyspiirillä jopa hieman enemmän vuositasolla asennettuna pystyasentoon eteläsuuntaisesti, kuin jos ne asennettaisiin tasakatolle vaakatasoon.

On kuitenkin huomattavaa, että optimikulmaan asennettuna paneelit voivat myös varjostaa toisiaan, mikäli ne on asennettu liian lähelle toisiaan, mikä tulee ottaa huomioon erityisesti tasakattoasennuksien kallistuskulmia optimoitaessa. Alla olevissa kuvissa (Kuva 2-4 ja Kuva 2-5) on esitetty aurinkokeräimille saapuvan auringon säteilyenergian määrä riippuen paneelien tai keräimien kallistuskulmasta. Kuvissa on lisäksi esitetty mahdollisten useampien paneelirivien vaikutus vastaanotettavaan auringonsäteilyyn eri kallistuskulmilla.



Kuva 2-4 Lähtötilanne mallinnukseen aurinkopaneeleihin kohdistuvasta kokonaissäteilystä suhteessa aurinkopaneelien kallistuskulmaan Kuopion leveysasteella, kun järjestelmässä on kolme riviä aurinkopaneeleita 3,5 metrin välein asennettuna. Kuvassa paneelit sijaitsevat tasakatolla 15 asteen kallistuskulmassa. (Laskenta suoritettu PVSyst-ohjelmistolla)

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-5 Esimerkki aurinkopaneeleihin kohdistuvasta kokonaissäteilystä suhteessa aurinkopaneelien kallistuskulmaan Kuopion leveysasteella, kun järjestelmässä on kolme riviä aurinkopaneeleita 3,5 metrin välein asennettuna. Vihreä käyrä kuvaa yksittäiseen aurinkopaneeliin kohdistuvaa säteilytehoa, musta käyrä aurinkopaneeleihin kohdistuvaa säteilytehoa kun etummaisten paneelien varjostus otetaan huomioon. (Laskenta suoritettu PVSyst-ohjelmistolla)

Kallistuskulmissa on otettava myös huomioon kattorakenteen rakenteellinen kestävyys, sillä paneeleiden ja keräimien asentaminen irti kattotasosta lisää huomattavasti niiden kattoon ja paneelien telineisiin kohdistamaa tuulikuormaa. Tyypillisesti harjakattoisiin rakenteisiin asennettaessa aurinkopaneelit ja -keräimet asennetaan katon harjan suuntaisesti kiinni kattorakenteisiin rakennekuormitusten minimoimiseksi. Tasakattoisissa järjestelmissä paneeleille ja keräimille tyypillisesti rakennetaan kallistuskulman lisäämiseksi metallisia pystytelineitä, jotka joko kiinnitetään kantaviin rakenteisiin tai niiden kiinnittäminen toteutetaan betonilaatoilla, joita ei erikseen liitetä rakenteisiin.

Katon kestävyys ja valittava asennustapa katto- tai julkisivukiinnitykseen on varmistettava ja valittava tapauskohtaisesti. Pelkät aurinkopaneelit painavat yksinään noin 20 kilogrammaa ja aurinkokeräimet noin 40 kilogrammaa, minkä lisäksi ne tarvitsevat asennustelineet jotka talon harjan suuntaisestikin asennettuna painavat tyypillisesti noin 5-10 kilogrammaa yhtä paneelia tai keräintä kohden. Tämä vastaa noin 15-20 kg/m^2 painoa suhteessa asennettuun aurinkopaneelipinta-alaan tai noin 20-25 kg/m^2 painoa suhteessa asennettuun aurinkokeräinpinta-alaan jo ilman lumi- tai tuulikuormien vaikutusta. On huomattavaa, että tasakattoasennuksissa aurinkoenergiajärjestelmän paino neliömetriä kohden voi olla kuitenkin huomattavasti tätä suurempi tietyillä asennustavoilla. Vertailuksi, 1998 rakentamismääräysten mukainen peruslumikuormamitoitus on Kuopiossa noin 180 kg/m^2 (http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/kattolumikuorma.html/).

Kallistuskulman lisäksi paneelien ja keräimien tuotantoon vaikuttaa niiden kallistus suhteessa etelään (atsimuuttikulma). Lähtökohtaisesti paneelit on suositeltavaa asentaa suoraan kohti etelää aurinkoenergian vuosituotannon maksimoimiseksi, mikäli kulutuskohteessa ei ole erityistä aamu- tai iltapäivään sijoittuvaa kulutushuippua. Pienet atsimuuttikulman erot eivät kuitenkaan vaikuta vuosituotantoon merkittävästi, sillä

Copyright © Pöyry Finland Oy

esimerkiksi 15-20 asteen kulmaero suhteessa etelään vaikuttaa paneeleiden ja keräimien vastaanottamaan vuosisäteilyyn vain noin yhden prosentin suhteessa optimikulmaan, ja paneelien kääntämien koilliseen tai kaakkoonkin vähentää vuotuista säteilymäärää vain noin 6 % suhteessa optimitilanteeseen.

2.1.4 Tyypillisten aurinkopaneelien ja aurinkokeräinten teknisiä ominaisuuksia

Esimerkkejä tyypillisistä aurinkosähköpaneeleista ovat esimerkiksi CanadianSolar -valmistajan CS6P-P -paneelit, jotka koostuvat kuudestakymmenestä kennosta ja ovat yksikkökapasiteetiltaan noin 260 W. FirstSolarin kadmium-telluuri (CdTe) -ohutkalvopaneeleja sekä SunPowerin Oasis-paneelijärjestelmiä puolestaan on hyödynnetty maailman suurimpiin lukeutuvissa aurinkopuistoissa.

Aurinkopaneelien kehitys tulevaisuudessa liittynee ennen kaikkea materiaaleihin (hinta, saatavuus, johtavuus, keveys, joustavuus, läpinäkyvyys/ulkonäkö) sekä kennojen ominaisuuksiin ja hyötysuhteeseen. Suurta kasvua paneelikohtaisessa kapasiteetissa tai paneelien mittasuhteissa (pinta-ala) ei ole odotettavissa. Materiaalien kehitys voi vaikuttaa paneelien ulkonäköön ja väriin, ja läpinäkyvien kennoratkaisujen tuottavuuden parantuminen puolestaan tarjoaisi mahdollisuuden älykkäille ikkuna- ja julkisivuratkaisuille.

Taulukko 2-1 Esimerkkejä tyypillisten aurinkopaneelien ja –keräinten teknisistä ominaisuuksista.

	Aurinkopaneeli	Tasokeräin	Tyhjiöputkikeräin
Esimerkin malli	Risen RSM-60-6-260P	Apricus FPC-A26	OPC 15
Pituus (cm)	164,0	198,1	170,0
Leveys (cm)	99,2	122,2	125,0
Pinta-ala (m^2)	1,6	2,4	2,1
Paksuus (cm)	4,0	8,0	9,7
Paino (kg)	19,5	38,5	45,0
Huipputeho (sähkö, W)	260	-	-
Huipputeho (lämpö, W)	-	1706	1416
Hyötysuhde, sähkö	0,160	-	-
Hyötysuhde, lämpö (eta0)	-	0,78	0,755

2.2 Liittyminen kiinteistöjärjestelmiin ja muihin energiajärjestelmiin

2.2.1 Aurinkosähkön liittäminen kiinteistön sähköverkkoon

Aurinkosähkön tuotantolaitokset koostuvat tyypillisesti seuraavista osista:

- yhteen kytketyt aurinkopaneeliryhmät
- tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuttavat invertterit, jotka ovat aurinkopaneeliryhmäkohtaisia
- noin yli 500 kVA tuotantolaitoksissa aurinkopaneeliryhmien tuottaman vaihtosähkön keskijännitteiseksi muuttavat jakelumuuntajat.

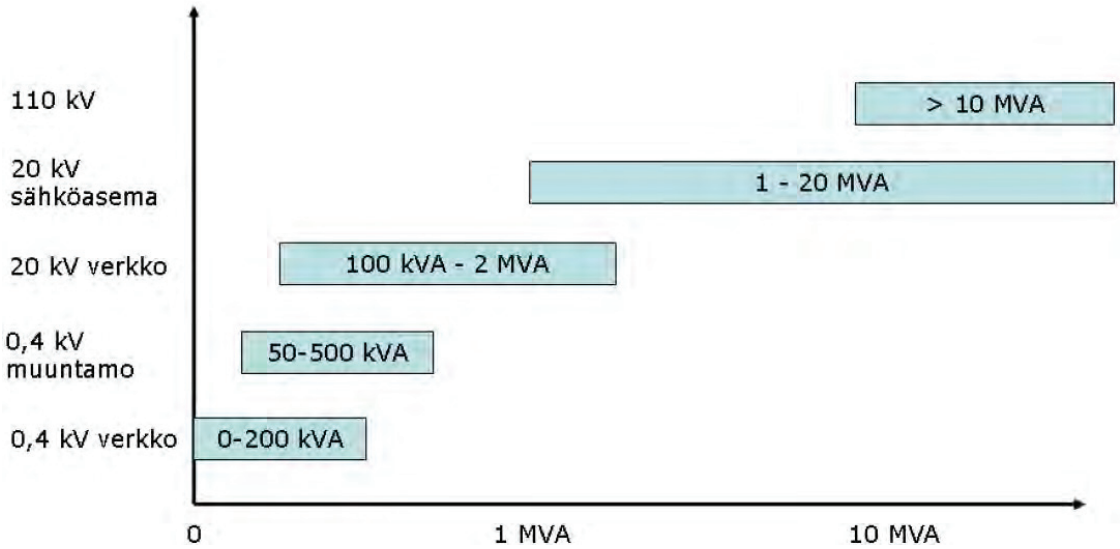
Tyypillisesti kiinteistökohtaisissa aurinkosähköasennuksissa yksittäiset aurinkopaneeliryhmän koostuvat maksimissaan noin muutaman kymmenen kW:n aurinkopaneeliryhmistä. Jokaista aurinkopaneeliryhmää varten asennettava invertteri mitoitetaan tyypillisesti aurinkopaneeliryhmän piikkitehon perusteella. Näin esimerkiksi 30 kW:n järjestelmä (120 aurinkopaneelia tai noin 200 m^2 aurinkopaneelipinta-alaa) vaatii noin 30 kVA:n invertterin. Tyypillisesti aurinkopaneelien ryhmien kokoon

Copyright © Pöyry Finland Oy

vaikuttaa myös aurinkopaneeleiden sijoittuminen kohdekiinteistön katolle, jolloin aurinkosähköjärjestelmän sähköteho voidaan jakaa useamman pienemmän invertterin kautta kiinteistön pienjänniteverkkoon.

Aurinkosähkön tuotantolaitosten liityntätapa yleiseen sähköverkkoon riippuu voimalaitoksen teholuokasta. Tyypillisesti sähköverkkojen pienjännitteiset verkko-osat ovat sähköisesti heikkoja (pieni oikosulkutehotaso), jolloin niihin ei voida liittää paljon tuotantoa vaikuttamatta liittymisverkon sähkön laatuun. Lisäksi tuotannon liittäminen ei saa johtaa verkon komponenttien mitoitusvirta-arvojen ylittymiseen (käyttö- ja vikavirtatasot), mikä rajoittaa aurinkosähkötuotannon lisäämistä erityisesti paikallisiin pienjänniteverkkoihin.

Energiateollisuus ry on antanut ohjeelliset tuotannon liittämisrajat eri jänniteportaisiin, joita voidaan pitää suuntaa-antavina tehorajoina eri verkon osiin liittymiselle myös aurinkosähkölle (Kuva 2-6).



Kuva 2-6. Energiateollisuus ry:n julkaisemat ohjeelliset tuotannon liittämisrajat jakeluverkon eri jänniteportaisiin (Energiateollisuus ry 2011).

Konsultin esitys aurinkoenergian tuotantolaitosten verkkoliitynnän suuntaa-antavista periaatteista:

- Pienet, noin <3.5 kW aurinkosähköjärjestelmät voidaan liittää kiinteistön pienjänniteverkkoon yksivaiheisena maksimissaan 16 A sulakkeen taakse.
- Alle 500 kW kiinteistökohtaiset järjestelmät on kiinteistön sähköjärjestelmän mitoituksesta riippuen mahdollista liittää kolmivaiheisena kiinteistön 400 voltin pienjänniteverkkoon.
- Noin 0,1-2 MW tuotantolaitokset voidaan tapauskohtaisesti liittää 20 kV keskijänniteverkon puolelle. Tätä isommat tuotantolaitokset on lähtökohtaisesti liitettävä sähkönjakeluyhtiöiden sähköasemiin.

Verkko-osien todelliset liittymistehokapasiteetit ovat kuitenkin tapauskohtaisia, ja ne on aina varmistettava verkonhaltijalta. On huomioitavaa, että yli 100 kV sähköntuotantolaitokset on varustettava omalla mittaroinnilla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

2.2.2 Kiinteistökohtaisen aurinkosähkön siirtäminen ulkopuoliseen sähköverkkoon

Lähtökohtaisesti kiinteistön aurinkosähköntuotannon siirtämiselle ulkopuoliseen sähköverkkoon ei ole teknisiä esteitä, kunhan aurinkosähköjärjestelmä täyttää verkonhaltijan esittämät verkkoliityntävaatimukset.

Sähkön tuotannosta jakeluverkkoon on kuitenkin sovittava paikallisen sähköverkkoyhtiön kanssa erikseen, eikä sähköä voi syöttää verkkoon ilman että sähköenergialle on ostaja esimeriksi sähkön väittämismyyjien kautta. Sähkön vähittäismyyjät antavat tyypillisesti näin tuotetusta sähköstä lähellä sähkön Spot-markkinahintaa olevan hinnan, joka on kuitenkin huomattavasti kiinteistön kokonaissähkönkulutusta pienempi hinta koska siinä ei ole mukana mm. sähkön siirron hintaa.

On huomattavaa, että lähtökohtaisesti esimerkiksi kerrostalo-osakeyhtiöiden ja rivitalo-osakeyhtiöiden aurinkopaneelit katsotaan kuuluvan kiinteistösähkön kulutuksen piiriin, jolloin aurinkopaneelien tuottama sähköntuotanto kompensoisi vain kiinteistösähkön (pumput, kiinteistövalaistus, hissit, jne) kulutusta. Tällöin kiinteistösähkönkulutusta suurempi tuotanto katsottaisiin sähkön tuotannoksi ulkopuoliseen verkkoon, vaikka koko rakennuksen sähkönkulutus ottaen huomioon myös asuntojen sähkönkulutuksen olisikin tätä suurempi. Jos taloyhtiön aurinkosähköjärjestelmällä halutaan kompensoida myös taloyhtiön asukkaiden sähkönkulutusta, olisi kiinteistön aurinkosähköjärjestelmästä käytännössä vedettävä johdot jokaiseen kiinteistön asuntoon oman mittarin kautta.

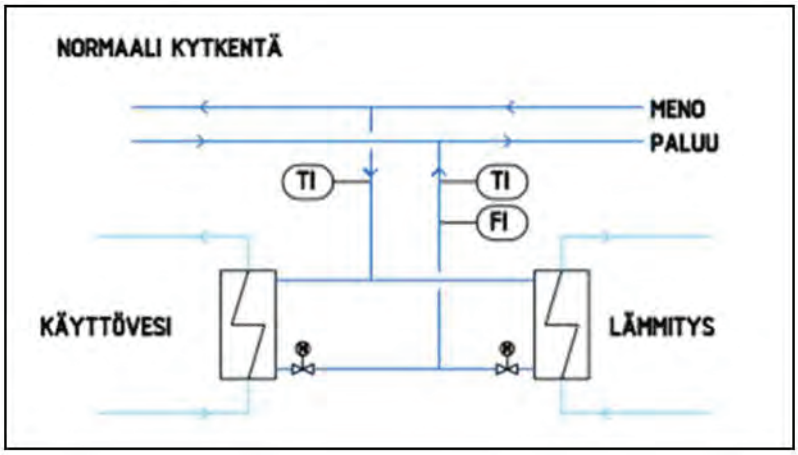
Esimerkiksi Oulun Energia on kuitenkin aloittanut kokeilun, jossa taloyhtiön aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä on käytetty myös suoraan kiinteistön asukkaiden omien sähkönkulutuksien kompensointiin energiamittaroinnin avulla. Tällöin taloyhtiön asukkaat kompensoivat myös omaa sähkönkulutustaan omistamiensa taloyhtiön osakkeiden suhteessa ilman monimutkaista kiinteistön sähköjärjestelmää. (Yle uutiset 2016)

2.2.3 Aurinkolämmön liittäminen kiinteistön lämpöverkkoon

Aurinkolämpöjärjestelmä on asutuissa kiinteistöissä aina hybridijärjestelmä, sillä vaatii osakseen jonkin toisen päälämmöntuottotavan johtuen olemattomasta aurinkolämmön tuotannosta talvikuukausina. Tässä selvityksessä keskitytään kiinteistöihin, jotka ovat liitetty alueen kaukolämpöverkkoon. Perusperiaatteiltaan aurinkolämmön liittäminen myös osaksi muuta lämpöjärjestelmää voidaan toteuttaa myös samantyyppisin periaattein.

Kuvassa Kuva 2-7 on esitetty normaali kiinteistön lämmönjakokeskuskytkentä, jolla kaukolämpökiinteistö liitetään kaukolämpöverkkoon ja jossa käyttövedelle ja lämmitykselle on omat lämmönsiirtimet.

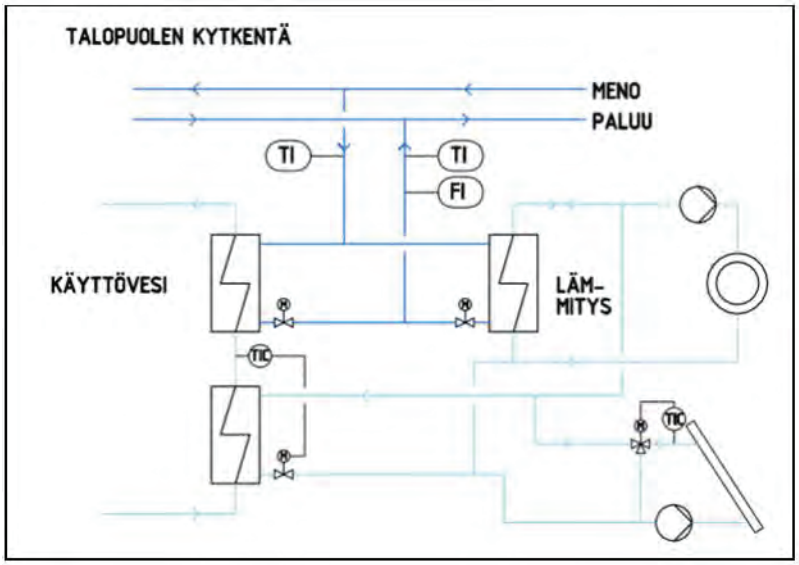
Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-7 Normaali kiinteistön kaukolämpökytkentä (ilman omaa lämmöntuotantoa)

Tilanteessa, jossa kaikki aurinkolämpö tulee kiinteistön omaan käyttöön, kiinteistö kytketään kaukolämpöverkkoon normaalilla kytkennällä (Kuva 2-8). Yksinkertaisimmillaan aurinkokeräimet kytketään suoraan talon lämmitysjärjestelmään, jolloin on huomioitava aurinkopiirissä kiertävän nesteen pakkasenkesto. Aurinkolämpö siirretään käyttöveteen erillisen lämmönsiirtimen kautta.

Järjestelmään voidaan asentaa myös mukaan varaaja, jonka avulla lämmöntuotannon vuorokausivaihteluita voidaan tasata, koska tyypillisesti aurinkolämmön tuotanto ja kiinteistön lämmön tarve eivät ajallisesti kohtaa ja lisäksi aurinkolämmön tuotanto vaihtelee päivän aikana sään mukaan. Mikäli aurinkolämpöä varten hankitaan varaaja, se asennetaan lämmityspiiriin lähelle keräimiä.



Kuva 2-8 Aurinkolämmön mahdollisimman yksinkertainen kytkentä kiinteistön lämmitysjärjestelmään.

2.2.4 Kiinteistökohtaisen aurinkolämmön siirtäminen kaukolämpöverkkoon

Aurinkolämmön tuotannon liittäminen kaukolämpöverkkoon tarjoaa hyötyjä; kaukolämpöverkon avulla aurinkolämpöä voidaan siirtää tuottajilta kuluttajille ja siten hyödyntää täysimääräisesti kaikki tuotettu aurinkolämpö.

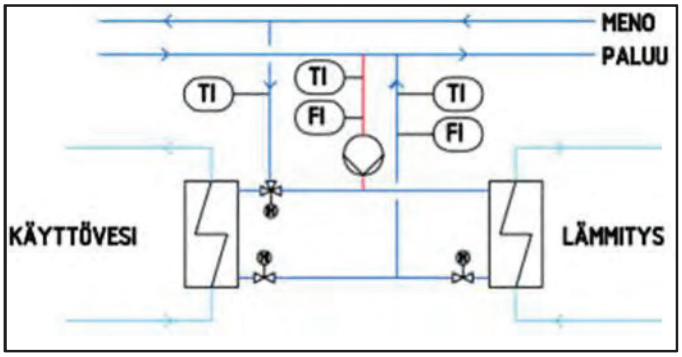
Aurinkolämmön tuotannon kytkemiselle kaukolämpöverkkoon ei ole teknisiä esteitä. Monet kaukolämpöyhtiöt ostavat nykyäänkin osana normaalia toimintaansa esimerkiksi

Copyright © Pöyry Finland Oy

teollisuuden hukkalämpöä verkkoonsa. Näissä tapauksissa tyypillisesti ulkopuolinen toimittaja pystyy toimittamaan lämpöä halvemmalla kuin kaukolämpöyhtiö itse pystyisi lämpöä tuottamaan mikä tarjoaa kaukolämpöyhtiölle mahdollisuuden kannattavaan liiketoimintaan.

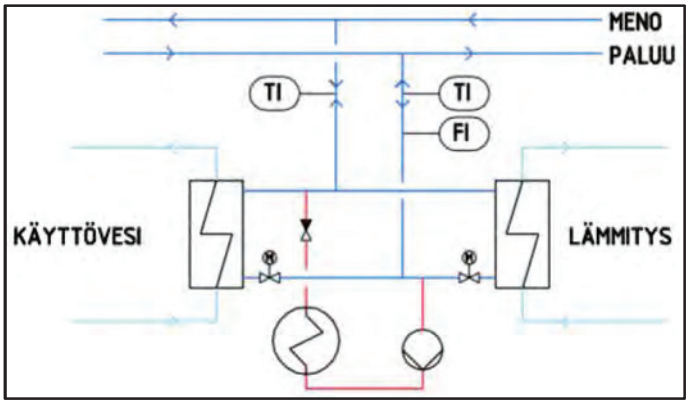
Kun aurinkolämpöä halutaan siirtää kaukolämpöverkon puolelle, kytkentä riippuu keräinten toimintalämpötilasta. Matalassa lämpötilassa (65 °C / 40 °C) toimivat keräimet kannattaa sijoittaa kiinteistön lämpöverkkoon kun taas korkeassa (75 °C / 40 °C) lämpötilassa toimivat keräimet on suositeltavaa sijoittaa kaukolämpöverkon puolelle. Molemmissa tapauksissa aurinkolämpöä käytetään ensisijaisesti kiinteistön tarpeeseen ja ylijäämälämpö siirretään kaukolämpöverkkoon. Järjestelmä mahdollistaa myös käyttöveden priimaamiseen kaukolämmöllä.

Matalan lämpötilan aurinkolämpöjärjestelmän liittäminen siirretään kaukolämmön paluulinjaan lämmityksen lämmönsiirtimen kautta, jonka lisäksi tarvitaan normaalin kaukolämpökytkennän lisäksi kolmas putki talojohtoon (kolmiputkijärjestelmä) sekä pumppu ja uusi mittaus kaukolämpölinjaan. Kuvassa Kuva 2-9 on esitetty aurinkolämmöntuotannon liittäminen kaukolämmön paluulinjaan.



Kuva 2-9 Matalan lämpötilan järjestelmän kytkeminen kaukolämpöverkkoon (aurinkolämmöntuotanto liitetty kiinteistön lämmitysjärjestelmän puolelle)

Korkean lämpötilan järjestelmää liitettäessä keräimet voivat olla kytkettynä myös kaukolämpöverkon puolelle. Tämä järjestelmä vaatii normaalin kytkennän ohella pumpun, automaatiota sekä virtausmittauksen molempiin suuntiin. Kuvassa Kuva 2-10) on esitetty aurinkolämmöntuotannon liittäminen kaukolämmön menolinjaan, kun aurinkolämpö siirretään kiinteistön lämpöverkon kautta.



Kuva 2-10 Korkean lämpötilan järjestelmän kytkeminen kaukolämpöverkkoon (aurinkolämmöntuotanto liitetty kiinteistön lämmitysjärjestelmän puolelle)

Energiayhtiön näkökulmasta voidaan tiivistetysti todeta, että paluulinjaan tuotettu lämpö kasvattaa pumppauskustannuksia sekä lisää verkon lämpöhäviöitä kaikissa kaukolämpöjärjestelmissä. Suuressa määrin paluulinjaan tuotettu lämpö johtaisi myös

Copyright © Pöyry Finland Oy

suurempiin kaukolämpöjohtoihin. Lisäksi jos kaukolämpöverkon tuotantolaitoksessa on savukaasujen lämmöntalteenottopesuri, ei aurinkolämpöä kannata tuottaa paluulinjan lämpötilassa johtuen luokkaa 30-60 % alhaisemmasta kaukolämpöverkon paluuveden arvosta suhteessa menoveden arvoon. Muissa tuotantovaihtoehdoissa paluulinjaan tuotanto voi olla kannattavampaa, mikäli muut tuotantokustannukset ovat suuret.

Kaukolämpöverkkoon liittämistä ei säädellä missään laissa. Lämmön myyjällä ei siten ole lakisääteistä velvoitetta liittää asiakasta kaukolämpöverkkoon. Koska lakisääteisiä velvoitteita ei ole, lämmön myyjän ja asiakkaan oikeudet ja velvollisuudet määritellään osapuolten välillä solmittavassa lämpösopimuksessa ja sopimuksen osana olevissa lämmönmyyjän liittymis- ja myyntiehdoissa. Sama pätee myös, mikäli ulkopuolista tuotantoa liitetään kaukolämpöverkon piiriin. Lämmöntuottajan ja kaukolämpöyhtiön välisessä sopimuksessa tulisikin siksi tarkkaan määritellä osapuolten velvollisuudet sekä vastuut häiriö- ja vikatilanteissa sekä laitteiston kunnossapidon osalta.

2.3 Aurinkoenergian varastointi

2.3.1 Kiinteistökohtainen energian varastointi

Aurinkoenergialla tuotetun sähkön varastointi on tarpeen erityisesti verkkoon kytkemättömien pientuotantojärjestelmien yhteydessä, mutta tulevaisuudessa aurinkosähkön yleistyessä ja tuotantokapasiteetin lisääntyessä sähkön varastointia tarvitaan myös tasaamaan sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä eroa eri vuorokauden- ja vuodenaikoina.

Energian varastointiteknologiat voidaan kategorisoida sähkökemiallisiin järjestelmiin, joita perinteiset akut edustavat, sekä lisäksi sähköisiin, kemiallisiin, mekaanisiin ja termisiin järjestelmiin.

Sähkökemiallisia järjestelmiä aurinkosähkön varastointiin edustavat akustot, joita käytetään yleisesti osana esimerkiksi omakotitalojen tai kesämökkien aurinkosähköjärjestelmiä. Aurinkosähköakut ovat tyypillisesti lyijy- tai tällä hetkellä nopeasti kehittyviä ja yleistyviä litium-akkuja.

Aurinkolämmön osalta kiinteistökohtainen lämmönvarastointi tapahtuu tyypillisesti varaajan kautta (kappale 13).

2.3.2 Aluekohtainen energian varastointi

Kiinteistökohtaisten energianvarastointimenetelmien lisäksi on olemassa myös erilaisia ideoita suuremman energiamäärän varastoimisesta.

Aluekohtaisesti lämpöä voitaisiin varastoida lämpöakulla eli periaatteessa yhdellä isolla lämpövaraajalla. Monissa kaukolämpöyhtiöissä käytetään jo tuhansien kuutioiden kokoisia lämpöakkuja tasaamaan kulutuksen vaihteluja. Tyypillisesti lämpöakkuja käytetään lyhytaikaiseen lämmön varastointiin, mutta erityisesti aurinkokaukolämmön kanssa varastoidaan lämpöä jopa kuukausiksi. Esimerkiksi Tanskassa käytetään aurinkokaukolämmön yhteydessä maakuoppavarastoja, joissa kuumaa vettä varastoidaan maahan tehdyssä eristetyssä kuopassa. Varaston avulla voidaan joissain kaukolämpöverkoissa tuottaa kaikki tarvittava kaukolämpö auringolla jopa marraskuulle asti.

Sähkön osalta alueelliset energianvarastointimenetelmät eivät ole vielä kaupallisesti kannattavia, eikä niitä ole ehdotettu tässä selvityksessä alueellisiksi varastointimenetelmiksi. Tässä kappaleessa on kuvattu lyhyesti muutamia

Copyright © Pöyry Finland Oy

kehitysasteella olevia ideoita, joita voitaisiin kuitenkin hyödyntää alueellisessa energian varastoinnissa mikäli ne osoittautuvat myöhemmin taloudellisesti kannattaviksi.

Sähköinen varastointi esimerkiksi superkondensaattorin avulla on lyhytaikaista, ja voisi aurinkosähkön yhteydessä soveltua esimerkiksi pilvisyyden aiheuttaman vaihtelun tasoittamiseen (Pasonen 2012). Kemialliseen varastointiin soveltuu esimerkiksi vety tai synteettinen maakaasu, jota voidaan sitten hyödyntää esimerkiksi polttomoottoreissa tai voimalaitoksissa. Mekaanisia varastointitapoja edustavat vauhtipyörät, paineilmajärjestelmät ja pumpatut vesivarastot. Termisiä varastoja puolestaan ovat lämmin vesi, sulasuola, kivipatja sekä älykäs sähkölämpö.

Verkkoon kytketyissä tuotantolaitoksissa on vielä harvinaista turvautua akkuvarastointiin, sillä sen kustannus on korkea verrattuna siihen, että kompensoinnin tarpeisiin ostettaisiin verkon kautta muualla tuotettua energiaa. World Energy Council (2016) kuitenkin ennustaa, että energian varastointiteknologioiden hinta laskee jopa 70 % vuoteen 2030 mennessä.

Yksi esimerkki sähkön varastointiratkaisun hyödyntämisestä tuuli- ja aurinkopuiston yhteydessä on Kiinan Zhangbein *National Wind and Solar Energy Storage and Transmission Project*, joka aloitti toimintansa vuonna 2011. Projektissa on 100 MW tuulienergiaa ja 40 MW aurinkosähköä, sekä varastointiin litiumioniakusto, jonka kapasiteetti on noin 20 MW. Kyseessä on Kiinan valtion demohanke, jonka tavoitteena on testata suurten sähkömäärien siirtoverkkoon syöttämisen vakautta ja ennustettavuutta.

Monista maista löytyy esimerkkejä tuulipuistojen yhteydessä hyödynnettävistä akkujärjestelmistä, mutta laajoissa aurinkopuistoissa tuotetun energian varastoinnista löytyy toistaiseksi vain lähinnä testi- ja tutkimuskäyttöön asennettuja esimerkkejä. Myös termistä varastointia hyödynnetään vasta vähän; Yhdysvalloissa ensimmäinen termistä varastointia sulasuolan muodossa hyödyntävä laitos on keskittävän aurinkovoiman 280 MW tuotantolaitos (*Solana*) Arizonassa. Sen varastointikapasiteetti vastaa voimalaitoksen noin 6 h:n tuotantoa.

Teollisen kokoluokan aurinkoenergiajärjestelmille tulevaisuudessa mahdollinen varastointimuoto on paineilmaan perustuva CAES (*Compressed Air Energy Storage*), joka on vielä kehitysvaiheessa.

Toinen esimerkki tulevaisuuden varastointimenetelmästä on suomalaisen startup-yrityksen kehittämä Teraloop-tekniikka, joka perustuu vauhtipyörän ja maglev-junasta tutun tekniikan yhdistelmään. Sähkö varastoituisi rinkulan mallisen putken sisällä magneettien varassa liikkuvien vaunujen liike-energiaksi, joka olisi muunnettavissa takaisin sähköksi. Täysikokoinen Teraloop-energiavarasto toimisi 500 MW teholla, ja sen varastointikapasiteetti olisi 16 GWh. Tällä hetkellä kehitystyö on prototyypin rakennusvaiheessa.

2.4 Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen

Passiivinen hyödyntäminen liittyy esimerkiksi rakennusten suunnitteluun ja rakentamiseen siten, että auringonvalo- ja lämpö tulee hyödynnetyksi mahdollisimman tehokkaasti järkevän suuntauksen ja esimerkiksi isojen ikkunapintojen avulla. Näin auringon säteily lämmittää talon rakenteita ilman erillisiä keräinjärjestelmiä.

Rakennuskannan pinta-alaltaan suurempien sivujen suuntaaminen etelään edesauttaa passiivisen aurinkoenergian hyödyntämistä. Auringonsäteilyn lämmittävää vaikutusta

Copyright © Pöyry Finland Oy

tehostaa rakennusten sijoittaminen tuulensuojaan, mikä pienentää rakennuksien lämpöhukkaa.

Passiiviseen aurinkoenergianhyödyntämiseen liittyy vahvasti sellaisten varjostavien rakenteiden käyttö, joissa lämmittävää auringonsäteilyä päästetään varastoitumaan rakenteisiin tehokkaasti talvikuukausien aikana, mutta kesäkuukausina varjostavat rakenteet estävät ylimääräisen lämmönsaannin ikkunoiden kautta. Tyypillinen rakenne on ikkunoiden yläpuolelle asennettavat pienikulmaiset lipat, jotka estävät auringonsäteilyn pääsyn ikkunoiden läpi kesäkuukausina, mutta talvikuukausina auringon matalampi paistekulma hyödyntää tehokkaasti auringon säteilyn lämmittävän tehon. Tämäntyyppisiin lipparakenteisiin on myös mahdollista liittää aurinkopaneelijärjestelmiä, kuten on tehty esimerkiksi Kuopion nollaenergiatalon julkisivuissa.

Kuva 2-11 Kuopion nollaenergiatalon julkisivu. Aurinkopaneelililipat mahdollistamat auringon säteilyn lämmittävän vaikutuksen talvikuukausina, mutta estävät ikkunoiden läpi pääsevää lämmittävää säteilyä erityisesti kesäkuukausien aikana. (Kuvan lähde: http://www.nollaenergia.fi/kuopiontalo.php)

2.5 Vaihtoehtoisia aurinkoenergian asennustapoja

Katto- ja julkisivuasennuksien lisäksi aurinkoenergiajärjestelmiä voidaan asentaa myös maahan tai kelluville perustuksille, tai integroida keräimiä rakennuksen rakenteisiin. Myös tiealueiden kattaminen aurinkopaneeleilla on teknisesti mahdollista.

Maaperusteiset paneelit vaativat alleen paalut, tukipilarit tai jalustan, joiden mallin valinta riippuu alustan geoteknisistä ominaisuuksista ja maaperän laadusta. Maaperustaisia aurinkopaneelijärjestelmiä voitaisiin integroida mahdollisuuksien mukaan myös esimerkiksi meluvalleihin tai muihin muuten hyödyntämättömiin maa-alueisiin. Myös suurjännitevoimalinjojen johtoaukeita on ehdotettu aurinkopaneeleiden potentiaaliseksi asennuspaikaksi, mutta kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n uusien ohjeistusten mukaan tätä ei sallita (Fingrid Oyj 2016).

Maanvaraisten perustusten koko mitoitetaan yleensä tuulikuorman aiheuttaman kaatavan momentin perusteella. Tukirakenteena paalut voidaan upottaa maahan ja pilarit

Copyright © Pöyry Finland Oy

istuttaa betonilaattaan. On myös mahdollista hyödyntää painotettua betoni- tai teräsperustusta (*ballast foundation*), joka ei vaadi maapohjan läpäisemistä. Pehmeiden maakerrosten alueella voidaan tarvita massanvaihtojen tekemistä parantamaan pohjamaan kantavuutta ja estämään painumia. Suuret aurinkopaneelikokonaisuudet, teollisen kokoluokan aurinkopuistot, ovat tyypillisesti maaperusteisia.

Esimerkkejä vesialueille perustetuista aurinkoenergian tuotantoalueista löytyy mm. Japanista ja Englannista. Tyypillisesti hyödynnetään patoaltaan tai tekojärven selkeärajaista vesialuetta, mutta myös esimerkiksi tulvamaa on hyödynnettävissä kelluvalla perustusratkaisulla. Kelluvan perustuksen ympäristövaikutukset voivat jäädä maaperustuksia pienemmiksi, koska niiden yhteydessä ei vaadita kaivauksia. Lisäksi ne voivat esimerkiksi kastelualtaan yhteydessä suojata allasta liialta haihtumiselta ja patopengertä puolestaan eroosiolta estämällä aallokoitumista. Kelluvia aurinkosähkön tuotantolaitoksia on myös menestyksekkäästi rakennettu alueille, joilla talvisin muodostuu jäätä, mm. Etelä-Koreassa ja Yhdysvalloissa.

Kuva 2-12 Esimerkkejä kelluville perustuksille asennetuista aurinkopaneeleista. (Kuvat: Ciel&Terre)

Tiealuetta voi hyödyntää aurinkosähkön tuottamiseen joko kattamalla tie aurinkopaneeleilla tai päällystämällä tienpinta aurinkopaneelipäällysteellä. Aurinkopaneelipäällyste on teknisesti toteutettavissa, ja sitä on kokeiltu mm. Alankomaissa. Tammikuussa 2016 uutisoitiin, että Ranskan hallitus on hyväksynyt suunnitelman päällystää noin 1000 km tiepintaa seuraavan viiden vuoden aikana (ScienceAlert, 2016). Niin kutsuttu Wattway -teknologia, jota Ranskankin hankkeessa aiotaan hyödyntää, mahdollistaa 7 mm paksun aurinkopaneelipäällysteen lisäämisen tienpintaan ilman muutoksia alkuperäisessä päällysteessä. Wattwayn mukaan paneelit kestävät erilaisia säätiloja ja mukautuvat ympäristön lämpötilaan samoin kuin varsinainen tie. Tienpäällyspaneelien hyötysuhteeksi on raportoitu 15 %. Suomessa raskaat aurauskalustot sekä nastarenkaat tuovat haasteita tienpäällyspaneeleiden käyttöönotolle.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kuva 2-13 Tien päällystäminen aurinkopaneelilla. (Kuva: Wattway)

Aurinkolämmön osalta viime aikoina on markkinoille tullut erillisten keräinyksiköiden rinnalle myös seinä- ja kattorakenteisiin integroituja keräimiä. Suomessakin integroituja keräimiä on käytössä jo joissain kohteissa. Rakennusteknisistä kompromisseista johtuen integroitujen järjestelmien hyötysuhde saattaa jäädä erillisiä järjestelmiä matalammaksi. Toisaalta integroidut järjestelmät ovat hyvinkin huomaamattomia eikä erillisten keräinten kiinnittämisestä aiheutuvia haasteita ole.

2.6 Taloudelliset lähtökohdat

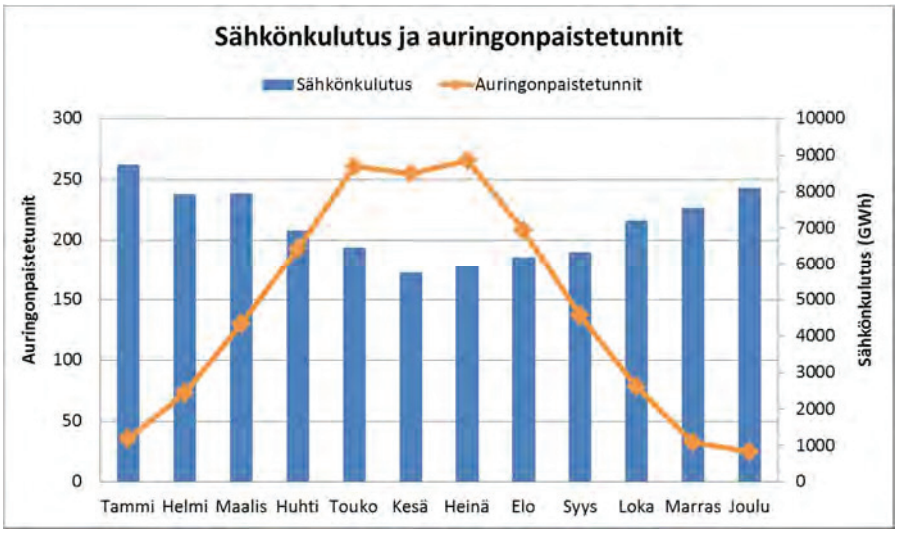
2.6.1 Olosuhteet Suomessa

Aurinkoenergian tuotanto riippuu auringonsäteilyn määrästä sekä siitä, kuinka suuri osa säteilystä saadaan hyödynnettyä. Säteilyn osalta eniten vaikuttaa sijainti, pilvisyys sekä mahdollisuus sijoittaa aurinkopaneelit optimaaliseen kulmaan.

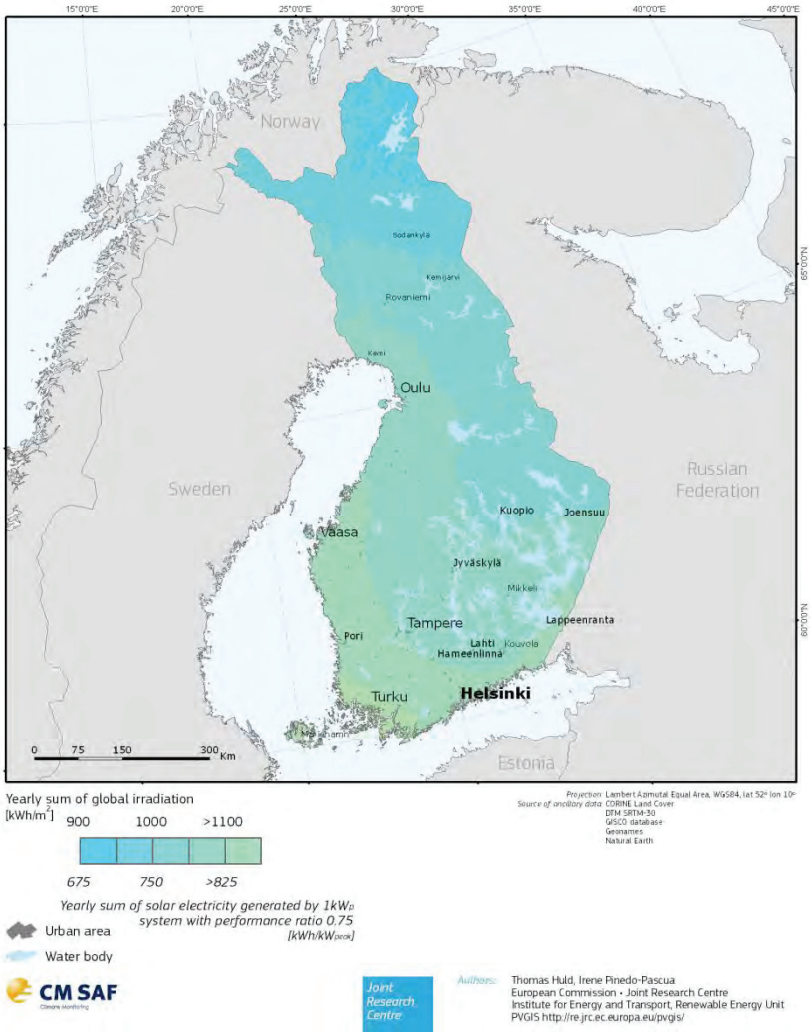
Suomen olosuhteita leimaa voimakas vuodenaikaisvaihtelu (Kuva 2-14). Auringonpaistetuntien kuukausittainen määrä vaihtelee Etelä-Suomessa talvikuukausien alle 50 tunnista kesäkuukausien yli 250 tuntiin. Vuosittainen kokonaissäteilymäärä (Kuva 2-15) Etelä-Suomessa on vastaava kuin Saksassa, sillä kesän pitkät valoisat päivät kompensoivat talviajan vähäistä säteilymäärää. Suomen sisällä vuoden kokonaissäteilymäärissä on kohtalaisia eroja tarkasteltaessa eri paikkakuntia: Helsingin leveysasteella saavutetaan vuodesta riippuen noin 1100 kWh/m^2, Jyväskylän leveydellä noin 950 kWh/ m^2 ja Sodankylässä noin 850 kWh/m^2.

Koska myös sähkönkulutuksella on voimakas vuodenaikaisvaihtelu, jonka huippu ajoittuu kylmimpiin talvikuukausiin, ei aurinkosähkön ja sen hyödyntämisen tarkastelussa voida nojata vain kohtuulliseen kokonaissäteilymäärään, vaan tuotantopotentiaalin ja kulutuksen kausijakaumia tulee tarkastella rinnakkain.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 2-14 Kuukausittainen sähkönkulutus ja auringonpaistetunnit. Sähkönkulutustilasto edustaa keskimääräistä kuukausittaista kokonaiskulutusta Suomessa ajanjaksolla 12/2006–11/2015 (Energiateollisuus ry 2015). Auringonpaistetunnit ovat kuukausittaisia keskiarvoja Jokioisten sääaseman 30 v. havaintotilastoista 1981–2010 (Pirinen ym. 2012).



Kuva 2-15 Globaalisäteilyn määrä vuodessa (kWh/m^2, väriskaalan yläpuolinen asteikko) sekä optimaalisesti asennetuilla aurinkopaneeleilla saavutettava vuosituotanto tehoyksikköä kohden (kWh/kW$_p$, väriskaalan alapuolinen asteikko). (Kartta: Šúri 2007; Huld 2012 / IET)

Copyright © Pöyry Finland Oy

Aurinkopaneelien tehokkuus sähköntuottajana perustuu siihen, että järjestelmällä saadaan otettua vastaan mahdollisimman paljon säteilyä kallistuskulmaa ja suuntausta säätämällä. Aurinkoa kohti suunnatut paneelit pystyvät siis hyödyntämään suuremman säteilymäärän kuin mitä maahan saapuu vaakatasossa olevaa pinta-alayksikköä kohden. Markkinoilla on sekä kiinteästi suunnattuja, että kallistuskulmaltaan eri tavoin säädettäviä paneeliratkaisuja.

Suomen olosuhteissa tulee kiinnittää erityistä huomiota kylmään ja lumiseen talveen. Lumesta aiheutuvat haitat voidaan minimoida aurinkopaneelien asennuskulman ja -tavan avulla, sekä säännöllisellä lumenpoistolla. Kanadassa tehdyn selvityksen mukaan lumi heikensi maahan asennetun aurinkoenergiajärjestelmän tuotantotehoa vuodessa noin 1–3 % (Andrews ym. 2013). Viileän ilman on puolestaan osoitettu pienentävän sähköistä resistenssiä järjestelmässä ja siten parantavan aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Lumen heijastus voi lisäksi lisätä hyödynnettävän hajasäteilyn määrää.

Kuva 2-16 Aurinkopaneeleja lumisissa olosuhteissa. (Kuva: Keravan Energia)

Nestekiertoisten aurinkokeräinten yhteydessä on lisäksi huomioitava pakkasen kestävän kiertonesteen valinta. Lisäksi tulee varautua lumenpoistotoimenpiteisiin, sillä keräinten päälle kertyvä lumi voi paitsi vähentää tuotantoa, myös kasvattaa lumikuormaa katolla sijaitessa esimerkiksi lumen kinostuessa paneeleiden alle tai väliin.

Pöly ja hiekka eivät ole aurinkopaneelien tai -keräinten kannalta ongelma Suomen olosuhteissa. Siitepöly sen sijaan voi vaatia pesutoimenpiteitä osana paneelien kunnossapitoa.

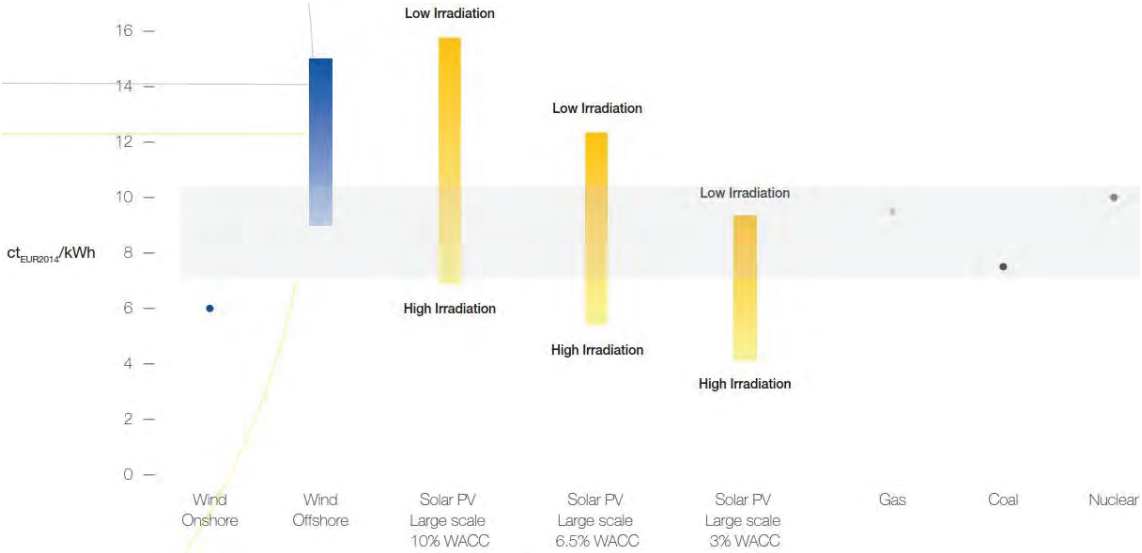
2.6.2 Kannattavuus, nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät

Aurinkosähkön tuotantojärjestelmien markkinat ovat kasvaneet globaalisti samalla kun niiden tuotantokustannukset ovat laskeneet noin 75% alle kymmenessä vuodessa. Suomessa vuonna 2014 toteutuneiden aurinkosähköinvestointien hinnat olivat alimmillaan noin 1,2-1,5 €/W_p (Tahkokorpi 2015). Paitsi paneelien, myös invertterein ja esimerkiksi asennustöiden kustannukset ovat laskeneet. Esimerkiksi Saksassa

Copyright © Pöyry Finland Oy

aurinkosähkön tuotantokustannus on laskenut tasolta 40 snt/kWh (2005) tasolle 9 snt/kWh (2014) (Fraunhofer ISE 2015). Pöyryn suuntaa-antava arvio aurinkosähkön tuotantokustannuksesta vuonna 2015 on noin 10.5 snt/kWh.

Muihin energiantuotantomuotoihin verrattuna aurinkosähkön tuottaminen voi olla kilpailukykyistä (Kuva 2-17).



Kuva 2-17 Aurinkosähkön kustannukset (snt/kWh, leveroitu vuoden 2014 hintatasolle) energiayksikköä kohden verrattuna muihin energiantuotantojärjestelmiin (vasemmalta oikealle: maatuulivoima, merituulivoima, teollisen kokoluokan aurinkopaneelit 10% pääoman tuotto-odotuksella, 6,5 % tuotto-odotuksella ja 3 % tuotto-odotuksella, kaasu, hiili ja ydinvoima). (Kuva: SolarPower Europe)

Aurinkosähkön tuotannon kannattavuus linkittyy vahvasti investointikustannukseen, eli paneelien, invertereiden, asennuksen, verkkoliitynnän ja hankekehityksen kustannuksiin, sekä järjestelmällä saavutettavaan tuotantoon. Aurinkosähköinvestointien taloudellisuus on kuitenkin riippuvaista myös poliittisista toimenpiteistä, kuten tuista, energian verotuksesta, päästökaupasta sekä muiden energialähteiden hintakehityksestä.

Päästökauppajärjestelmän kehityksestä riippuen on mahdollista, että energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat tulevaisuudessa merkittäviä tuotantokustannuksia, mikä nostaa päästöttömien tuotantomuotojen, kuten aurinkoenergian, kilpailukykyä.

Suomessa aurinkosähkö- ja aurinkolämpöhankkeille voi saada investointitukea työ- ja elinkeinoministeriöltä. TEM:n ohjeellinen tukiprosentti hyväksyttävistä kustannuksista on 25 % aurinkosähköhankkeille ja 20 % aurinkolämpöhankkeille, kun kyseessä on yritysten tai julkisten toimijoiden uusiutuvan energian investoinnit (TEM 2016). Sekä aurinkosähkö että aurinkolämpö kuuluvat tukijärjestelmässä ns. tavanomaisten teknologioiden kategoriaan. Lisäksi aurinkoenergia voi olla osa innovatiivista investointia, jonka kustannuksille TEM voi myöntää kokonaisuudessa maksimissaan 40 %:n tuen.

Nimellisteholtaan alle 100 kVA voimalaitokset ovat vapautettu kaikesta sähköverovelvollisuudesta. Omaa käyttöä varten tuotettu sähkö on verovapaata voimalan nimellistehon ollessa yli 100 kVA ja vuosituotannon jäädessä alle 800 000 kWh:iin (*Suomen tulli 2016)*. Lisäksi yksittäiset taloudet voivat saada kotitalousvähennystä aurinkoenergiajärjestelmien työkustannuksista, mutta tämä ei koske taloyhtiöitä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Aurinkosähkön tuotantolaitosten käytönaikaiset kustannukset ovat matalat, sillä aurinkopaneeleissa ei juuri ole huoltoa vaativia liikkuvia ja kuluvia osia.

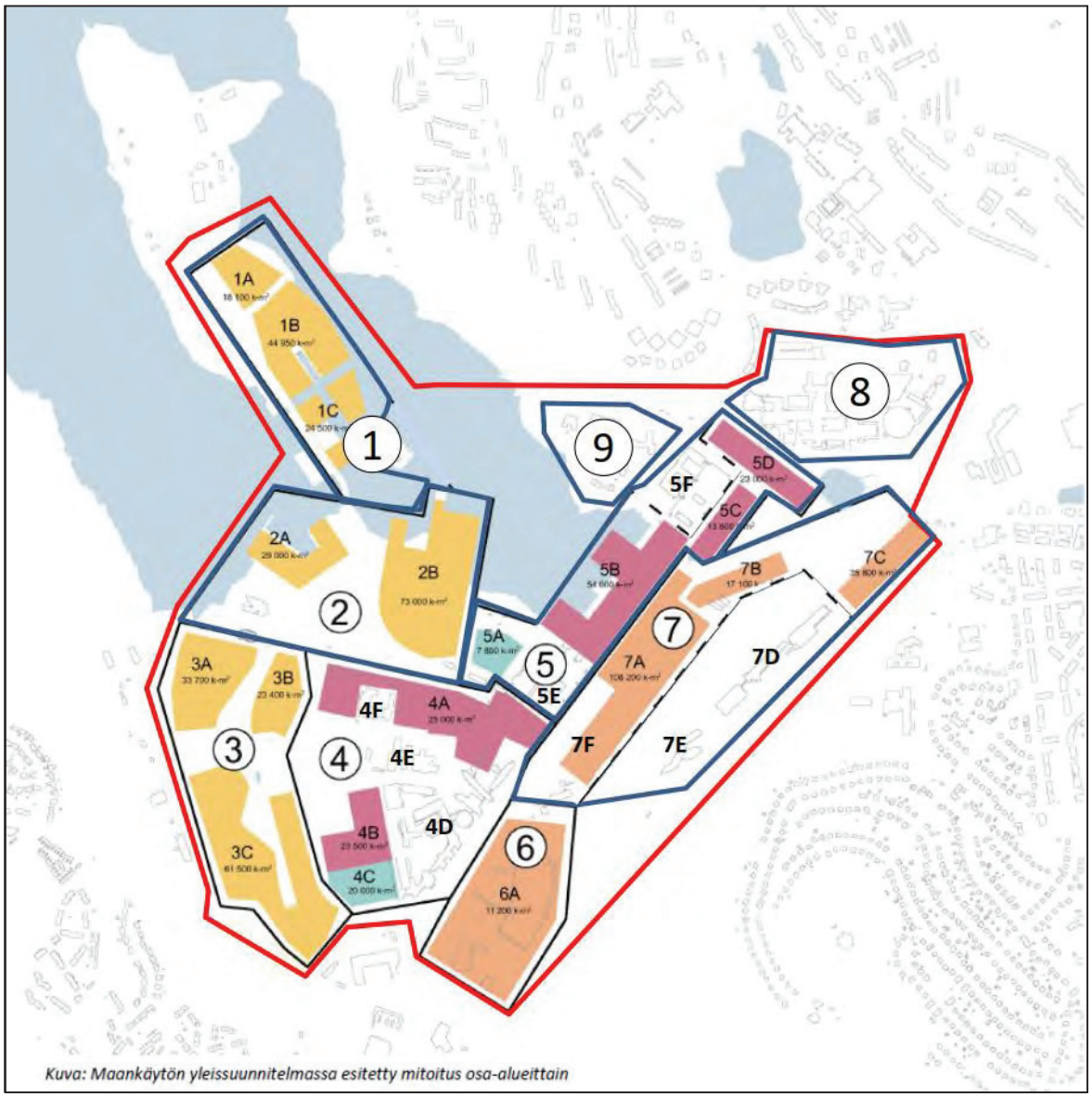
Aurinkolämpöjärjestelmien tuotantokustannus muodostuu pääosin investointikustannuksesta. Keskitetyissä järjestelmissä ja kiinteistöratkaisuissa investoinnin osuus on yli 85 %, ja loppuosa muodostuu muista kiinteistä sekä muuttuvista kustannuksista. Muihin kiinteisiin kuluihin sisältyvät esimerkiksi järjestelmän ylläpitoon liittyvät kulut sekä vakuutukset. Muuttuviin kustannuksiin lasketaan esimerkiksi aurinkopiirin pumppauskustannukset. Muuttuvien kustannusten merkitys tuotantokustannuksiin on hyvin pieni, noin 1 %.

Copyright © Pöyry Finland Oy

3 SUUNNITTELUKOHTEEN KUVAUS

3.1 Aluerajaus ja tarkasteltavat osa-alueet

Tämä työ pohjautuu soveltuvin osin Tengbom Eriksson Arkkitehdit Oy:n tekemään maankäytön yleissuunnitelmaehdotukseen (2015). Maankäytön yleissuunnitelmassa esitettyjä seitsemää aluetta on laajennettu tässä selvityksessä Kuopion yliopistollisen sairaalan ja Harjulan sairaalan alueilla. Selvityksessä käytetyt aluerajaukset sekä niihin suunnitellut rakennuskannat on esitetty kuvassa Kuva 3-1 sekä taulukossa Taulukko 3-1.



Kuva 3-1 Selvityksessä käytetty aluerajaus ja uudet suunnitellut rakennuskannat (muokattu Savilahden maankäytön yleissuunnitelmamateriaalin pohjalta).

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 3-1 Savilahden aluejako ja suunnitellut tulevat kerrosalat alueittain

Alue	Uusi kerrosala (k-m2)	Nykyisten rakennusten kerrosala, ei-purettavat rakennukset (k-m2)
1: Savisaari	88 000 (Asuminen 100 %)	0
2: Marikon ranta	102 000 (Asuminen 90 %, työpaikat ja palvelut 5 %, koulutustilat 5 %)	0
3: Varikon alue	119 000 (Asuminen 100 %)	0
4: Microkadun alue	77 000 (Työpaikat ja palvelut 50 %, koulutustilat 50 %)	116 000 (Toimisto- ja tutkimuslaitosrakennuksia)
5: Yliopiston alue	98 000 (Asuminen 15 %, työpaikat ja palvelut 40 %, koulutustilat 45 %)	102 000 (Kampusrakennukset, yliopistorakennukset)
6: Prisman ympäristö	11 000 (Kaupalliset palvelut 100 %)	23 000 (Myymälärakennukset, pysäköintirakennukset)
7: Savilahdentien ja Viestikadun alue	161 000 (Asuminen 10 %, työpaikat ja palvelut 90 %)	73 000 (Toimisto- ja teollisuusrakennukset, pysäköintirakennukset)
8: KYS - Niiralankatu	0	219 000 (Sairaalarakennukset, pysäköintirakennukset)
9: Harjulan alue	0	18 000 (Sairaalarakennukset, asuntolat)

On huomattavaa, että erityisesti Varikon alueella sijaitsee huomattava määrä nykyisiä rakennuksia, jotka puretaan. Näitä rakennuksia ei oteta huomioon tämän selvityksin potentiaalilaskelmissa.

3.2 Savilahteen jo rakennetut aurinkoenergiajärjestelmät

Savilahteen on vuoden 2016 aikana toteutettu jo kaksi isompaa aurinkosähköhanketta.

Kuopion yliopistollisen sairaalarakennuksen yhteyteen asennettiin kesällä 2016 pysäköintitalon, auditorion ja suurkeittiön katoille yhteensä noin 700 aurinkosähköpaneelia, joiden yksikköteho oli 260 W. Koko järjestelmän piikkiteho on 182 kWp.

Järjestelmän kokonaishankinta- ja asennuskustannus oli noin 1,5-1,6 €/Wp, mitä voi pitää kustannustehokkaana hankintana. Tämän lisäksi KYS:n järjestelmä sai TEM:n energiatuen kattamaan osan hankintakustannuksista. KYS:n rakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuotto on vastannut ensimmäisten kuukausien aikana alun perin arvioitua 870-875 kWh/kWp tuotantoa, ja jopa hieman ylittänyt sen.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Tämän lisäksi myös Savilahden kampusalueella sijaitsevan SYK Oy:n Melania-talon katolle on asennettu vuonna 2016 22 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä (78 kappaletta etelä-länsi -suunnattuja paneeleita).

Kuva 3-2 Kuopion yliopistollisen sairaalan pysäköintitalon päälle asennettu aurinkosähköjärjestelmä. (Kuvan lähde: Kuopion yliopistollinen sairaala)

Copyright © Pöyry Finland Oy

4 OLEMASSA OLEVAN RAKENNUSKANNAN AURINKOENERGIAPOTENTIAALIANALYYSI JA POTENTIAALIKARTTA

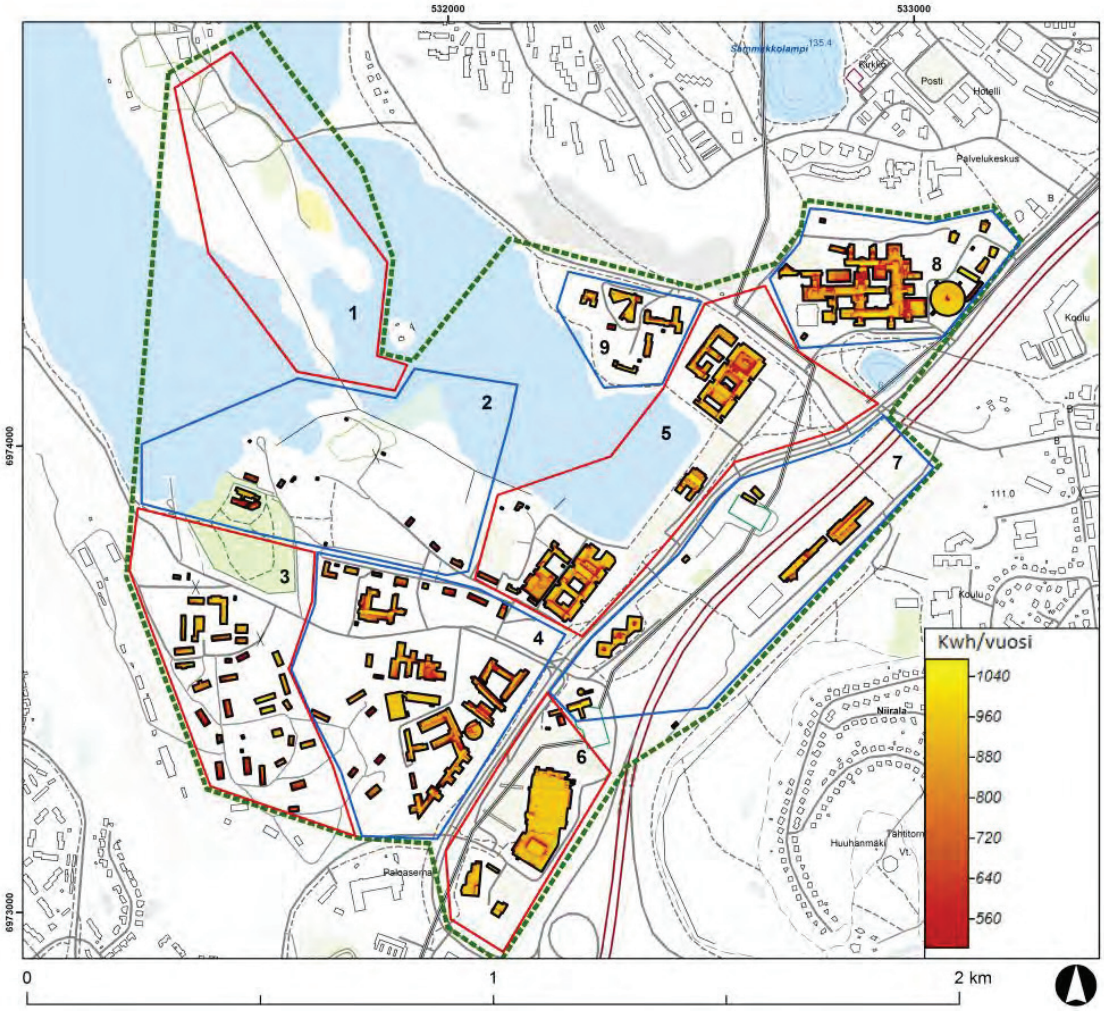
Osana työtä selvitettiin Savilahden olemassa olevan rakennuskannan kattopinta-alojen aurinkoenergiapotentiaali erillisen paikkatietoaineistopohjaisen analyysin kautta. Mallinnuksen lähtötietona käytettiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta luotua maastomallia Kuopion Savilahden alueelta vuodelta 2011.

Analyysin menetelmä perustui pinnanmuotojen ja suuntien, paikallisten aurinkosäteilyolosuhteiden ja varjostavien elementtien mallintamiseen ja niiden perusteella laskettuun kattopintojen sekä maaston aurinkosäteilyn vastaanoton laskemiseen. Analyysi huomioi diffuusin, suoran ja siroavan säteilyn, ilmankosteuden, pilvisyyden sekä kaikkien olemassa olevien kattopintojen kaltevuudet, muodot ja suuntaukset. Mallinnus huomioi lisäksi kaikki olemassa olevien rakenteiden ja kasvillisuuden aiheuttamat varjostukset.

Analyysin lopputuloksena syntyi georeferoitu TIFF-muotoinen karttamateriaali sekä koko alueesta maastonmuotoineen että pelkistä kattopinta-aloista. Rakennusten osalta analyysi kattoi kaikki alueen olemassa olevat rakennukset, jotka olivat keilaushetkellä vuonna 2011 rakennettuna. Esimerkiksi suuri osa Viestikadun ja osa Kuopion yliopistollisen sairaalan rakennuksista ei ollut vielä rakennettuna keilaushetkellä, joten ne eivät näy tämän työn lopputuloksena syntyneessä karttamateriaalissa.

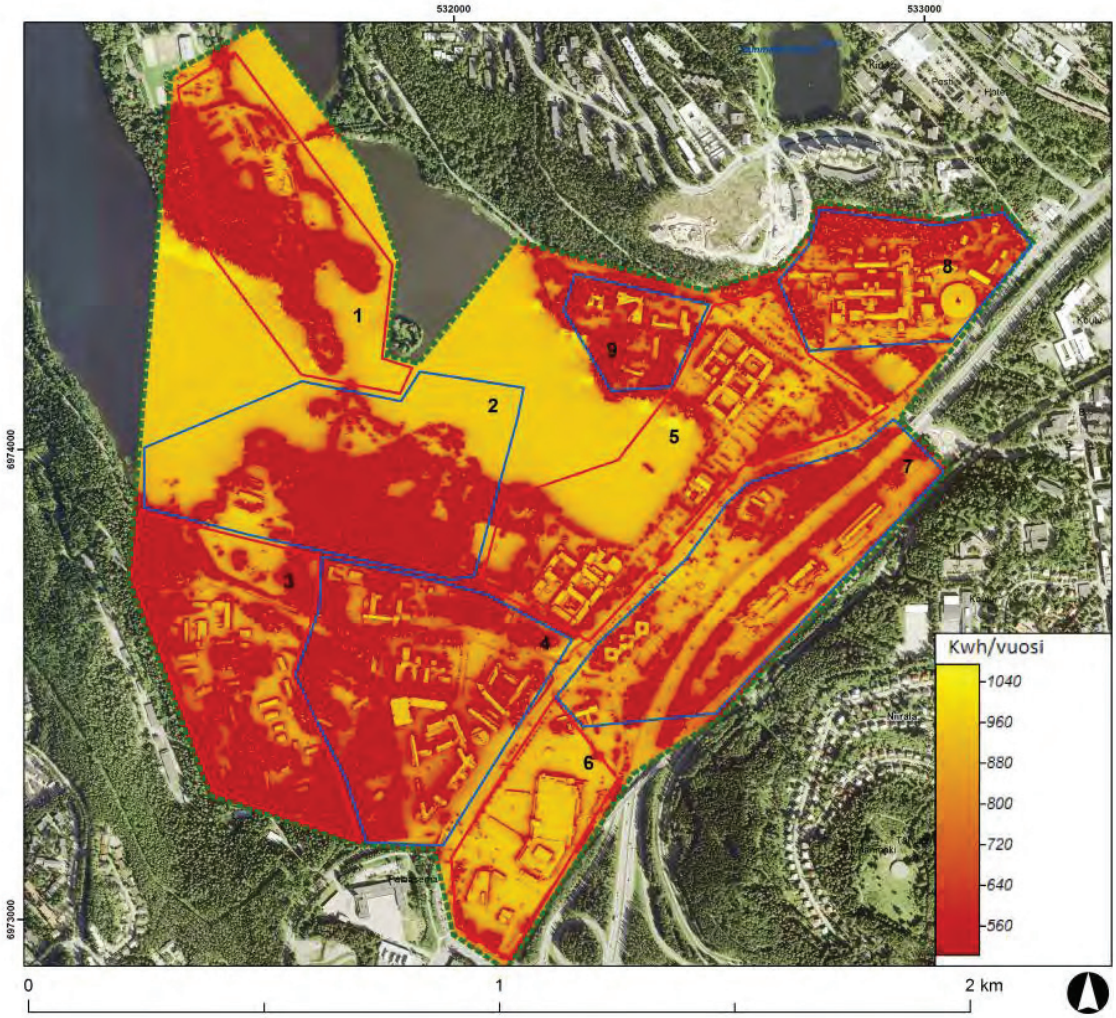
Kuvissa Kuva 4-1 ja Kuva 4-2 on esitetty aurinkopotentiaalikartta sekä koko Savilahdesta että pelkästään nykyisestä rakennuskannasta (vuoden 2011 tilanne). Yksityiskohtaisemmat arviot eri Savilahden alueiden aurinkoenergiapotentiaaleista on esitetty myöhemmissä luvuissa.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 4-1 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Kuopion Savilahden vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 4-2 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Kuopion Savilahden alueelle vuoden 2011 tilanteen mukaisesti. Taustakartan copyright Maanmittauslaitos 4/2016.

Analyysin lopputuloksena syntyi lisäksi rakennuskohtainen datataulukko, jossa olemassa olevan rakennuskannan kattopinta-alat olivat jaettu säteilytehon perusteella heikon säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho <850 kWh/m^2/vuosi), kohtalaisen säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho 850-950 kWh/m^2/vuosi) ja hyvän säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho >950 kWh/m^2). Näitä jaotteluita käytettiin hyväksi myöhemmin tässä työssä esitettyjen olemassa olevan rakennuskannan aurinkoenergiapotentiaalin määrittämiseen.

Analyysin mukaan varjostamattomalle vaakapinnalle Kuopion Savilahden alueella kokonaissäteilyteho on noin **882 kWh/m^2/vuosi**, jos mukaan lasketaan sekä suora että diffusoitunut säteily. Alla olevaan taulukkoon on koottu tätä säteilytehoa vastaavia ohjeellisia aurinkoenergiantuotantomääriä eri kallistuskulmilla etelään päin suunnattuna.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 4-1 Aurinkopaneelien ja –keräimien ohjeellisia tuotto-odotuksia etelääpäin suunnattuna eri kallistuskulmilla Savilahden alueella.

Kallistuskulma:	0 astetta	20 astetta	46 astetta
Auringon säteilyteho:	882 kWh/m^2/vuosi	1023 kWh/m^2/vuosi	1077 kWh/m^2/vuosi
Säteilyä vastaava aurinkosähkön-tuotanto:	110 kWh/m^2/vuosi (735 kWh/kWp /vuosi)	128 kWh/m^2/vuosi (855 kWh/kWp /vuosi)	135 kWh/m^2/vuosi (900 kWh/kWp /vuosi)
Säteilyä vastaava aurinkolämmön-tuotanto:	320 kWh/m2/vuosi	400 kWh/m^2/vuosi	440 kWh/m^2/vuosi

Copyright © Pöyry Finland Oy

5 RAKENNUSALUEIDEN AURINKOENERGIAPOTENTIAALI

5.1 Olemassa olevan rakennuskannan potentiaalin arvioinnin lähtöoletukset

Olemassa olevien rakennuskantojen aurinkoenergiapotentiaalin arviointi perustui edellä esitettyyn Savilahden aurinkopotentiaalianalyysiin. Analyysissä olemassa oleva rakennuskanta jaettiin kiinteistökohtaisesti heikon säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho <850 kWh/m^2/vuosi), kohtalaisen säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho 850-950 kWh/m^2/vuosi) ja hyvän säteilyn kattoneliömetreihin (säteilyteho >950 kWh/m2).

Vain kohtalaisen ja hyvän säteilyn kattoneliömetrit laskettiin mukaan olemassa olevan rakennuskannan potentiaaliarvioon. Kohtalaisen auringonsäteilyn kattoneliömetreille oletettiin keskiarvoksi 900 kWh/m^2/vuosi auringon säteilyteho, mikä vastaa noin 109 kWh/m^2/vuosi aurinkosähköntuotantoa suhteessa asennettuun paneelipinta-alaan tai 334 kWh/m^2/vuosi suhteessa asennettuun keräinpinta-alaan. Hyvän säteilyn kattoneliömetreille arvioitiin auringon säteilytehonkeskiarvoksi 960 kWh/m^2/vuosi, mikä vastaa 116 kWh/m^2/vuosi aurinkosähköntuotantoa suhteessa asennettuun paneelipinta-alaan tai 367 kWh/m^2/vuosi suhteessa asennettuun keräinpinta-alaan.

Koska edellä esitetty aurinkopotentiaalianalyysi perustui vuoden 2011 rakennuskannan tilanteeseen, ei kaikkia Savilahden rakennuksia ollut vielä keilaushetkellä olemassa tai ne olivat rakenteilla. Näiden rakennusten osalta potentiaali arvioitiin uuden rakennuskannan menetelmiin.

Olemassa olevan rakennuskannan kokonaispotentiaaliarvioon ei laskettu mukaan niitä rakennuksia jotka on suunniteltu purettaviksi.

Arvioinnin yksinkertaistamiseksi paneelit oletettiin asennettavan rakennuksen kattojen suuntaisesti ja samaan kallistuskulmaan katon harjan kanssa. Tapauskohtaisesti todellinen vuosituotanto voi olla näitä keskiarvoja suurempi, mikäli paneelit tai keräimet asennetaan optimoidumpaan kallistuskulmaan (kappale 2.1.3) tai mikäli tuotantoon käytetään hyötysuhteeltaan parempaa aurinkopaneelia tai -keräintä.

5.2 Uuden rakennuskannan potentiaalin arvioinnin lähtöoletukset

Uusien rakennuskantojen potentiaali arvioitiin maankäytön yleissuunnitelmavaihtoehdossa (Tengbom Eriksson Arkkitehdit Oy 2015) esitettyihin rakennuskantasuunnitelmiin perustuen. Savilahden aurinkopotentiaalianalyysin perusteella potentiaalinen aurinkoenergiantuotantotuotanto on 20 asteen kaltevuuskulmalla etelän päin suunnattuna noin 128 kWh/m^2/vuosi/paneeliala aurinkosähköntuotantoa ja 400 kWh/m^2/vuosi/keräinala aurinkolämmöntuotantoa. Tässä työssä käytettyjen tyyppitalojen laskelmien oletuksilla harjakattoisille asuinrakennuksille voitaisiin asentaa aurinkopaneeleita tai aurinkokeräimiä noin 25 % ja tasakattoiselle rakennuskannalle noin 40 % niiden kattopinta-alasta.

Näillä oletuksilla harjakattoiselle rakennuskannalle potentiaalinen aurinkoenergiantuotanto on noin 32 kWh/vuosi (0,25 x 128 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 100 kWh/vuosi (0,25 x 400 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa suhteessa harjakattoisen rakennuskannan kattopinta-alaan.

Tasakattoiselle rakennuskannalle vastaavasti potentiaalinen aurinkoenergiantuotanto on noin 51 kWh/vuosi (0,4 x 128 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 160 kWh/vuosi (0,4 x 400 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa suhteessa tasakattoisen rakennuskannan kattopinta-alaan.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Lisäksi työssä arvioitiin aurinkoenergiapotentiaalia myös 46 asteen optimikulmaan asennetuilla pulpettikattoisilla kattopinnoilla (koko katto kallistettu kohti etelää). Pulpettikattoisille katoille arvioitiin että paneeleja tai keräimiä voitaisiin asentaa jopa 50 % niiden kattopinta-alasta. Pulpettikattoiselle rakennuskannalle potentiaalinen aurinkoenergiantuotanto on noin 67,5 kWh/vuosi (0,5 x 135 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 220 kWh/vuosi (0,5 x 440 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa suhteessa tasakattoisen rakennuskannan kattopinta-alaa.

Näitä keskimääräisiä tuotantolukuja suhteessa tietyn kattotyypin osuuteen rakennuskannasta käytettiin hyväksi eri alueiden uusien rakennuskantojen aurinkoenergiapotentiaalien määrittämisessä. Koko rakennuskannan potentiaalin laskentaa varten oletettiin että kaikkien uusien kiinteistöjen katot olisi suunnattu etelänsuuntaisesti.

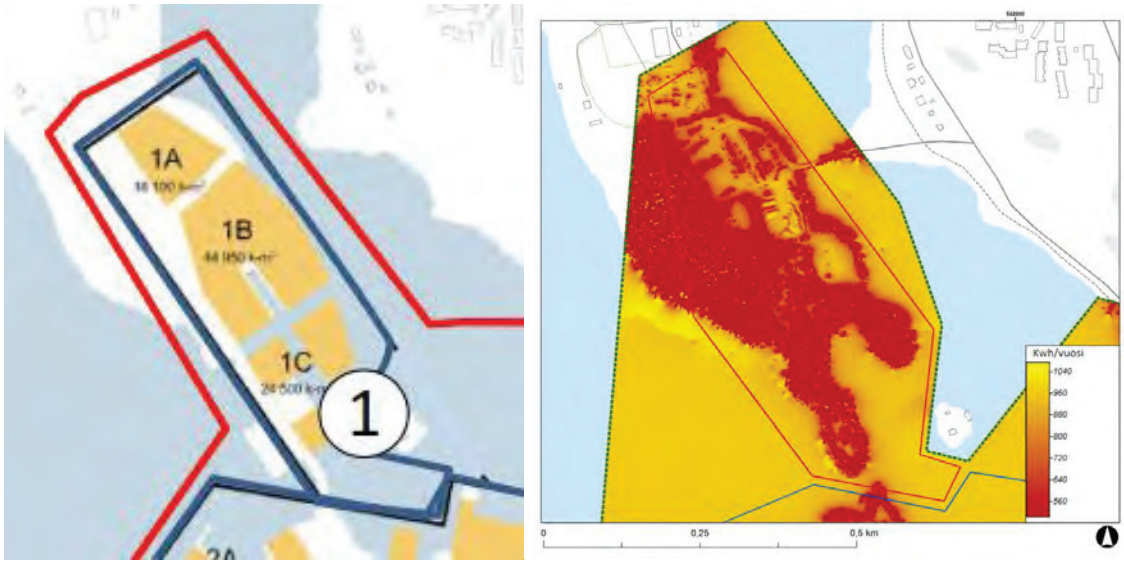
5.3 Osa-alue 1: Savisaari

Uusi kerrosala 88 000 k-m^2, nykyisten ei-purettavien rakennusten kerrosala 0 k-m^2

5.3.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Savisaaren alueelle ei ole tällä hetkellä olemassa olevaa rakennuskantaa, jota voitaisiin hyödyntää aurinkoenergian tuotantoon. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali on 0 MWh/vuosi.

5.3.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-1 Savisaaren aluerajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Savisaaren alueelle on suunnitteilla noin 88 000 k-m^2 asuinrakennuksia, mikä vastaa noin 22 000 m^2 kattopinta-alaa.

Harjakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi täten noin 704 MWh (22 000 m^2 x 32 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 2200 MWh (22 000 m^2 x 100 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Tasakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi vastaavasti noin 1122 MWh (22 000

Copyright © Pöyry Finland Oy

m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 3520 MWh (22 000 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

46 asteen optimikulmaan kallistetuilla pulpettikattorakenteella uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi jopa noin 1485 MWh (22 000 m^2 x 65,5 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 4840 MWh (22 000 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

5.3.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Savisaaren rakennusalueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 700-1490 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 2200-4840 MWh/vuosi aurinkolämpöä uuden rakennuskannan kattojen muodoista riippuen.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alue on vasta suunnitteilla, eikä siellä ole olemassa olevaa kaukolämpöverkkoa. Mikäli alue tullaan liittämään kaukolämpöverkkoon, tulisi mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon kaukolämpöverkon suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

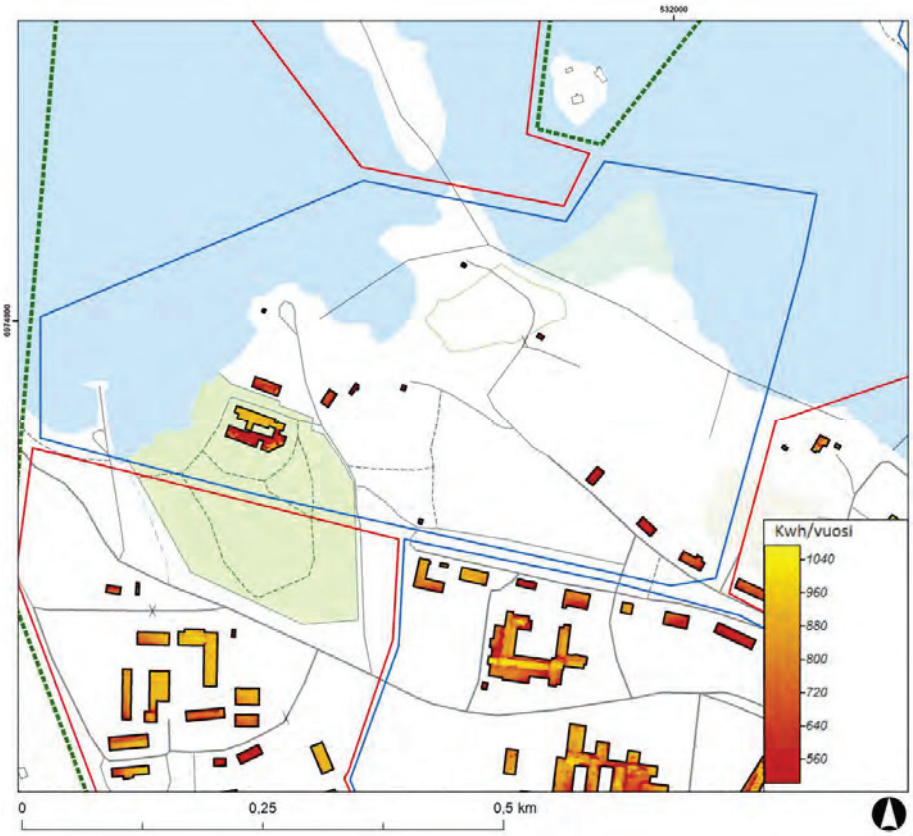
5.4 Osa-alue 2: Marikon ranta

Uusi kerrosala 102 000 k-m^2, nykyisten ei-purettavien rakennusten kerrosala 0 k-m^2

5.4.1 Olemassa oleva rakennuskanta

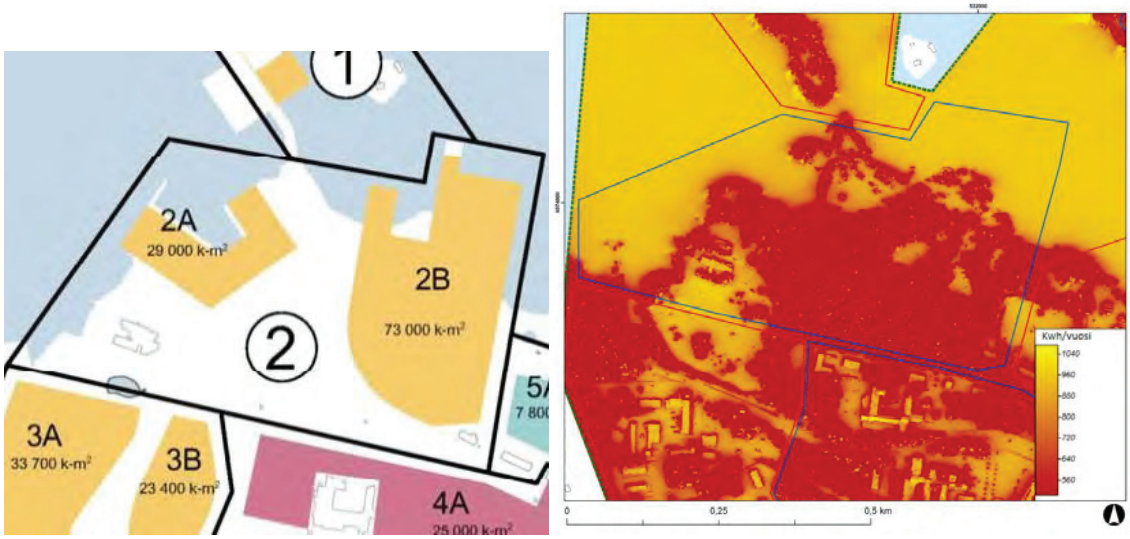
Marikon rannan alueella ei ole tällä hetkellä olemassa olevaa rakennuskantaa, jota voitaisiin hyödyntää aurinkoenergian tuotantoon. Yliopistollisen puutarhan rakennukset ollaan todennäköisesti purkamassa, jonka lisäksi alueen itäpuoliskon rakennuksien katot eivät sovellu varjostuksien vuoksi aurinkoenergian tuotantoon. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali on 0 MWh/vuosi.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-2 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Marikon rannan alueelle vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

5.4.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-3 Marikon rannan aluerajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Marikon rannan alueelle on suunnitteilla noin 102 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 90 % on suunniteltu asuinrakennuksiksi, 5 % työpaikoiksi ja palveluiksi sekä 5 % koulutustiloiksi. Alueen kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 25 000 m^2, joista asuinrakennuskannan osuudeksi maankäytön yleissuunnitelman pohjalta tässä työssä on arvioitu 22 500 m^2 ja tasakattoista toimistorakennustyyppiä vastaavaksi rakennuskannaksi jäljelle jäävät 2500 kattoneliömetriä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Tasakattoisten toimistorakennusten (työpaikat, palvelut, koulutustilat) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 128 MWh (2500 m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 400 MWh (2500 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Harjakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi täten noin 720 MWh (22 500 m^2 x 32 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 2 250 MWh (22 500 m^2 x 100 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Tasakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi vastaavasti noin 1148 MWh (22 500 m^2 x 51 kWh/m2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 3600 MWh (22 500 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Vastaavasti pulpettikattorakenteella uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi jopa noin 1 519 MWh (22 500 m^2 x 67,5 kWh/m2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 4 950 MWh (22 500 m^2 x 220 kWh/m2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

5.4.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Marikon rannan alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 850-1650 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 2650-5350 MWh/vuosi aurinkolämpöä uuden rakennuskannan kattojen muodoista riippuen.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

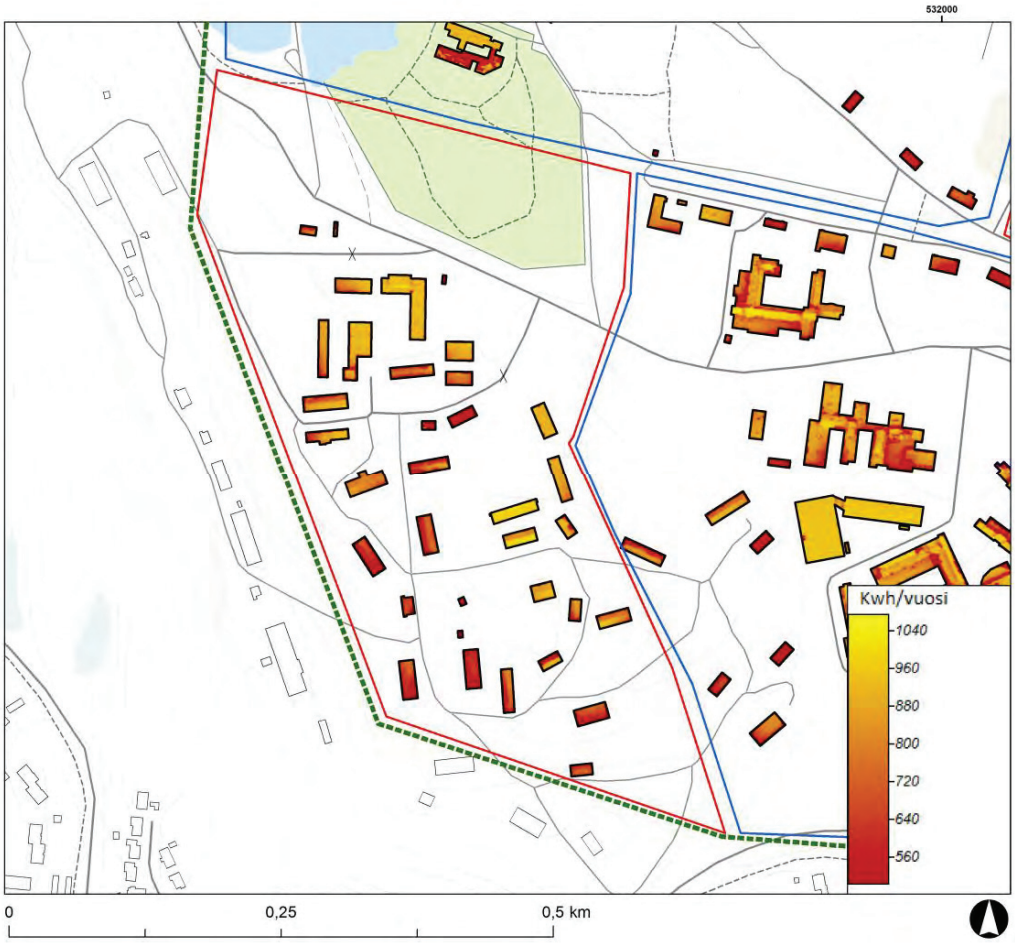
5.5 Osa-alue 3: Varikon alue

<u>Uusi kerrosala 119 000 k-m^2, nykyisten ei-purettavien rakennusten kerrosala 0 k-m^2</u>

5.5.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Varikon alueen vuoden 2011 mukainen rakennuskanta koostui puolustusvoimien omistuksessa olleista rakennuksista, jotka ollaan suurimmaksi osaksi purkamassa. Loput jälelle jäävistä rakennuksista ovat kylmiä talousrakennuksia, eikä niitä otettu tässä tarkastelussa huomioon aurinkoenergiapotentiaalin näkökulmasta. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali on myös Varikon alueella 0 MWh/vuosi.

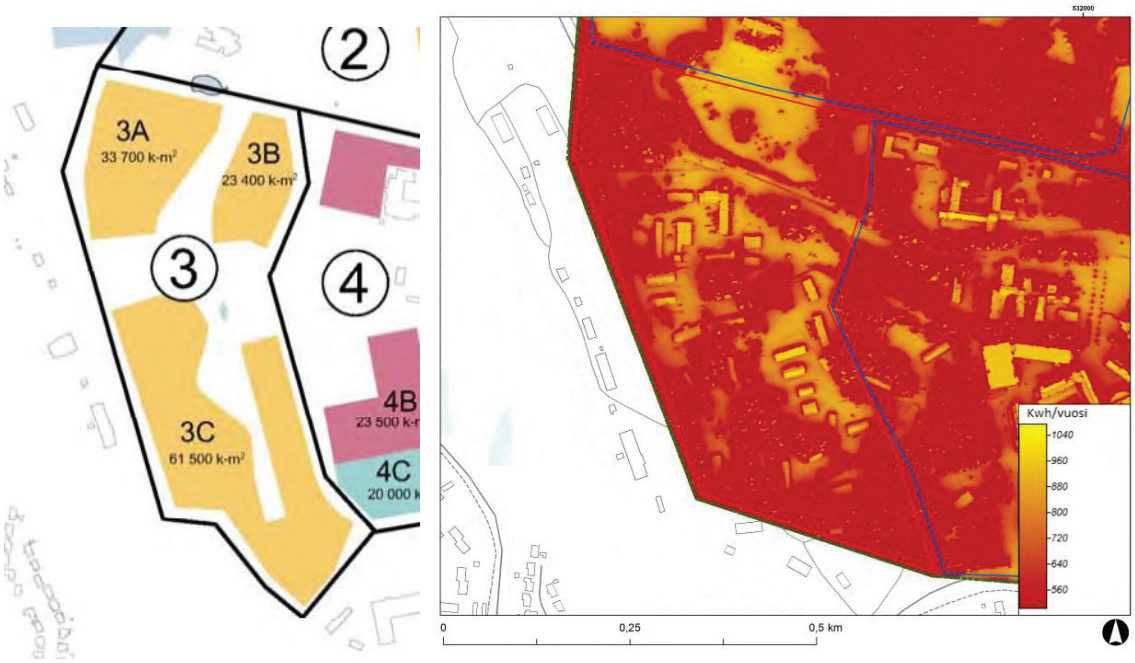
Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-4 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Varikon alueelle vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

5.5.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-5 Varikon alueen aluerajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Varikon alueelle on suunnitteilla noin 119 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 100 % on suunniteltu asuinrakennuksiksi. Alueen kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 40 000 m^2.

Harjakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi täten noin 1280 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 4 000 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

Tasakattoisina uuden asuinrakennuskannan aurinkoenergiapotentiaali olisi vastaavasti noin 2040 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 6400 MWh aurinkolämmöntuotantoa, ja pulpettikattorakenteella noin 2700 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 8800 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

5.5.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Varikon alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 1280-2700 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 4000-8800 MWh/vuosi aurinkolämpöä uuden rakennuskannan kattojen muodoista riippuen.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää

Copyright © Pöyry Finland Oy

alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

5.6 Osa-alue 4: Microkadun alue

Uusi kerrosala 77 000 k-m^2, nykyisten ei-purettavien rakennusten kerrosala 116 000 k-m^2

5.6.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Microkadun alueen nykyinen rakennuskanta (116 000 k-m^2) koostuu lähinnä toimisto- ja tutkimuslaitosrakennuksia.

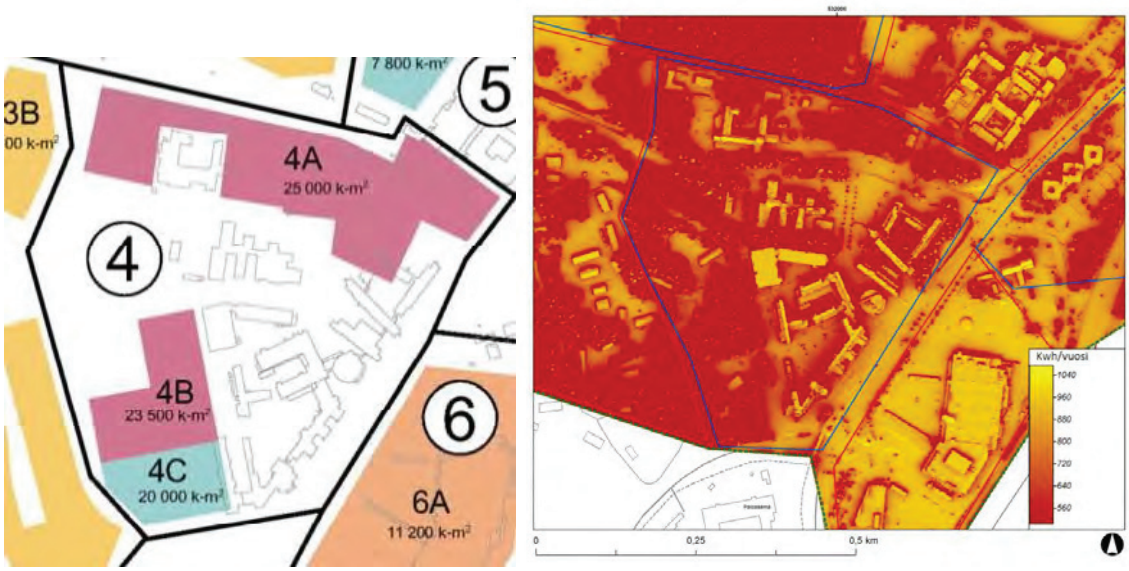
Alueen pohjoisosassa sijaitsee muutamia pienempiä virastotaloja, jotka on määrätty suojeltaviksi rakennuksiksi eivätkä ne täten välttämättä sovellu aurinkoenergian tuotantoon. Tämän lisäksi alueen länsiosan rakennukset kuuluvat Puolustusvoimien rakennuksiin joita ollaan purkamassa, minkä takia niitä ei laskettu mukaan aurinkoenergiapotentiaaliin.

Microkadun alueen aurinkoenergiapotentiaalin laskentaan soveltuvien toimisto- ja tutkimuslaitosrakennusten kattopinnoilla on analyysin mukaan 7 488 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 3206 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali Microkadun alueella on noin 1180 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 3668 MWh/vuosi aurinkolämpöä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kuva 5-6 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Microkadun alueelle vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

5.6.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-7 Microkadun alueen aluerajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Copyright © Pöyry Finland Oy

Microkadun alueelle on suunnitteilla noin 77 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 50 % on suunniteltu työpaikkojen ja 50 % koulutustilojen käyttöön. Alueen kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 24 000 m^2. Tässä selvityksessä on oletettu että nämä uudet rakennukset vastaisivat tyypillistä tasakattoista toimistotalorakennetta.

Tasakattoisten toimistorakennusten (työpaikat, palvelut, koulutustilat) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 1224 MWh tai 3840 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

5.6.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Microkadun alueella voisi potentiaalisesti tuottaa 2410 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 7520 MWh/vuosi aurinkolämpöä.

Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

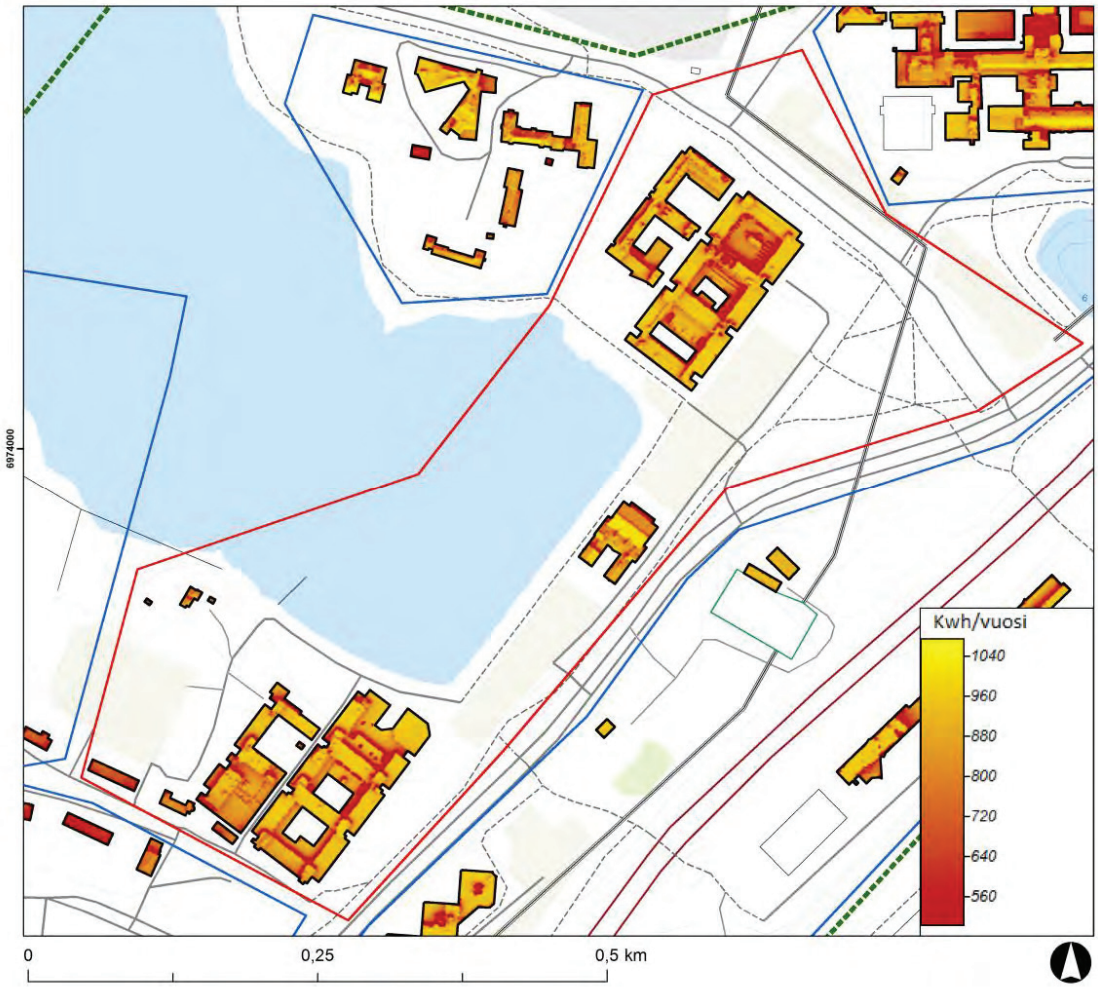
5.7 Osa-alue 5: Yliopiston alue

Uusi kerrosala 98 000 k-m^2, nykyisten rakennusten kerrosala 102 000 k-m^2

5.7.1 Olemassa oleva rakennuskanta

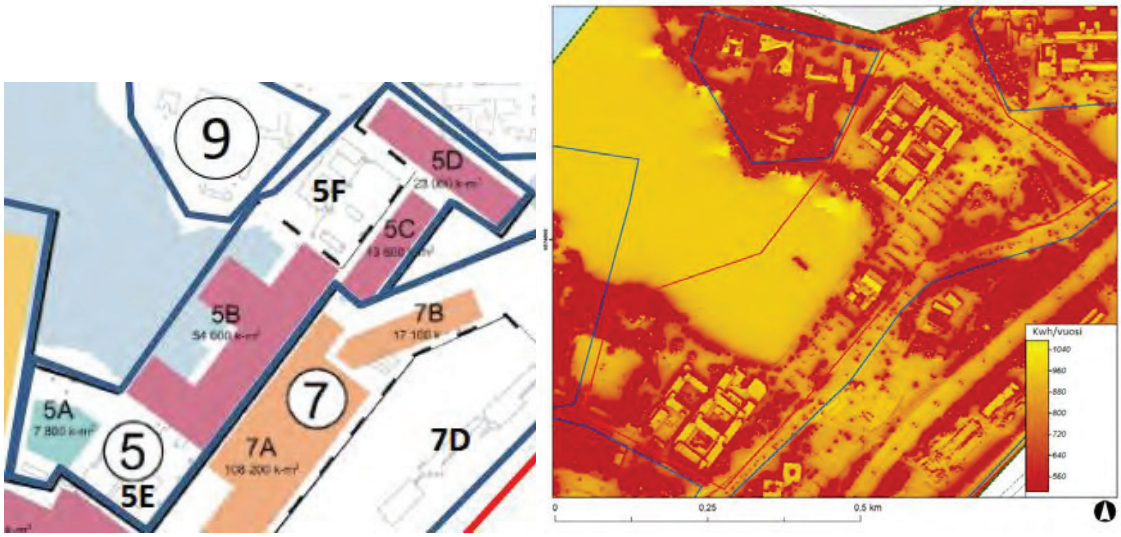
Yliopiston alueen nykyinen rakennuskanta (102 000 k-m^2) koostuu lähinnä yliopisto- ja kampusrakennuksista. Näillä kattopinnoilla on analyysin mukaan 11 400 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 5 900 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali yliopiston alueella on noin 1921 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 5976 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-8 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) yliopiston alueen vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

5.7.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-9 Yliopiston alueen rajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Copyright © Pöyry Finland Oy

Yliopiston alueelle on suunnitteilla noin 98 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 15 % on suunniteltu asumisrakennuksiksi, työpaikoiksi ja palveluiksi 40 % ja koulutustiloiksi 45 %. Alueen kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 36 000 m^2, joista asuinrakennuskannan osuudeksi maankäytön yleissuunnitelman pohjalta tässä työssä on arvioitu 5400 m^2 ja toimistorakennuksiksi jäljelle jäävät 36 000 kattoneliömetriä.

Tasakattoisten toimistorakennusten (työpaikat, palvelut, koulutustilat) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 1 560,6 MWh (30 600 m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 4 896 MWh (30 600 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Harjakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 173 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 540 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

Vastaavasti uuden asuinrakennuskannan aurinkoenergiapotentiaali olisi tasakattoisena noin 275 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 864 MWh aurinkolämmöntuotantoa. Pulpettikattoisena uuden asuinrakennuskannan aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 365 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 1188 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

5.7.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Yliopiston alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 3650-3850 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 11410-12060 MWh/vuosi aurinkolämpöä uuden rakennuskannan kattojen muodoista riippuen. Jo asennettu Melania-talon aurinkosähköjärjestelmä kattaa aurinkosähköpotentiaalista noin 19 MWh/vuosi.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

5.8 Osa-alue 6: Prisman ympäristö

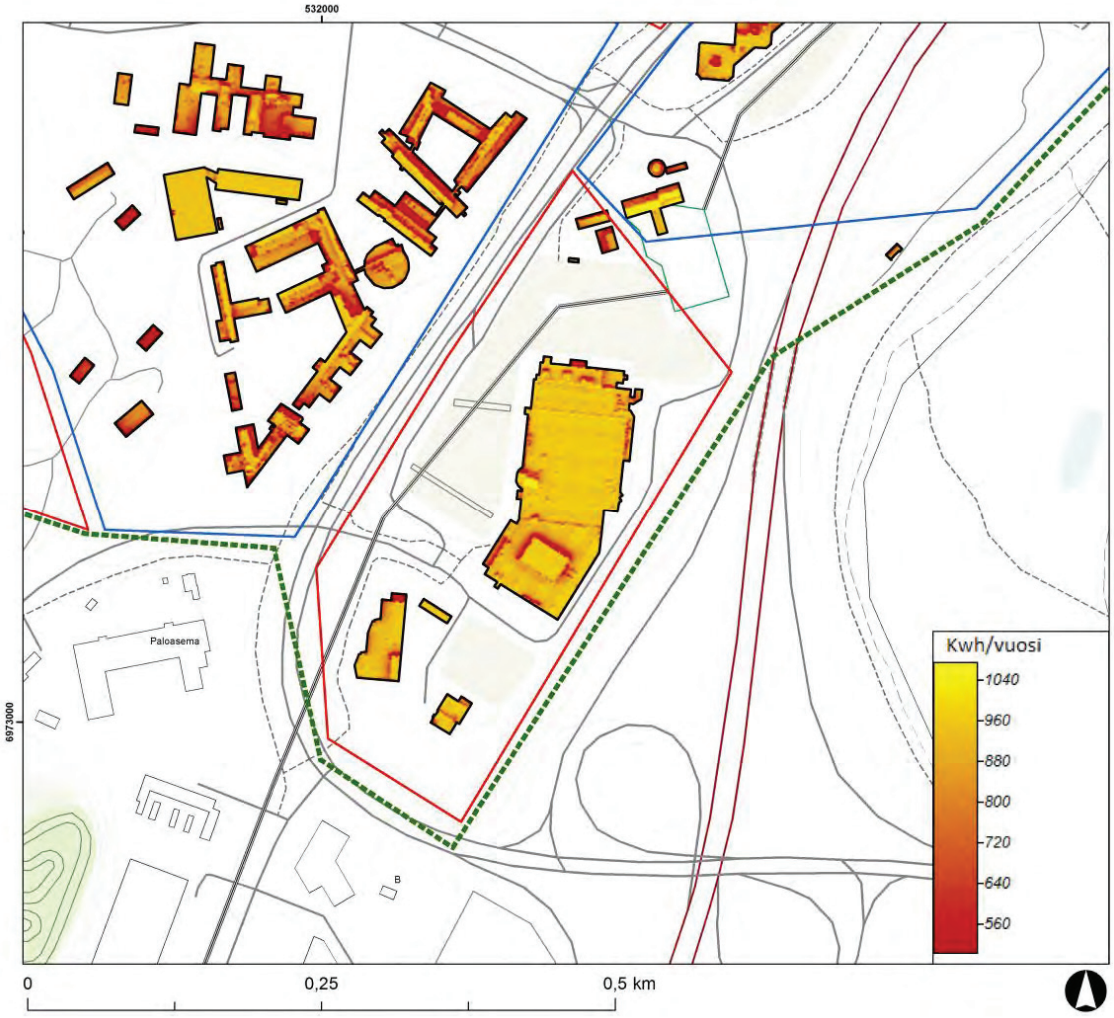
<u>Uusi kerrosala 11 000 k-m^2, nykyisten rakennusten kerrosala 23 000 k-m^2</u>

5.8.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Prisman ympäristön nykyinen rakennuskanta (23 000 k-m^2) koostuu lähinnä myymälä- ja pysäköintirakennuksista. Näillä kattopinnoilla on analyysin mukaan 8 860 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 7 610 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali Prisman ympäristön alueella on noin 1842 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 5752 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa. On kuitenkin huomioitava, että suuri osa tästä potentiaalista

Copyright © Pöyry Finland Oy

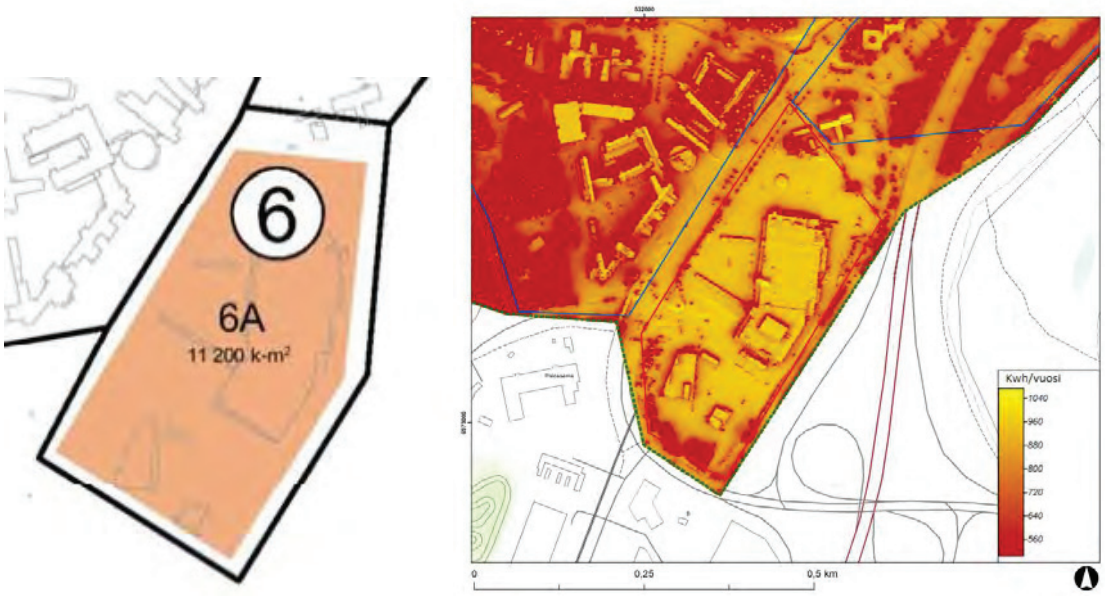
keskittyisi yksittäisten vähittäiskauppayksiköiden katoille, ja on todennäköistä ettei näiden rakennusten katto olisi mitoitettu kantamaan näin suurta aurinkoenergiajärjestelmää.



Kuva 5-10 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Prisman ympäristön vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

5.8.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-11 Prisman ympäristön alueen rajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Prisman ympäristön alueelle on suunnitteilla noin 11 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 100 % on suunniteltu kaupallisten palveluiden käyttöön. Rakennuskanta on oletettu yksikerroksiseksi, ja täten myös kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 11 000 m^2. Tämä kattopinta-ala on oletettu tässä työssä tasakattoiseksi.

Tasakattoisina uuden rakennuskannan (kaupalliset palvelut) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 561 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 1760 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

5.8.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Prisman ympäristön alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 2400 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 7510 MWh/vuosi aurinkolämpöä. On kuitenkin huomioitava että tämä potentiaali keskittyisi vain yksittäisten rakennusten katoille, ja kattorakenteiden kestävyys on selvitettävä tapauskohtaisesti.

Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

5.9 Osa-alue 7: Savilahdentien ja Viestikadun alue

Uusi kerrosala 161 000 k-m^2, nykyisten rakennusten kerrosala 73 000 k-m^2

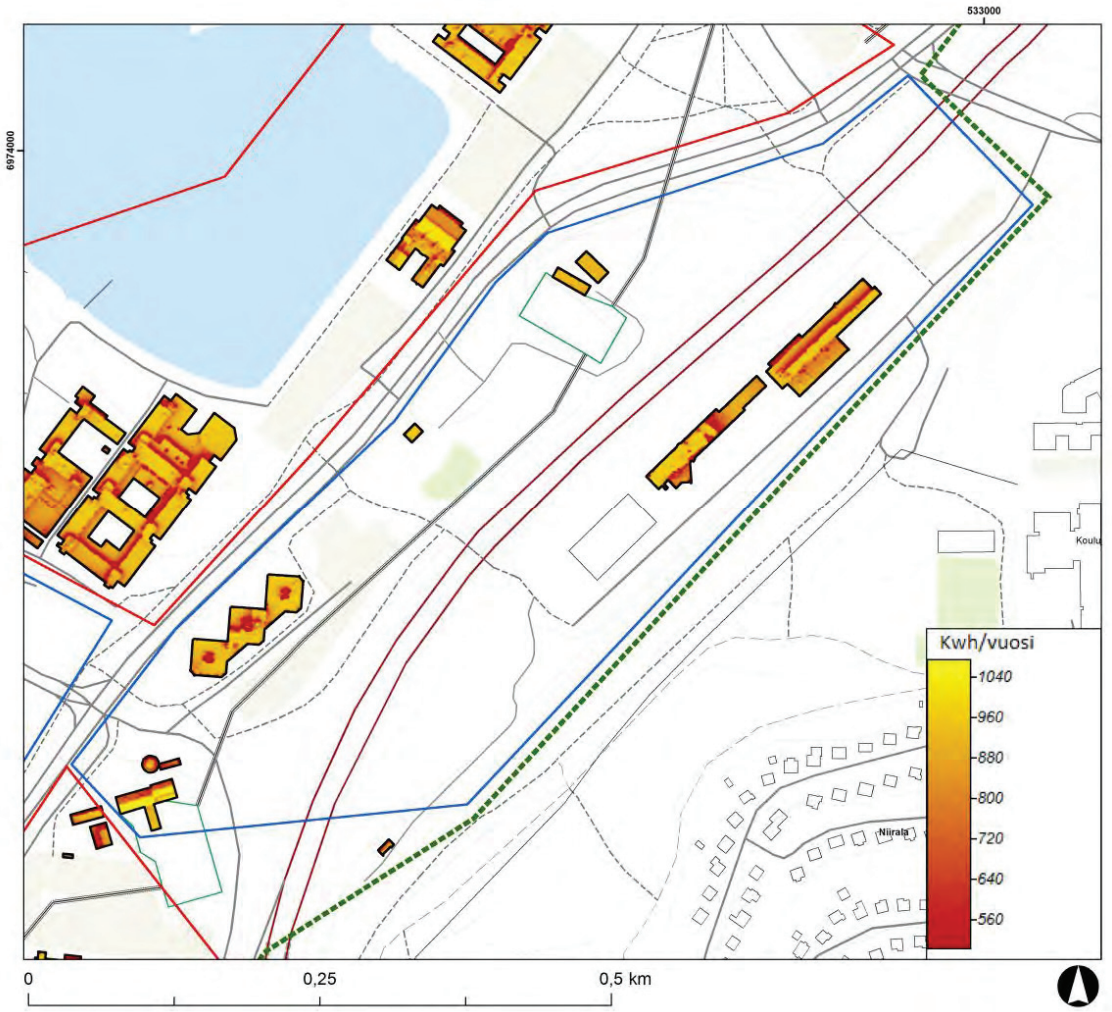
Copyright © Pöyry Finland Oy

5.9.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Savilahdentien ja Viestikadun alueen nykyinen rakennuskanta (73 000 k-m^2) koostuu lähinnä toimisto- ja teollisuusrakennuksista sekä pysäköintirakennuksista.

Analyysin lähtödatan keilaushetkellä Viestikatu 3, 5 ja 7 olivat vasta rakenteilla tai niitä oltiin vasta suunnittelemassa. Tämän takia näiden kolmen tällä hetkellä olemassa olevan rakennuksen potentiaali mallinnettiin tyypillisenä uutena tasakattoisena toimistorakennuksena, jolloin näiden rakennusten kokonaiskattopinta-alan 8500 m^2 aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 434 MWh (8 500 m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 1360 MWh (8 500 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

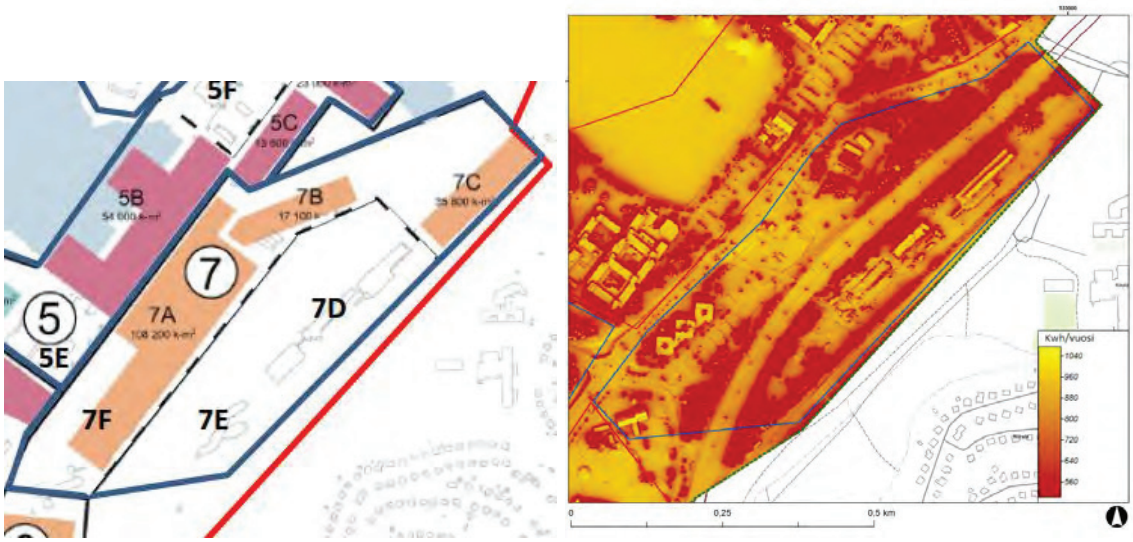
Lopuilla, keilaushetkellä olemassa olleilla kattopinnoilla on analyysin mukaan 8 860 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 7 610 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali Savilahdentien ja Viestikadun alueella (mukaan lukien erikseen mukaan arvioidut Viestikadun 3, 5 ja 7 kiinteistöt) on noin 985 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 3072 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa.



Kuva 5-12 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Savilahdentien ja Viestikadun alueen vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille. On huomioitavaa, että Viestikatu 3 oli keilaushetkellä vasta rakenteilla, eikä sille tässä kartassa esitetty potentiaalikartoitus ole vertailukelpoinen.

Copyright © Pöyry Finland Oy

5.9.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-13 Savilahdentien ja Viestikadun alueen rajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Savilahdentien ja Viestikadun alueelle on suunnitteilla noin 73 000 k-m^2 rakennuskantaa, joista 90 % on suunniteltu työpaikkojen tai palveluiden käyttöön ja 10 % asumisrakennuksiksi. Alueen kokonaiskattoalaksi on arvioitu noin 25 000 m^2, joista asuinrakennuskannan osuudeksi maankäytön yleissuunnitelman pohjalta tässä työssä on arvioitu 2500 m^2 ja toimistorakennuksiksi jäljelle jäävät 22 500 kattoneliömetriä.

Tasakattoisten toimistorakennusten (työpaikat, palvelut) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 1148 MWh (22 500 m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 3600 MWh (22 500 m^2 x 160 kWh/m2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Harjakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 80 MWh (2500 m^2 x 32 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 250 MWh (2500 m^2 x 100 kWh/m2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

Tasakattoisina uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi vastaavasti noin 128 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 400 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

Vastaavasti pulpettikattoisena uuden asuinrakennuskannan (rivitalot/kaupunkipientalot/ asuinrakennukset) aurinkoenergiapotentiaali olisi vastaavasti noin 169 MWh aurinkosähköntuotantoa tai 550 MWh aurinkolämmöntuotantoa.

5.9.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Savilahdentien ja Viestikadun alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 2210-2300 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 6920-7220 MWh/vuosi aurinkolämpöä uuden rakennuskannan kattojen muodoista riippuen.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2

Copyright © Pöyry Finland Oy

esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana. Mahdollisimman tehokas aurinkolämpötuotannon liittäminen ottaa huomioon mahdollisen kaukolämpöverkon laajennuksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Mahdollisesti alueelle olisi hyvä selvittää alueellisen lämpövaraston mahdollisuuksia, jolloin aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia saataisiin merkittävästi lisättyä (esimerkiksi kappaleessa 2.3.2 kaukolämpöakku).

5.10 Osa-alue 8: KYS – Niiralankatu

Uusi kerrosala 0 k-m^2, nykyisten rakennusten kerrosala 219 000 k-m^2

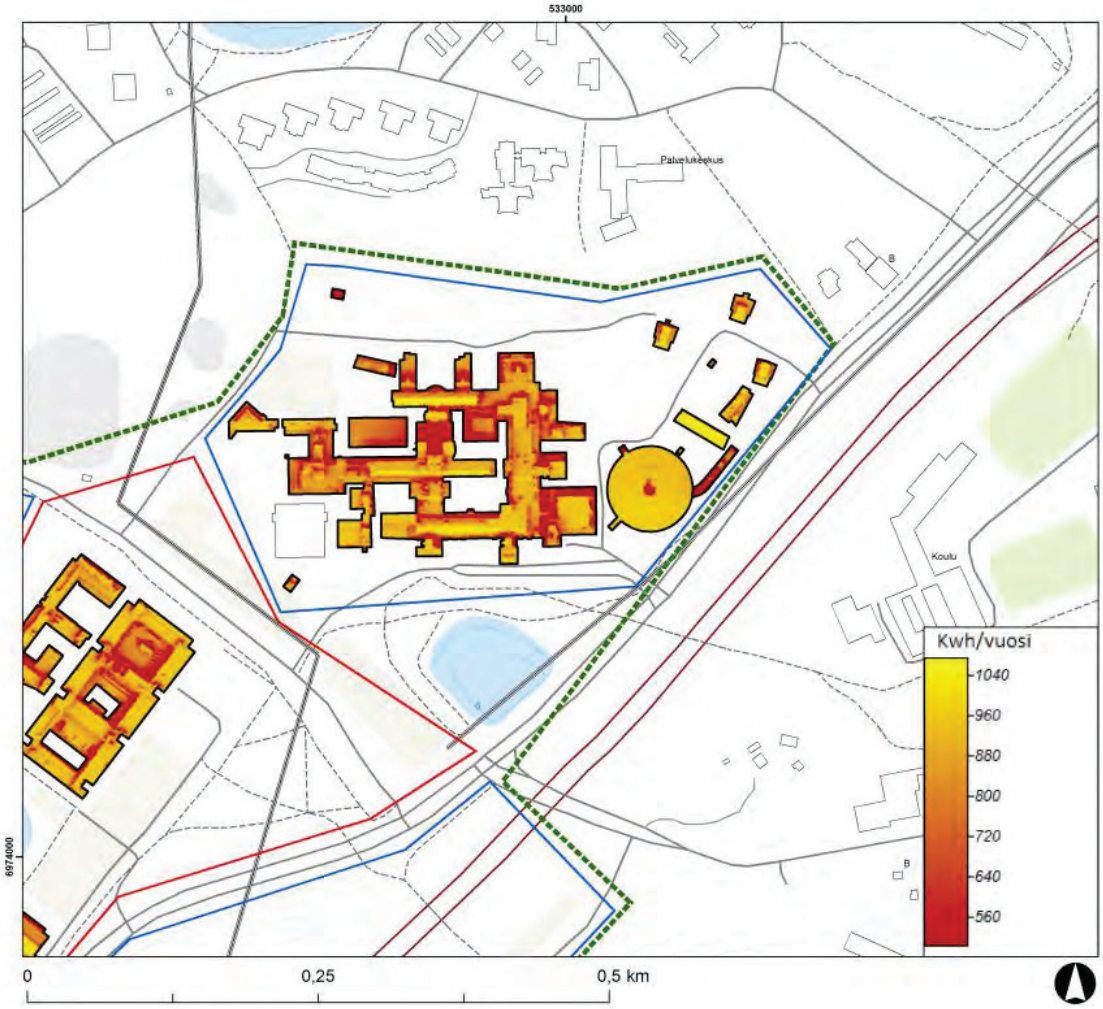
5.10.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Kuopion yliopistollisen sairaalan nykyinen rakennuskanta (219 000 k-m^2) koostuu sairaala- ja pysäköintirakennuksista.

Analyysin lähtödatan keilaushetkellä osaa sairaalan laajennuksista ei ollut vielä rakennettu. Kuopion yliopistollisen sairaalan vuoden 2011 rakennettujen laajennuksien kattopinta-alojen aurinkoenergiapotentiaali mallinnettiin tyypillisenä uutena tasakattoisena rakennuskantana, jolloin näiden rakennusten kokonaiskattopinta-alan 7800 m^2 aurinkoenergiapotentiaali olisi noin 398 MWh (7800 m^2 x 51 kWh/m^2/vuosi) aurinkosähköntuotantoa tai 1248 MWh (7800 m^2 x 160 kWh/m^2/vuosi) aurinkolämmöntuotantoa.

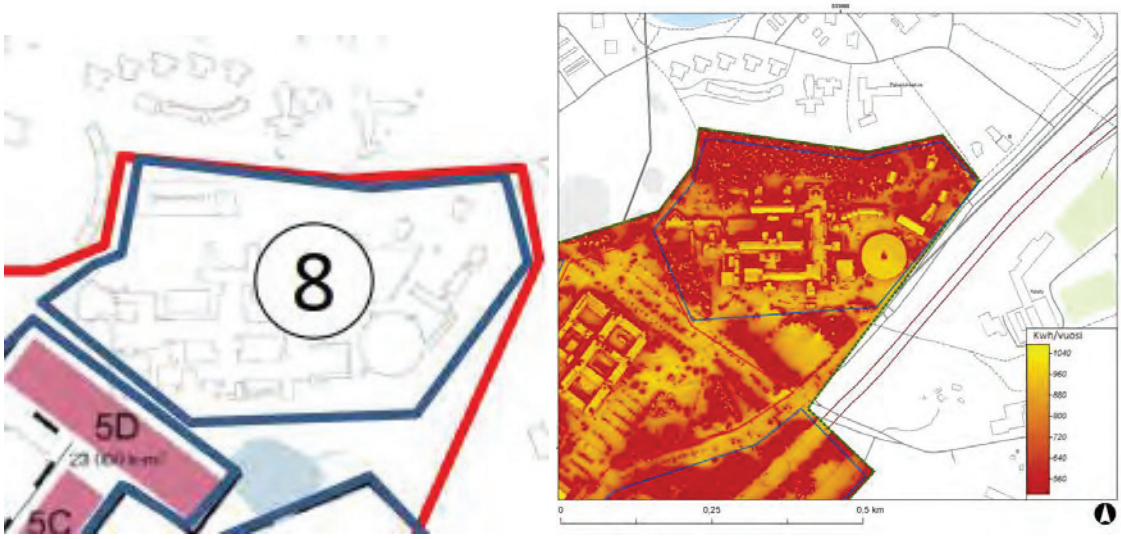
Lopuilla, keilaushetkellä olemassa olleilla kattopinnoilla on analyysin mukaan 9780 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 6310 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali KYS – Niiralankadun alueella (mukaan lukien erikseen mukaan arvioidut laajennuksien kattopinta-alat) on noin 2189 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 6829 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa.

Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-14 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) KYS – Niiralankadun alueen vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

5.10.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-15 KYS – Niiralankadun alueen rajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Copyright © Pöyry Finland Oy

Alueelle KYS - Niiralankatu ei ole tällä hetkellä suunnitteilla uutta maankäytön yleissuunnitelmaehdotuksessa huomioitua rakennuskantaa.

5.10.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

KYS - Niiralankadun alueella voisi potentiaalisesti tuottaa jopa 2190 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 6830 MWh aurinkolämpöä. KYS:n tämänhetkinen aurinkosähköjärjestelmä kattaa aurinkosähköpotentiaalista noin 160 MWh/vuosi.

Kuopion yliopistollinen sairaala on yhtenäistä aluetta, eikä alueellisia energiantuotanto- tai varastointijärjestelmiä nähdä järkevänä vaihtoehtona. On todennäköisempää, että KYS rakentaisi mahdolliset aurinkoenergiajärjestelmänsä laajennukset kompensoimaan omaa kulutustaan.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana.

5.11 Osa-alue 9: Harjulan alue

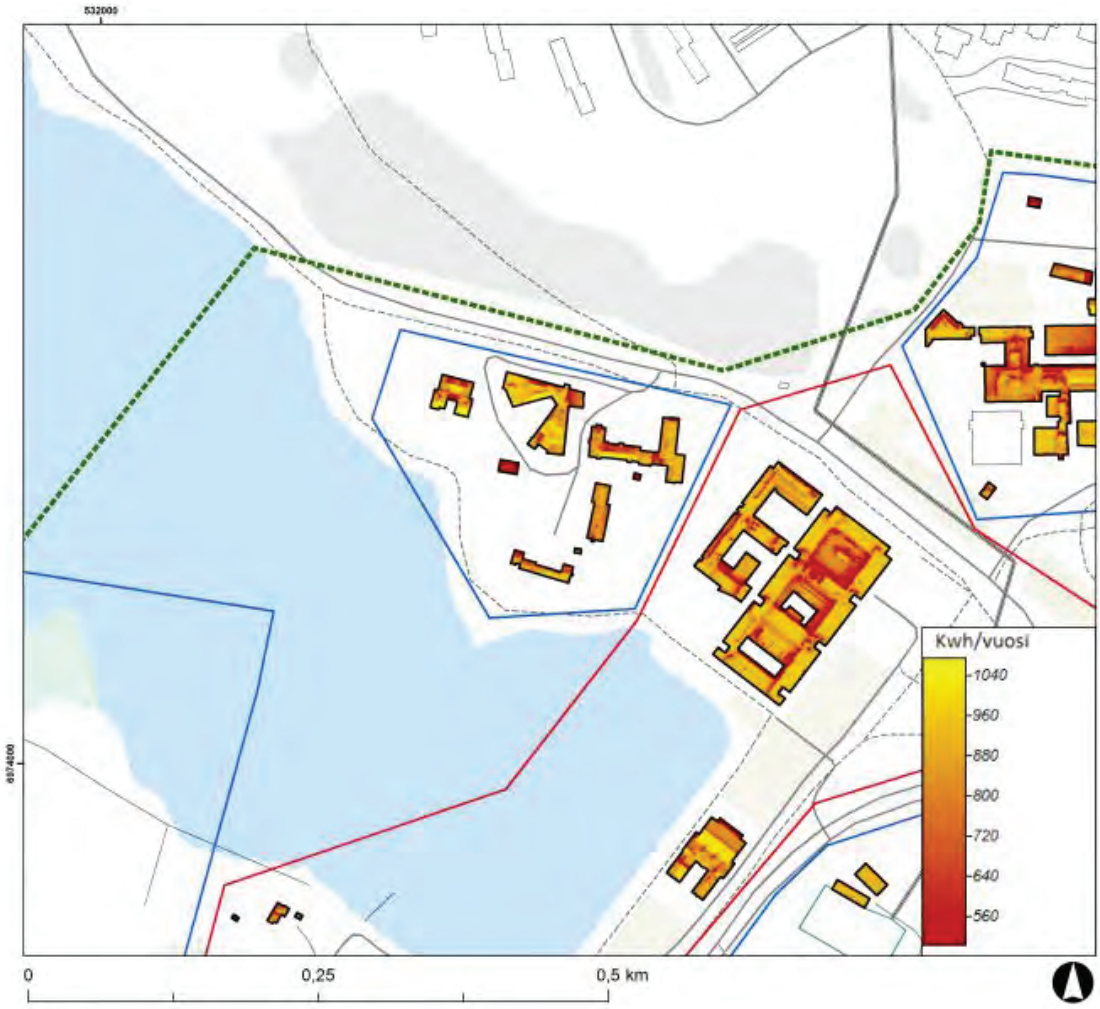
Uusi kerrosala 0 k-m^2, nykyisten rakennusten kerrosala 18 000 k-m^2

5.11.1 Olemassa oleva rakennuskanta

Harjulan alueen nykyinen rakennuskanta (18 000 k-m^2) koostuu sairaala- ja asuntolarakennuksista

Olemassa olevilla kattopinnoilla on analyysin mukaan 1860 m^2 kohtalaisen säteilytason kattopinta-alaa ja 1120 m^2 hyvän säteilytason kattopinta-alaa. Täten olemassa olevan rakennuskannan potentiaali Harjulan alueella (mukaan lukien erikseen mukaan arvioidut laajennuksien kattopinta-alat) on noin 332 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 1033 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa.

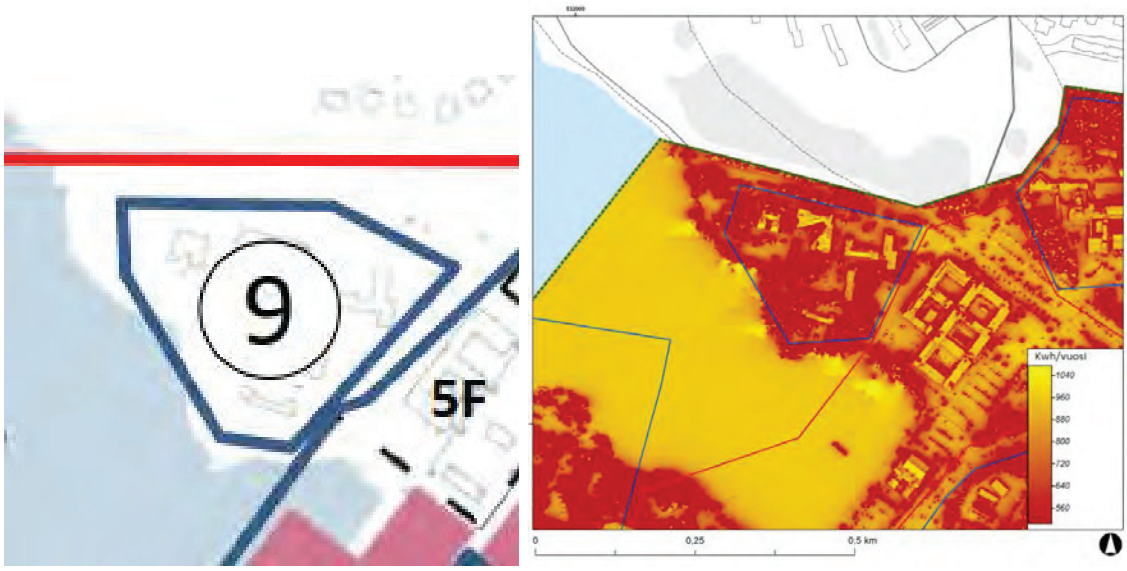
Copyright © Pöyry Finland Oy



Kuva 5-16 Auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m^2/vuosi) Harjulan alueen vuoden 2011 rakennuskannan kattopinta-aloille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

5.11.2 Uusi rakennuskanta



Kuva 5-17 Harjulan alueen rajaus ja auringon kokonaissäteilyenergia (kWh/m2/vuosi) alueelle

Harjulan alueelle ei ole tällä hetkellä suunnitteilla uutta maankäytön yleissuunnitelmassa huomioitua rakennuskantaa.

5.11.3 Osa-alueen kokonaispotentiaali ja liityntä muihin energiaverkkoihin

Harjulan alueella voisi potentiaalisesti tuottaa 330 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 1130 MWh/vuosi aurinkolämpöä.

On suositeltavaa, että energiayhtiö ja taloyhtiöt voisivat pyrkiä joko teknisellä suunnittelulla tai mittaroinnin kautta siihen, että taloyhtiöiden asuntokohtaiset sähkönkulutukset laskettaisiin mukaan kunkin kiinteistön sähkönkulutukseen, jotta aurinkosähköpotentiaalilla voitaisiin kompensoida myös taloyhtiöiden asukkaiden sähkönkulutusta pelkkien kiinteistösähkönkulutuksien sijaan. Kappaleessa 2.3.2 esitettyjä alueellisia sähkönvarastointimenetelmiä ei pidetä kustannustehokkaana ratkaisuna tämänhetkisillä tekniikoilla.

Alueella sijaitsee kaukolämpöverkko, johon voitaisiin potentiaalisesti liittää myös aurinkolämmöntuotantoa tuotantohuippujen aikana.

5.12 Yhteenveto rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaalista

Alla olevaan taulukkoon (Taulukko 5-1) on koottu Savilahden aurinkosähkö ja aurinkolämpöpotentiaali alueittain. Koko Savilahden alueen aurinkoenergiapotentiaali on noin 16 000 – 19 000 MWh/vuosi aurinkosähköä tai 50 000 – 61 000 MWh/vuosi aurinkolämpöä.

On huomattavaa, että suuri osa maksimipotentiaalin erosta eri vaihtoehdoissa syntyy uusien suurempien asuinrakennusalueiden (Savisaari, Marikon ranta, Varikon alue) kattopintojen tyypistä. Nämä kolme asuinaluetta muodostavat koko Savilahden maksimipotentiaalista kattojen kallistuskulmasta riippuen 18-30 %, ja aurinkoenergian hyödyntämistä erityisesti näillä isommilla uusilla asuinalueilla suositellaan muun

Copyright © Pöyry Finland Oy

muassa kattoharjojen suuntauksella mahdollisuuksien mukaan kohti etelää ja noin 45 asteen kallistuskulmaan asennettavien pulpettikattopintojen avulla.

Taulukko 5-1 Savilahden rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaali (S=aurinkosähköpotentiaali, L=aurinkolämpöpotentiaali)

Alue	Uusi rakennus-kanta (MWh/vuosi), asuin-rakennukset 20° harjakatto	Uusi rakennus-kanta (MWh/vuosi), asuin-rakennukset tasakatto	Uusi rakennus-kanta (MWh/vuosi), asuin-rakennukset 46° pulpettikatto	Olemassa oleva rakennus-kanta (MWh/vuosi)	Koko potentiaali (MWh/vuosi)
1: Savisaari	S: 704 L: 2200	S: 1122 L: 3520	S: 1485 L: 4840	-	S: 704 - 1485 L: 2200 – 4840
2: Marikon ranta	S: 848 L: 2650	S: 1275 L: 4000	S: 1646 L: 5350	-	S: 848 - 1646 L: 2650 – 5350
3: Varikon alue	S: 1280 L: 4000	S: 2040 L: 6400	S: 2700 L: 8800	-	S: 1280 - 2700 L: 4000 – 8800
4: Microkadun alue	S: 1224 L: 3840	S: 1224 L: 3840	S: 1224 L: 3840	S: 1184 L: 3678	S: 2408 L: 7520
5: Yliopiston alue	S: 1733 L: 5436	S: 1836 L: 5760	S: 1925 L: 6084	S: 1921 L: 5976	S: 3655 - 3846 L: 11412 - 12060
6: Prisman ympäristö	S: 561 L: 1760	S: 561 L: 1760	S: 561 L: 1760	S: 1842 L: 5752	S: 2403 L: 7512
7: Savilahdentien ja Viestikadun alue	S: 1228 L: 3850	S: 1275 L: 4000	S: 1316 L: 4150	S: 985 L: 3072	S: 2212 - 2301 L: 6922 - 7222
8: KYS - Niiralankatu	-	-	-	S: 2189 L: 6829	S: 2189 L: 6829
9: Harjulan alue	-	-	-	S: 332 L: 1033	S: 332 L: 1033
Koko Savilahti	**Sähkö: 7 600 MWh/vuosi** **Lämpö: 23 700 MWh/vuosi**	**Sähkö: 9 300 MWh/vuosi** **Lämpö: 29 300 MWh/vuosi**	**Sähkö: 10 900 MWh/vuosi** **Lämpö: 34 800 MWh/vuosi**	**Sähkö: 8 500 MWh/vuosi** **Lämpö: 26 300 MWh/vuosi**	**Sähkö: 16 000 – 19 300 MWh/vuosi** **Lämpö: 50 100 – 61 200 MWh/vuosi**

Copyright © Pöyry Finland Oy

6 TYYPPIKIINTEISTÖJEN AURINKOENERGIAPOTENTIAALI JA INVESTOINTI- JA TUOTTOLASKELMAT

Savilahden alueen aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien investointi- ja tuottolaskelmat tehtiin rivitalo/kaupunkipientalo, asuinkerrostalo ja toimistorakennus -tyyppikiinteistöille.

Selvityksessä kuvattiin kullekin tyyppikiinteistölle sopivat aurinkoenergiajärjestelmät sekä arvioitiin niiden taloudellista kannattavuutta kunkin tyyppikiinteistön osalta seuraaville vaihtoehdoille:

1. Investointi- ja tuottolaskelmat jos tyyppikiinteistöön asennetaan vain aurinkosähköjärjestelmiä
    a. Suurin mahdollinen katolle asennettava aurinkosähköpotentiaali
    b. Kulutuksen mukaan optimoitu aurinkosähköjärjestelmäkoko
2. Investointi- ja tuottolaskelmat jos tyyppikiinteistöön asennetaan vain aurinkolämpöjärjestelmiä
    a. Suurin mahdollinen katolle asennettava aurinkolämpöpotentiaali
    b. Kulutuksen mukaan optimoitu aurinkolämpöjärjestelmäkoko

6.1 Lähtöoletukset tyyppitalojen laskelmiin

Auringonsäteilynä käytettiin aurinkopotentiaalianalyysiin yhteydessä tuotettua tuntikohtaista mallinnettua dataa vaakapinnalle. Tuntikohtainen auringon säteilytaso sisälsi sekä suoran että siroavan auringonsäteilyn.

Tässä työssä tyyppitalojen aurinkopaneelien ja -keräimien kallistuskulmana käytettiin 20 astetta suhteessa vaakatasoon.

Kuopion leveyspiirillä yksittäisen aurinkopaneelien tai -keräimien optimikallistuskulma olisi noin 46 astetta vaakatasosta, jolloin vuositasolla saavutettaisiin yksittäisellä paneelilla suurin mahdollinen energiantuotanto. Yleensä kattoasennuksina aurinkopaneelit ja -keräimet asennetaan kuitenkin lähelle katon harjan omaa kallistuskulmaa, johtuen muun muassa huomattavasti pienemmistä katon rakenteisiin kohdistuvista tuulikuormista ja kevyemmistä tarvittavista asennustelineistä. Lisäksi, asentamalla aurinkopaneelit pienempään kallistuskulmaan pienevät myös paneelien ja keräimien mahdollisille taaimmille aurinkopaneeleille tai keräimille kohdistavat varjostushäviöt (9).

Kaikki paneelit ja keräimet arvioitiin tyyppitaloissa eteläsuuntaisiksi, myös harjakattoisissa rakennuksissa. Asennustyypiksi oletettiin kiinteä, eli suuntaavia järjestelmiä ei otettu huomioon. Aurinkopaneelien pinta-alaksi oletettiin 1,7 m^2, yksikkötehoksi 250 Wp ja hyötysuhteeksi 15,5 %.

Tuottolaskelmissa tehtiin oletus, että kiinteistöt saisivat sellaisen sopimuksen että he voisivat myydä tuottamaansa sähköä takaisin muille kuluttajille Spot-pörssisähköhintaan. Pörssisähkön keskiarvoksi oletettiin 4,4 c/kWh aloitustilanteessa niin, että se kasvaisi 1 % vuosivauhdilla. Myös ostosähkön hinta oletettiin kasvavan 1 % vuosivauhtia. Lisäksi laskelmissa oletettiin, että mittausjärjestelyllä saataisiin taloyhtiöittäin kompensoitua myös asukkaiden omaa sähkönkulutusta, eikä vain kiinteistösähkönkulutusta.

Aurinkolämmöntuotannon osalta oletettiin, että kaukolämpöyhtiön kanssa päästäisiin yhteisymmärrykseen kaukolämmön myynnistä kaukolämpöverkkoon. Näissä

Copyright © Pöyry Finland Oy

esimerkkilaskelmissa ostolämmön hinnaksi on oletettu 6,2 c/kWh Kuopion energian energiamaksun pohjalta. Tässä työssä on oletettu että kaukolämpöyhtiö ei ostaisi tuotettua lämpöenergiaa verkkoon täyteen energiahintaan, ja myyntilämmön hinnaksi on oletettu 50 % ostolämmön hinnasta (3,1 c/kWh). Lisäksi, maksimipotentiaalilaskelmissa oletettiin että kiinteistöjen aurinkolämpöjärjestelmässä ei olisi varaajia, vaan keräimien tuottamaa energiaa voitaisiin syöttää kaukolämpöverkkoon.

Investoinnin sisäisenä korkokantana käytettiin laskelmissa 2 %.

Rakennukset oletettiin vuonna 2019 voimaan astuvien energiamääräysten mukaisia, eli niin sanottuja *lähes nollaenergiataloja*. Tyyppitalojen sähkön ja lämmönkulutusta arvioitiin Rakennusteollisuus RT ry:n, Talotekniikkateollisuus ry:n ja ympäristöministeriön toteuttaman FInZEB -hankkeen (lähes nollaenergiarakennuksien määrittelyhanke, FInZEB 2015) lopputulosten ja taustamateriaalien perusteella. On huomattavaa, että näiden rakennusmääräysten mukaiset E-luvut on ehdotettu laskevan suhteessa vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisista 11 % asuinkerrostalolle ja jopa 47 % toimistorakennuksille, mikä selittää erityisesti toimistorakennus-tyyppitalolle oletetun muihin rakennustyyppeihin verrattuna pienen lämmönkulutuksen kWh/m^2 -luvun.

Työssä käytetyt kulutuskäyrät perustuvat Pöyryn muissa projekteissa IDA ICA -ohjelmistolla mallintamiin tai vastaavissa kohteissa mitattuihin sähkön ja lämmön tuntikohtaisiin kulutusiin kullekin tyyppitalolle. Tuntikohtaista mallinnusdataa skaalattiin niin, että se vastasi vuositasolla tässä työssä käsiteltyjen tyyppitalojen vuoden 2019 voimaan astuvien energiamääräysten mukaista keskimääräistä vuosikulutusta kullekin tyyppitalolle. Taulukkoon Taulukko 6-1 on koottu tyyppitaloille oletetut rakennustekniset arvot aurinkopotentiaali- ja tuottolaskelmien arviointiin.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-1 Aurinkopotentiaaliselvityksen tyyppitaloille oletetut suunnitteluarvot.

	Rivitalo (tasakatto)	Rivitalo (harjakatto)	Asuinkerros-talo	Toimisto-rakennus
Tilavuus:	3300 m^3	3300 m^3	20 000 m^3	39 000 m^3
Kerroksia:	2	2	5	5
Kokonaisala:	1000 m^2	1000 m^2	6000 m^2	10 000 m^2
Nettoala/ huoneistoala:	800 m^2	800 m^2	5 100 m^2	8 800 m^2
Katon pinta-ala:	450 m^2	450 m^2	1200 m^2	2 000 m^2
Katon tyyppi:	Tasakatto	Harjakatto	Tasakatto	Tasakatto
Aurinkoenergia-järjestelmälle soveltuva maksimipinta-ala:	180 m^2	112,5 m^2	480 m^2	800 m^2
Arvioitu sähkönkulutus vuodessa / nettoala:	40 kWh/m^2	40 kWh/m^2	42 kWh/m^2	43 kWh/m^2
Ostosähkön hinta:	12 c/kWh	12 c/kWh	12 c/kWh	9 c/kWh
Myyntisähkön hinta:	4,4 c/kWh	4,4 c/kWh	4,4 c/kWh	4,4 c/kWh
Arvioitu lämmönkulutus vuodessa / nettoala:	75 kWh/m^2	75 kWh/m^2	70 kWh/m^2	40 kWh/m^2
Ostolämmön hinta (kaukolämmön energiamaksu):	6,2 c/kWh	6,2 c/kWh	6,2 c/kWh	6,2 c/kWh
Myyntilämmön hinta (arvio 50 % ostolämmön hinnasta):	3,1 c/kWh	3,1 c/kWh	3,1 c/kWh	3,1 c/kWh

6.2 Rivitalo/kaupunkipientalo

Rivitalo/kaupunkipientalo -tyyppitalon kokonaissähkönkulutukseksi arvioitiin noin 32080 kWh vuodessa ja kokonaislämmönkulutukseksi noin 60220 kWh vuodessa.

Tässä työssä on oletettu että rivitaloon/kaupunkipientaloon voitaisiin asentaa aurinkosähkö tai -lämpöjärjestelmiä maksimissaan noin 40 % niiden kattorakenteista, jos kyseessä olisi tasakattoinen rakennus. Lisäksi rakennuksille laskettiin tapaukset, missä pyrittiin optimoimaan investoinnin tuotto.

Työssä laskettiin myös investointikustannukset harjakattoiselle tyyppitalolle, jolloin arviolta noin 25 % kattopinta-alasta voitaisiin hyödyntää aurinkoenergiajärjestelmille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Harjakattoasennukseen vaadittavat asennustelineet oletettiin kevyemmiksi, minkä takia niiden yksikköhinnat oletettiin alhaisemmiksi.

6.2.1 Rivitalon/pientalon suurin mahdollinen asennettu aurinkosähköpotentiaali

Tasakattoisen rivitalo-tyyppikiinteistön katolle olisi mahdollista asentaa noin 180 m^2 aurinkopaneeleita, joka vastaa noin 26 kWp:n aurinkosähköjärjestelmää. Vastaava luku harjakattoiselle rakenteelle olisi noin 112 m^2 eli noin 17 kWp järjestelmä. Verrattaessa tuntikohtaista kulutus- ja tuotantodataa tyyppitaloille selviää että aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto tasakattoiselle tyyppikiinteistölle olisi noin 22200 kWh, ja kiinteistön oma sähkönkulutus vuositasolla noin 32080 kWh. Koska aurinkosähkön tuotanto ja kiinteistön sähkönkulutus eivät osu aina samoille hetkille, vain noin 34 % aurinkosähköntuotannosta kuluisi kiinteistön omaan sähkönkulutukseen ja loput aurinkosähköntuotannosta menisi myyntiin. Aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvo jäisi selvästi negatiiviseksi käyttöikänsä aikana, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana (takaisinmaksuaika olisi noin 48 vuotta kun paneelien käyttöikä olisi noin 30 vuotta). Mikäli kaikki aurinkosähköntuotanto saataisiin käytettyä kiinteistön omaan kulutukseen, olisi takaisinmaksuaika sen sijaan noin 24 vuotta ja järjestelmän nettonykyarvo 10 325 €.

Taulukko 6-2 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (tasakatto), max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	104	kpl	225	23 400
Paneelien telineet	104	kpl	75	7 800
Invertteri(t)	26.0	kW	200	5 200
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	26.0	kW	500	13 000
Hankintakustannus				**49 400**
€/Wp				1.90

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (tasakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	26
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	32080.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	22238.6
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	7622.7
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	14615.8
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	5 200
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-15657.2
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkosähkön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**8.79**

Harjakattoiselle kiinteistölle olisi asennettavissa noin 112 m^2 eli noin 17 kWp järjestelmä. Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto tasakattoiselle tyyppikiinteistölle olisi noin 14540 kWh, kiinteistön oman sähkönkulutuksen ollessa edelleen noin 32080 kWh. Noin 47 % aurinkosähköntuotannosta kuluisi kiinteistön omaan sähkönkulutukseen ja loput aurinkosähköntuotannosta menisi myyntiin.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvo jäisi selvästi negatiiviseksi myös tässä tapauksessa, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana näin suurella paneeli-investoinnilla (takaisinmaksuaika 38 vuotta, paneelien käyttöikä noin 30 vuotta). Mikäli kaikki aurinkosähköntuotanto saataisiin käytettyä kiinteistön omaan kulutukseen, olisi takaisinmaksuaika sen sijaan noin 22 vuotta ja järjestelmän nettonykyarvo 8 417 €.

Taulukko 6-3 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (harjakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (harjakatto), max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	68	kpl	225	15 300
Paneelien telineet	68	kpl	50	3 400
Invertteri(t)	17.0	kW	200	3 400
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	17.0	kW	500	8 500
Hankintakustannus				**30 600**
€/Wp				1.80

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (harjakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	17
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	32080.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	14540.6
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	6795.7
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	7744.9
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	3 400
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-5350.3
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkosähkön omakustannushinta	**c/kWh**	**8.37**

6.2.2 Rivitalon/pientalon kulutuksen mukaan optimoitu aurinkosähköpotentiaali

Laskelmat esitettiin vastaaville kiinteistöille myös siinä tilanteessa, että aurinkosähköjärjestelmä olisi mitoitettu kulutuksen mukaisesti mahdollisimman suureksi mutta niin, että mahdollisimman pieni osa sähköntuotannosta menisi myyntiin. Molemmissa tapauksissa kulutuksen mukaan optimoitu järjestelmäkoko olisi noin 6 % kattopinta-alasta, eli 27 m^2. Tämä vastaa noin 4 kWp järjestelmää, jolloin 96 % vuotuisesta 3420 kWh:n aurinkosähköntuotannosta saataisiin omaan kulutukseen. Tällöin asennuksen takaisinmaksuaika olisi tasakattoisella järjestelmällä noin 24 vuotta (järjestelmän nettonykyarvo 1360 €) ja harjakattoasennuksena noin 23 vuotta (nettonykyarvo 1750 €). Ero johtuu lähinnä arvioiduista pienemmistä paneelitelinekustannuksista harjakattoasennuksille.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-4 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu paneeliala.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (tasakatto), optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	16	kpl	225	3 600
Paneelien telineet	16	kpl	75	1 200
Invertteri(t)	4.0	kW	200	800
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	4.0	kW	500	2 000
Hankintakustannus				**7 600**
€/Wp				1.90

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (tasakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	4
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	32080.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	3421.3
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	3290.9
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	130.4
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	800
Järjestelmän nettonykyarvo	€	1356.7
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**24**
Aurinkosähkön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**8.79**

Taulukko 6-5 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (harjakatto), kulutuksen mukaan optimoitu paneeliala.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (harjakatto), optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	16	kpl	225	3 600
Paneelien telineet	16	kpl	50	800
Invertteri(t)	4.0	kW	200	800
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	4.0	kW	500	2 000
Hankintakustannus				**7 200**
€/Wp				1.80

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (harjakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	4
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	32080.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	3421.3
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	3290.9
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	130.4
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	800
Järjestelmän nettonykyarvo	€	1748.8
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**23**
Aurinkosähkön omakustannushinta	**c/kWh**	**8.37**

Copyright © Pöyry Finland Oy

6.2.3 Rivitalon/pientalon suurin mahdollinen asennettu aurinkolämpöpotentiaali

Tasakattoisen 180 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 72270 kWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa. On huomattavaa, että suurin mahdollinen määrä lämmöntuotantoa siis itse asiassa ylittäisi jopa vuositason lämmöntarpeen, mitä ei voi pitää taloudellisesti järkevänä lähtöoletuksena. Tämän lisäksi suurin osa aurinkolämmöntuotannosta kohdistuu kesäkuukausille päiväsaikaan, jolloin lämmönkulutus on lisäksi erityisen vähäistä, joten aurinkolämpöjärjestelmän oman käytön osuus tällaisella järjestelmällä olisi vain noin 16 %. Aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo jäisi selvästi negatiiviseksi, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana näin suurella investoinnilla.

Taulukko 6-6 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (tasakatto), max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	84	kpl	650	54 600
Keräimien telineet	84	kpl	75	6 300
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	180.0	m2	45	8 100
Paisunta-astia & putket	180.0	m2	52	9 315
Kaksisuuntainen liityntä kaukolämpöverkkoon	1	kpl	7 500	7 500
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	180.0	m2	55	9 900
Hankintakustannus				**95 715**
€/m2				531.75

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (tasakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	180.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	60219.1
Järjestelmän vuosituotto	kWh	72271.3
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	11440.3
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	60831.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	4 786
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-40318.8
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**4.64**

Vastaavasti 112 m^2 harjakattoasennuksena aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotto tasakattoiselle tyyppikiinteistölle olisi noin 45170 kWh, kiinteistön oman lämmönkulutuksen ollessa edelleen noin 60220 kWh. Noin 23 % aurinkolämmöntuotannosta kuluisi kiinteistön omaan lämmönkulutukseen ja loput aurinkolämmöntuotannosta menisi myyntiin. Aurinkolämpöjärjestelmän nettonykyarvo jäisi selvästi negatiiviseksi myös tässä tapauksessa, eli aurinkolämpöinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana näin suurella investoinnilla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-7 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (harjakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (harjakatto), max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	52	kpl	650	33 800
Keräimien telineet	52	kpl	50	2 600
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	112.5	m2	45	5 063
Paisunta-astia & putket	112.5	m2	52	5 822
Kaksisuuntainen liityntä kaukolämpöverkkoon	1	kpl	7 500	7 500
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	112.5	m2	55	6 188
Hankintakustannus				**60 972**
€/m2				541.97

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (harjakatto)		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	112.5
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	60219.1
Järjestelmän vuosituotto	kWh	45169.5
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	10409.5
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	34760.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	3 049
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-24142.9
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**4.72**

6.2.4 Rivitalon/pientalon kulutuksen mukaan optimoitu aurinkolämpöpotentiaali

Laskelmat esitettiin vastaaville kiinteistöille myös siinä tilanteessa, että aurinkolämpöjärjestelmä olisi mitoitettu kulutuksen mukaisesti mahdollisimman suureksi mutta niin, että aurinkolämmöntuotanto kompensoisi vain omaa lämmönkulutusta. Tällöin ei rakennettaisi kaksisuuntaista yhteyttä kaukolämpöverkkoon, vaan kiinteistöön asennettaisiin varaaja jonka avulla voitaisiin myös tasata päiväkohtaisia lämmöntuotantohuippuja ilta-aikaan.

Molemmissa tapauksissa kulutuksen mukaan optimoitu järjestelmäkoko olisi noin 3,1 % kattopinta-alasta, eli 14 m^2 keräinalaa.

14 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 5600 kWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa. Lämmönvaraajan tasoittavasta vaikutuksesta huolimatta aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo jäisi negatiiviseksi, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana näin suurella investoinnilla tässä selvityksessä käytetyllä investoinnin laskentakorolla (takaisinmaksuaika 40-41 vuotta).

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-8 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu keräinala.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (tasakatto), optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	6	kpl	700	4 200
Keräimien telineet	6	kpl	80	480
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	14.0	m2	45	628
Paisunta-astia & putket	14.0	m2	52	722
Vaarajat 500 ltr/kpl	1	kpl	2 500	2 500
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	14.0	m2	60	837
Hankintakustannus				**9 367**
€/m2				671.45

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (tasakatto), optimoitu		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	14.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	60219.1
Järjestelmän vuosituotto	kWh	5601.0
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	5601.0
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	0.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	468
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-1886.9
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**5.85**

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-9 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu keräinala.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, rivitalo (harjakatto), optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	6	kpl	700	4 200
Keräimien telineet	6	kpl	60	360
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	14.0	m2	45	628
Paisunta-astia & putket	14.0	m2	52	722
Vaarajat 500 ltr/kpl	1	kpl	2 500	2 500
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	14.0	m2	60	837
Hankintakustannus				**9 247**
€/m2				662.84

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, rivitalo (harjakatto), optimoitu		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	14.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	60219.1
Järjestelmän vuosituotto	kWh	5601.0
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	5601.0
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	0.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	462
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-1764.9
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**5.78**

Copyright © Pöyry Finland Oy

6.3 Asuinkerrostalo

Asuinkerrostalo-tyyppikiinteistön kokonaissähkönkulutukseksi arvioitiin noin 234260 kWh vuodessa ja kokonaislämmönkulutukseksi noin 356660 kWh vuodessa.

Tässä työssä on oletettu että asuinkerrostaloon voitaisiin asentaa aurinkosähkö tai -lämpöjärjestelmiä maksimissaan noin 40 % niiden kattorakenteista, jos kyseessä olisi tasakattoinen rakennus. Harjakattoiselle tyyppitalolle arviolta noin 25 % kattopinta-alasta voitaisiin hyödyntää aurinkoenergiajärjestelmille, mutta tästä vaihtoehdosta ei laskettu auki investointikustannuksia.

6.3.1 Asuinkerrostalon suurin mahdollinen asennettu aurinkosähköpotentiaali

Tasakattoisen asuinkerrostalo-tyyppikiinteistön katolle olisi mahdollista asentaa noin 480 m^2 aurinkopaneeleita, joka vastaa noin 71 kWp:n aurinkosähköjärjestelmää. Vastaava luku harjakattoiselle rakenteelle olisi noin 300 m^2 eli noin 44 kWp järjestelmä. Verrattaessa tuntikohtaista kulutus- ja tuotantodataa tyyppitaloille selviää että aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto tasakattoiselle tyyppikiinteistölle olisi noin 60730 kWh, ja kiinteistön oma sähkönkulutus vuositasolla noin 234260 kWh. Koska aurinkosähkön tuotanto ja kiinteistön sähkönkulutus eivät osu aina samoille hetkille, noin 66 % aurinkosähköntuotannosta kuluisi kiinteistön omaan sähkönkulutukseen ja loput aurinkosähköntuotannosta menisi myyntiin. Aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvo jäisi negatiiviseksi käyttöikänsä aikana, eli aurinkosähköinvestointi ei todennäköisesti täysin maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana (takaisinmaksuaika 32 vuotta, paneelien käyttöikä noin 30 vuotta). Mikäli kaikki aurinkosähköntuotanto saataisiin käytettyä kiinteistön omaan kulutukseen, olisi takaisinmaksuaika sen sijaan noin 24 vuotta ja järjestelmän nettonykyarvo 28 196 €.

Taulukko 6-10 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, asuinkerrostalo (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, kerrostalo, max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	284	kpl	225	63 900
Paneelien telineet	284	kpl	75	21 300
Invertteri(t)	71.0	kW	200	14 200
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	71.0	kW	500	35 500
Hankintakustannus				**134 900**
€/Wp				1.90

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, kerrostalo		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	71
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	234255.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	60728.4
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	40148.9
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	20579.5
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	14 200
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-8388.0
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkosähkön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**8.79**

Copyright © Pöyry Finland Oy

6.3.2 Asuinkerrostalon kulutuksen mukaan optimoitu aurinkosähköpotentiaali

Laskelmat esitettiin vastaaville kiinteistöille myös siinä tilanteessa, että aurinkosähköjärjestelmä olisi mitoitettu kulutuksen mukaisesti mahdollisimman suureksi mutta niin, että mahdollisimman pieni osa sähköntuotannosta menisi myyntiin. Kulutuksen mukaan optimoitu järjestelmäkoko olisi noin 15 % kattopinta-alasta, eli 180 m^2. Tämä vastaa noin 26 kWp järjestelmää, jolloin 95 % vuotuisesta 22240 kWh:n aurinkosähköntuotannosta saataisiin omaan kulutukseen. Tällöin asennuksen takaisinmaksuaika olisi tasakattoisella järjestelmällä noin 25 vuotta (järjestelmän nettonykyarvo 8300 €).

Taulukko 6-11 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, rivitalo (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu paneeliala.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, kerrostalo, optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	104	kpl	225	23 400
Paneelien telineet	104	kpl	75	7 800
Invertteri(t)	26.0	kW	200	5 200
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	26.0	kW	500	13 000
Hankintakustannus				**49 400**
€/Wp				1.90

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, kerrostalo		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	26
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	234255.8
Järjestelmän vuosituotto	kWh	22238.6
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	21100.1
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	1138.5
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	12.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	5 200
Järjestelmän nettonykyarvo	€	8301.5
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**25**
Aurinkosähkön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**8.79**

6.3.3 Asuinkerrostalon suurin mahdollinen asennettu aurinkolämpöpotentiaali

Tasakattoisen 480 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 192720 kWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa. Suurin osa aurinkolämmöntuotannosta kohdistuu kesäkuukausille päiväsaikaan, jolloin lämmönkulutus on lisäksi erityisen vähäistä, joten aurinkolämpöjärjestelmän oman käytön osuus tällaisella järjestelmällä olisi noin 43 %. Aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo jäisi selvästi negatiiviseksi, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana näin suurella investoinnilla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-12 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, asuinkerrostalo (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, asuinkerrostalo, max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	223	kpl	600	133 800
Keräimien telineet	223	kpl	75	16 725
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	480.0	m2	35	16 800
Paisunta-astia & putket	480.0	m2	40	19 200
Kaksisuuntainen liityntä kaukolämpöverkkoon	1	kpl	10 000	10 000
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	480.0	m2	50	24 000
Hankintakustannus				**220 525**
€/m2				459.43

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, asuinkerrostaslo		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	480.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	356662.5
Järjestelmän vuosituotto	kWh	192723.3
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	83031.5
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	109691.9
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	11 026
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-36350.8
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**4.00**

6.3.4 Asuinkerrostalon kulutuksen mukaan optimoitu aurinkolämpöpotentiaali

Laskelmat esitettiin vastaaville kiinteistöille myös siinä tilanteessa, että aurinkolämpöjärjestelmä olisi mitoitettu kulutuksen mukaisesti mahdollisimman suureksi mutta niin, että aurinkolämmöntuotanto kompensoisi vain omaa lämmönkulutusta. Tällöin ei rakennettaisi kaksisuuntaista yhteyttä kaukolämpöverkkoon, vaan kiinteistöön asennettaisiin varaaja jonka avulla voitaisiin myös tasata päiväkohtaisia lämmöntuotantohuippuja ilta-aikaan.

Kulutuksen mukaan optimoitu järjestelmäkoko olisi noin 1,1 % kattopinta-alasta, eli 13 m^2 keräinalaa.

13 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 5300 kWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa. Lämmönvaraajan tasoittavasta vaikutuksesta huolimatta aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo jäisi negatiiviseksi, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana käytetyllä investoinnin laskentakorolla (takaisinmaksuaika noin 36 vuotta, keräinten oletettu käyttöikä 30 vuotta).

Copyright © Pöyry Finland Oy

Taulukko 6-13 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, asuinkerrostalo (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu potentiaali.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, kerrostalo, optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	5	kpl	700	3 500
Keräimien telineet	5	kpl	80	400
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	13.2	m2	35	462
Paisunta-astia & putket	13.2	m2	40	528
Vaarajat 500 ltr/kpl	1	kpl	2 500	2 500
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	13.2	m2	60	792
Hankintakustannus				**8 182**
€/m2				619.85

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, kerrostalo, optimoitu		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	13.2
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	356662.5
Järjestelmän vuosituotto	kWh	5299.9
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	5299.9
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	0.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	409
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-1092.9
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**5.40**

6.4 Toimistorakennus

Toimistorakennus-tyyppikiinteistön kokonaissähkönkulutukseksi arvioitiin noin 500560 kWh vuodessa ja kokonaislämmönkulutukseksi noin 351200 kWh vuodessa.

Tässä työssä on oletettu että asuinkerrostaloon voitaisiin asentaa aurinkosähkö tai -lämpöjärjestelmiä maksimissaan noin 40 % niiden kattorakenteista, jos kyseessä olisi tasakattoinen rakennus.

6.4.1 Toimistorakennuksen suurin mahdollinen asennettu aurinkosähköpotentiaali

Tasakattoisen toimistorakennus-tyyppikiinteistön katolle olisi mahdollista asentaa noin 800 m^2 aurinkopaneeleita, joka vastaa noin 118 kWp:n aurinkosähköjärjestelmää. Verrattaessa tuntikohtaista kulutus- ja tuotantodataa tyyppitaloille selviää että aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto tasakattoiselle tyyppikiinteistölle olisi noin 100930 kWh, ja kiinteistön oma sähkönkulutus vuositasolla noin 500560 kWh. Toimistorakennuksien sähkönkulutus kohdistuu lähtökohtaisesti arkipäivien päiväsaikoihin, ja arviolta noin 83 % aurinkosähköntuotannosta kuluisi kiinteistön

Copyright © Pöyry Finland Oy

omaan sähkönkulutukseen ja loput aurinkosähköntuotannosta menisi myyntiin. Aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvo jäisi negatiiviseksi käyttöikänsä aikana, eli aurinkosähköinvestointi ei maksaisi itseään takaisin. Mikäli kaikki aurinkosähköntuotanto saataisiin käytettyä kiinteistön omaan kulutukseen, olisi takaisinmaksuaika jopa noin 19 vuotta ja järjestelmän nettonykyarvo 65510 €.

On huomattavaa, että toimistorakennus-tyyppitalon on tässä arviossa oletettu saavan TEM:n 25 % energiatuki kokonaishankintakustannuksista, mikä tekee investoinnista entistä kannattavampaa.

Taulukko 6-14 Aurinkosähköjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, toimistorakennus (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta, toimisto, max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkopaneelit 250 Wp/kpl	472	kpl	175	82 600
Paneelien telineet	472	kpl	75	35 400
Invertteri(t)	118.0	kW	150	17 700
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, sähköasennukset	118.0	kW	400	47 200
Hankintakustannus				**182 900**
€/Wp				1.55
Kokonaishinta TEM 25 % energiatuki huomioon ottaen				**137 175**
€/Wp				1.16

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohinta, toimisto		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän mitoitusteho	kWp	118
Kiinteistön sähkönkulutus yhteensä	kWh	500562.0
Järjestelmän vuosituotto	kWh	100928.9
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	84228.8
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	16700.2
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostosähkön hinta	c/kWh	9.0
Ostosähkön hinnan vuosikasvu	%	1.0
Myyntisähkön hinta	c/kWh	4.4
Korkokerroin	%	2
Invertterin/Invertterien vaihto	1	17 700
Järjestelmän nettonykyarvo	€	47509.0
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**21**
Aurinkosähkön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**5.50**

6.4.2 Toimistorakennuksen kulutuksen mukaan optimoitu aurinkosähköpotentiaali

Toimistorakennus-tyyppitalolle ei ole relevanttia esittää kulutusoptimoitua järjestelmäkokovaihtoehtoa, sillä edellä esitetty 40 % kattopinta-alan maksimipotentiaali on nettonykyarvoltaan kannattavin järjestelmäkoko. Huomattava osa toimistorakennuksen aurinkosähköntuotannon oman kulutuksen ylityksistä osuu viikonlopuille tai pyhäpäiville, joten järjestelmää pitäisi pienentää huomattavasti jotta näitä ylityksiä ei tapahtuisi.

6.4.3 Toimistorakennuksen suurin mahdollinen asennettu aurinkolämpöpotentiaali

Tasakattoisen 800 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 321,2 MWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa, mikä vastaa hyvin suurelta osin koko kiinteistön lämmönkulutusta 351,2 MWh. Suurin osa aurinkolämmöntuotannosta

Copyright © Pöyry Finland Oy

kohdistuu kesäkuukausille päiväsaikaan, jolloin lämmönkulutus on lisäksi erityisen vähäistä, joten aurinkolämpöjärjestelmän oman käytön osuus tällaisella järjestelmällä olisi noin 27 % ja täten ylimitoitettu. Aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo jäisi TEM:n 20 % energiatuesta riippumatta negatiiviseksi, eli aurinkolämpöinvestointi ei maksaisi itseään todennäköisesti takaisin elinaikanansa käytetyllä laskentakorolla ja näin halvalla myyntilämmön hinnalla (takaisinmaksuaika 32 vuotta, oletettu käyttöikä 30 vuotta).

Taulukko 6-15 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, toimistorakennus (tasakatto), maksimipotentiaali.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, toimistorakennus, max				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	372	kpl	600	223 200
Keräimien telineet	372	kpl	75	27 900
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	800.0	m2	35	28 000
Paisunta-astia & putket	800.0	m2	40	32 000
Kaksisuuntainen liityntä kaukolämpöverkkoon	1	kpl	10 000	10 000
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	800.0	m2	50	40 000
Hankintakustannus ilman tukia				**361 100**
€/m2				451.38
Hankintakustannus TEM energiatuen 20% jälkeen				**288 880**
€/m2				361.10

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, toimistorakennus, max		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	800.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	351203.4
Järjestelmän vuosituotto	kWh	321205.6
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	87753.9
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	233451.6
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	14 444
Järjestelmän nettonykyarvo	€	-15175.5
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**-**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**3.15**

6.4.4 Toimistorakennuksen kulutuksen mukaan optimoitu aurinkolämpöpotentiaali

Laskelmat esitettiin vastaaville kiinteistöille myös siinä tilanteessa, että aurinkolämpöjärjestelmä olisi mitoitettu kulutuksen mukaisesti mahdollisimman suureksi mutta niin, että aurinkolämmöntuotanto kompensoisi vain omaa lämmönkulutusta. Tällöin ei rakennettaisi kaksisuuntaista yhteyttä

Copyright © Pöyry Finland Oy

kaukolämpöverkkoon, vaan kiinteistöön asennettaisiin varaaja jonka avulla voitaisiin myös tasata päiväkohtaisia lämmöntuotantohuippuja ilta-aikaan.

Kulutuksen mukaan optimoitu järjestelmäkoko olisi noin 7,0 % kattopinta-alasta, eli 140 m^2 keräinalaa.

140 m^2 aurinkolämpöjärjestelmä vastaa vuosituotantona lähtöoletuksilla noin 56200 kWh vuotuista aurinkolämmöntuotantoa. Lämmönvaraajan tasoittavasta vaikutus huomioon ottaen aurinkolämpöjärjestelmään nettonykyarvo olisi TEM:n energiatuen huomioon ottaen positiivinen, ja aurinkolämpöinvestointi maksaisi itsensä takaisin noin 24 vuodessa järjestelmän nettonykyarvon ollessa 10450 €.

Taulukko 6-16 Aurinkolämpöjärestelmän hankinta- ja tuotantolaskelmat, toimistorakennus (tasakatto), kulutuksen mukaan optimoitu keräinpinta-ala.

Aurinkolämpöjärjestelmän hankintahinta, toimistorakennus, optimoitu				
	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta €	Yhteensä €
Aurinkokeräimet	65	kpl	600	39 000
Keräimien telineet	65	kpl	75	4 875
Pumppu- ja ohjausyksikkö, suhteessa keräinalaan	140.0	m2	35	4 900
Paisunta-astia & putket	140.0	m2	40	5 600
Vaarajat 5000 ltr/kpl	1	kpl	20 000	20 000
Kuljetus ja järjestelmän kokoaminen, lämpöverkkoliitynnät	140.0	m2	50	7 000
Hankintakustannus ilman tukia				**81 375**
€/m2				581.25
Hankintakustannus TEM energiatuen 20 % jälkeen				**65 100**
€/m2				465.00

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotantohinta, toimistorakennus, optimoitu		
	Yksikkö	Arvo
Järjestelmän keräinala	m2	140.0
Kiinteistönlämmönkulutus yhteensä	kWh	351203.4
Järjestelmän vuosituotto	kWh	56211.0
Järjestelmän tuotto kiinteistön kulutukseen	kWh	56211.0
Järjestelmän tuotto myyntiin	kWh	0.0
Käyttöikä	Vuotta	30
Ostolämmön hinta	c/kWh	6.2
Ostolämmön hinnan vuosikasvu	%	0.0
Myyntilämmön hinta	c/kWh	3.1
Korkokerroin	%	2
Järjestelmän uusiminen	1	3 255
Järjestelmän nettonykyarvo	€	10451.8
Takaisinmaksuaika	**Vuotta**	**24**
Aurinkolämmön omakustannushinta käyttöiän aikana	**c/kWh**	**4.05**

Copyright © Pöyry Finland Oy

7 SUOSITUKSET AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ SAVILAHDEN ALUEELLA

Kuopion Savilahden alueen rakennuskannan suunnitteilla oleville ja rakennetuille kattopinta-aloille on teoriassa jopa 19300 MWh/vuosi aurinkosähköntuotantoa tai 61200 MWh/vuosi aurinkolämmöntuotantoa, jos alueella hyödynnettäisiin uusien asuinrakennusten osalta etelään päin suunnattuja pulpettikattorakenteita. Tämä vastaa asennettuna aurinkosähköpaneelipinta-alana noin 150 000 m^2 aurinkopaneeli- tai aurinkokeräinpinta-alaa, eli noin 23 000 kWp piikkitehon aurinkosähkökapasiteettia.

Koko Savilahden alueen kokonaistarve tulee olemaan kokoluokka-arviona noin 60 000 MWh/vuosi sähkönkulutusta ja 80 000 MWh/vuosi lämmönkulutusta. Koko alueen teoreettisella aurinkoenergiakapasiteetilla voitaisiin siis kattaa teoriassa jopa kokoluokkaa 1/3 alueen tulevasta sähköntarpeesta tai noin 3/4 koko alueen lämmöntarpeesta. Vaikka voidaankin pitää epätodennäköisenä että todellista tuotantokapasiteettia saataisiin kasvatettua näin suureksi, tulisi alueen suunnittelussa mahdollistaa aurinkoenergian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Aurinkoenergian käyttöönottoa Savilahdessa voidaan tukea esimerkiksi suunnittelemalla tuleva rakennuskanta mahdollisimman hyvin aurinkoenergiajärjestelmien asennuksen mahdollistavaksi sekä mahdollisuuksien mukaan tukemalla aurinkoenergian ylijäämätuotannon taloudellisesti kannattavaa siirtämistä muiden alueen energiankuluttajien käyttöön.

7.1 Alueellinen energiantuotanto ja liittyminen muihin energiajärjestelmiin

Tällä hetkellä lähtökohtaisesti kerrostalo-osakeyhtiöiden ja rivitalo-osakeyhtiöiden aurinkopaneelit katsotaan kuuluvan kiinteistösähkön kulutuksen piiriin, jolloin aurinkopaneelien tuottama sähköntuotanto kompensoisi vain kiinteistösähkön (pumput, kiinteistövalaistus, hissit, jne.) sähkönkulutusta. Erityisesti uusien vuonna 2019 käyttöönotettavien uusien energiamääräysten mukaisten ”lähes nollaenergiarakennusten” kiinteistösähkönkulutus on suhteessa huomattavasti vähäisempää kuin vähemmän energiatehokkaiden vanhempien kerrostalorakennusten.

Myös asunto-osakeyhtiöiden asukkaiden asuntokohtaisen sähkönkulutuksen kompensoimisen mahdollistaminen kiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmillä kannustaisi suuremman aurinkosähkökapasiteetin asentamiseen, erityisesti pienempien kaupunkipientalojen tai rivitalojen tapauksessa. Esimerkiksi Oulun Energia on aloittanut kokeilun, jossa taloyhtiön aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä on käytetty myös suoraan kiinteistön asukkaiden omien sähkönkulutuksien kompensointiin energiamittaroinnin avulla (Yle uutiset 2016).

Myös Savilahden osalta olisi tärkeää selvittää yhteistyössä energiayhtiön kanssa mahdollisuuksia sekä luoda edellytyksiä tällaisen järjestelmän käyttöönotolle uusille kiinteistöille, esimerkiksi samansuuntaisesti kuin Oulun Energian pilottihankkeessa. Jos tämäntyyppinen järjestely saataisiin toimimaan, voitaisiin myös tarvittavat energiamittarointijärjestelyt ottaa huomioon uusien kiinteistöjen osalta jo niiden suunnitteluvaiheessa.

Vaihtoehtoisesti uusien kiinteistöjen sähkö- ja energiamittarointijärjestelmien suunnittelussa tulisi selvittää mahdollisimman tehokasta asuntokohtaista liityntää kiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmiin, jotta kiinteistösähköenergian ylittävää osuutta ei laskettaisi myyntisähköksi vaikka itse rakennus asunnot mukaan lukien kuluttaisi sähköä.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Aurinkolämmön osalta tulisi yhteistyössä kaukolämpöyhtiön kanssa selvittää mahdollisuudet aurinkolämpötuotannon siirtämiseen kaukolämpöverkkoon ja mahdollisista liittymis- ja myyntiehdoista. Myöhemmässä suunnittelussa kaukolämpöyhtiön kanssa yhteistyössä tulisi selvittää olisiko kokonaistaloudellisempaa siirtää aurinkolämpöä kaukolämpöverkon meno- vai paluulinjaan, ja onko tällä vaikutusta suositeltavaan keräintyyppiin (matalan vai korkean toimintalämpötilan keräimet, liityntä kiinteistön lämpöverkkoon vai kaukolämpöverkon puolelle). Myös alueellisia lämmön varastointimahdollisuuksia kannattaa selvittää tarkemmin yhteistyössä kaukolämpöyhtiön kanssa. Yhtenä mahdollisuutena voisi olla esimerkiksi alueelliset tai koko kaukolämpöverkon yhteinen kaukolämpöakku, jolla voitaisiin tasata aurinkolämmöntuotannon tuotantoa.

Alueelle voitaisiin potentiaalisesti myös rakentaa ei-kiinteistökohtaisia aurinkoenergiajärjestelmiä. Tällaisia energiajärjestelmiä voisivat olla esimerkiksi melumalleihin asennettavat maavaraiset aurinkosähköpaneelit tai kelluvat aurinkosähköjärjestelmät (kappale 2.5).

7.2 Suositukset rakennuksien suunnitteluun

Rakennuskannan suunnittelussa tulisi mahdollistaa aurinkoenergian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Aurinkoenergian käyttöönottoa Savilahdessa voidaan tukea esimerkiksi suunnittelemalla tuleva rakennuskanta mahdollisimman hyvin aurinkoenergiajärjestelmien asennuksen mahdollistavaksi.

Alueen katot tulisi lähtökohtaisesti suunnata etelään päin aurinkoenergiapotentiaalin maksimoimiseksi. Pienet atsimuuttikulman erot eivät kuitenkaan vaikuta vuosituotantoon merkittävästi, sillä esimerkiksi 15-20 asteen kulmaero suhteessa etelään vaikuttaa paneeleiden ja keräimien vastaanottamaan vuosisäteilyyn vain noin yhden prosentin suhteessa etelään suunnatusta kattoharjasta. Paneelien tai keräimien kääntämien koilliseen tai kaakkoon vähentää vuotuista säteilymäärää noin 6 % suhteessa etelään päin kohdistuvaa järjestelmään.

Alueella tulisi mahdollisuuksien mukaan tukea pulpettikattoista kattorakennetta joka olisi mahdollisimman lähellä paneelien optimikallistuskulmaa eli noin 45 asteen kallistusta. Noin 45 asteen kulmaan asennetulla pulpettikattoisella kattorakenteella voidaan tuottaa alueellisesti jopa yli 40-50 % enemmän aurinkosähköä ja aurinkolämpöä suhteessa harjakattoiseen rakenteeseen ja noin 15-20 % enemmän suhteessa tasakattoiseen rakennuskantaan, sillä suurempi osa katon pinta-alasta saadaan hyödynnettyä aurinkoenergian tuotantoon.

Yksittäisten paneelien tai keräimien osalta kuitenkin asentaminen kallistettuun kattopintaan on tyypillisesti kustannustehokkaampi ratkaisu helpomman asennuksen ja valmiin kallistuskulman ansiosta. Erityisesti tasakattoiseen rakenteeseen verrattuna pulpettikattoiselle katolle asentaminen olisi huomattavasti vähemmän rakenteita kuormittavaa pienempien rakenteihin kohdistuvien tuulikuormien vuoksi. Lisäksi, pulpettikattorakenteella aurinkopaneelit ja -keräimet voitaisiin asentaa lähemmäs toisiaan sillä ne eivät varjostaisi toisiaan, jolloin suurempi osa katon pinta-alasta olisi hyödynnettävissä aurinkoenergiantuotantoon.

Rakennuskannan pinta-alaltaan suurempien sivujen suuntaaminen etelään edesauttaa passiivisen aurinkoenergian hyödyntämistä, jolloin voidaan kompensoida kiinteistöjen lämmitystarvetta ikkunoiden läpi saatavan auringonsäteilyn avulla. Auringonsäteilyn lämmittävää vaikutusta tehostaa rakennusten sijoittaminen tuulensuojaan, mikä pienentää rakennuksien lämpöhukkaa. Tuulelta suojautumista voidaan myös edesauttaa

Copyright © Pöyry Finland Oy

rakentamalla rakennuskantaa tiiviisti mutta niin, että rakennuskannan eteläsivuja ei varjosteta passiivisen aurinkoenergianhyödyntämisen maksimoimiseksi. Rakennusten tuulesta johtuvaa lämpöhukkaa voidaan pyrkiä myös vähentämään esimerkiksi puuston hyödyntämisellä.

Passiiviseen aurinkoenergianhyödyntämiseen liittyy vahvasti sellaisten varjostavien rakenteiden käyttö, joissa lämmittävää auringonsäteilyä päästetään varastoitumaan rakenteisiin tehokkaasti talvikuukausien aikana, mutta kesäkuukausina varjostavat rakenteet estävät ylimääräisen lämmönsaannin ikkunoiden kautta. Tyypillinen rakenne on ikkunoiden yläpuolelle asennettavat pienikulmaiset lipat, jotka estävät auringonsäteilyn pääsyn ikkunoiden läpi kesäkuukausina, mutta talvikuukausina auringon matalampi paistekulma hyödyntää tehokkaasti auringon säteilyn lämmittävän tehon. Tämäntyyppisiin lipparakenteisiin on myös mahdollista liittää aurinkopaneelijärjestelmiä, kuten on tehty esimerkiksi Kuopion nollaenergiatalon julkisivuissa. Tämäntyyppisiä aurinkosähköjärjestelmien lippa-asennuksien mahdollisuutta tulisi tukea myös uusien rakennuksien suunnittelussa erityisesti rakennusten etelään päin suunnatuille julkisivuille.

Erityisesti tasakatolle asennettavat aurinkopaneelit ja keräimet voivat halkoa kaupunkikuvaa, mikäli ne asennetaan lähemmäksi optimikulmaa pystytelineiden avulla. Lähelle katon suuntausta asennettavat paneelit ja keräimet eivät välttämättä erityisesti erotu, etenkin jos paneelien väritys otetaan huomioon kattojen ja mahdollisesti julkisivujen värityksessä.

7.2.1 Suositukset kaavoitukseen ja rakennusvalvontaan

Kappaleen 7.2 ehdotuksia voidaan edistää kaavoituksessa ja rakennusvalvonnassa esimeriksi seuraavin tavoin:

- Asemakaavoituksessa tulisi mahdollisuuksien mukaan esittää rakennuksia, joiden pitkät julkisivut ovat etelään päin passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseksi. Mahdollisia aurinkopaneeleita varjostavien puiden tai rakennelmien rakentaminen talojen eteen tulisi estää.
- Asemakaavoituksessa voitaisiin osoittaa rakennuksien katot, joihin esitetään aurinkopaneelien tai -keräimien asentamista. Taloteknisten laitteiden sijoittaminen mahdollisimman keskitetysti ja mahdollisimman varjoisalle sivustalle edesauttaisi potentiaalisen aurinkopotentiaalin hyödyntämistä.
- Julkisivujen ikkunoiden varjostuslipat tulisi mahdollistaa asemakaavamääräyksessä sekä rakennusluvat. Varjostavat lipat tulisi mitoittaa rakenteelliseesti niin, että niille olisi mahdollista asentaa aurinkopaneeleja.
- Rakennusten kattojen optimikulmat aurinkoenergian suhteen tulisi huomioida, esimerkiksi määräämällä tietyille kortteleille etelään päin suuntautuvat pulpettikatot tai isommille asuinrakennuksille esimerkiksi tietyn prosenttiosuuden katosta olevan etelään päin kallistuvaa pulpettikattoa. Alueen kokonaisaurinkoenergiapotentiaalin kannalta erityisen tärkeitä huomioitavia kohteita ovat uudet isommat asuinrakennusalueet (Savisaari, Marikon ranta ja Varikon alue).
- Kiinteistöt tulisi rakennusluvissa velvoittaa varaamaan tilaa aurinkosähköpaneeleiden sekä -keräimien oheislaitteille (invertteri ja pumput, mahdolliset varaajat ja akustot) lähellä kattorakenteita. Mahdollisia hyviä tiloja voisivat olla pulpettikattojen ylimmät kerrokset.

Copyright © Pöyry Finland Oy

- Rakennuksien katot tulisi velvoittaa rakentamaan kestämään aurinkopaneelien painon sekä omaamaan tarpeelliset kantavat rakenteet yksinkertaisten kattokiinnityksien sekä mahdollisten julkisivukiinnitysten mahdollistamiseksi. Erityistä huomiota vaatii esimerkiksi pysäköintilaitosten ja vähittäiskauppojen tyyppiset tyypillisesti kevytrakenteiset kattorakenteet.
- Asutuskohteissa aurinkopaneelit ja -keräimet voidaan velvoittaa olemaan rakennusluvissa kattopintaan kiinni asennettavia, jolloin ne eivät riko rakennuksen katon muotoa.
- Kattojen sekä ikkunoiden varjostuslippojen värit voidaan velvoittaa olemaan sellaista väriä, joista tämänhetkiset aurinkopaneelit tai -keräimet eivät erottuisi helposti (siniharmaa).
- Rakennusluvissa voidaan myös mahdollistaa rakenteisiin integroidut järjestelmät.
- Tontinluovutuksen yhteyteen voitaisiin määrätä aurinkosähkö tai -keräimien kannattavuuden selvittäminen.

7.3 Kannattavuus

Aurinkosähkö on lähtökohtaisesti Kuopion Savilahden alueella taloudellisesti kannattavaa, jos sillä kompensoidaan omaa sähkönkulutusta. Aurinkoenergiajärjestelmän hankintahinta ilman tukia on 1,9 c/kWh – 1,6 c/kWh. Ilman tukea energian tuotantokustannus aurinkosähköllä on noin 8-9 c/kWh, ja energiatuki huomioiden jopa noin 5-6 c/kWh.

Erityisen kannattavaa aurinkosähkö on yrityksille ja julkisille toimijoille, joilla on mahdollisuus saada TEM:n energiatuki kattamaan 25 % aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannuksista. Tällöin voidaan päästä tämän selvityksen kustannus- ja paneelituotanto-oletuksilla noin 21 vuoden takaisinmaksuaikaan. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa huomattavasti kuitenkin laskentaan käytettävä korkokerroin sekä käytetty paneelityyppi, ja esimerkiksi 1 % laskentakorolla ja käyttämällä paremman hyötysuhteen paneeleita voidaan takaisinmaksuajaksi saada jopa vain 15 vuotta.

Aurinkosähkö on jo kannattavaa taloyhtiöiden sähkönkulutuksen kompensointiin, vaikka TEM:n energiatukea ne eivät voikaan hakea. Taloyhtiöiden aurinkosähköntuotannon kannattavuuteen vaikuttaa suuresti se, voidaanko tulevaisuudessa myös taloyhtiöiden asukkaiden asuntokohtaista sähkönkulutusta kompensoida taloyhtiön aurinkosähköntuotannolla. Mikäli taloyhtiö voi kompensoida vain kiinteistösähkönkulutustaan, on taloyhtiölle huomattavasti taloudellisempaa asentaa vain pieni määrä aurinkosähköä.

Aurinkolämpö voi olla myös taloudellisesti kannattavaa, mikäli se käytetään kompensoimaan omaa lämmönkulutusta ja sen hankintakustannuksia voidaan kompensoida TEM:n 20 % energiatuella, jolloin toimistorakennuksissa voidaan päästä noin 24 vuoden takaisinmaksuaikaan (energian omakustannehinta 4,1 c/kWh). Ilman tukia aurinkolämmön omakustannehinta elinkaarensa aikana on noin 5,4-5,9 c/kWh kiinteistökohtaisille pienemmille keräinjärjestelmille, mikä ei ole kannattavaa ottaen huomioon Kuopion Savilahdella saatavilla olevan kohtuullisen halvan kaukolämpöenergian. Laskennan takaisinmaksuaikaan tosin vaikuttaa huomattavasti käytetyt lähtöoletukset, muun muassa käytetty korkokanta joka oli tässä työssä 2 %.

Copyright © Pöyry Finland Oy

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella aurinkosähkön ja aurinkolämmön hyödyntämispotentiaalia sekä käyttöä osana alueen muita energiaverkkoja Kuopion Savilahden alueella. Lisäksi työssä esiteltiin aurinkoenergiajärjestelmien tekniset lähtökohdat.

Työn perustana käytettiin työn yhteydessä selvitettyä Savilahden alueen auringon säteilytasoa, jota voitiin hyödyntää sekä nykyisten että uusien rakennusalueiden aurinkoenergiapotentiaalin kartoittamiseen. Savilahden tuleva rakennuskanta arvioitiin perustuen Tengbom Eriksson Arkkitehdit Oy:n tekemään maankäytön yleissuunnitelmaehdotukseen (2015). Maankäytön yleissuunnitelmassa esitettyjä seitsemää aluetta on laajennettu tässä selvityksessä Kuopion yliopistollisen sairaalan ja Harjulan sairaalan alueilla.

Kuopion Savilahden alueet ovat soveltuvia erityisesti aurinkosähkön tuotantoon, jota voitaisiin teoriassa tuottaa alueella jopa 19300 MWh vuodessa. Tämä vastaisi kokoluokaltaan noin 1/3 koko alueen tulevasta sähköntarpeesta, ottaen huomioon myös suunnitteilla olevan rakennuskannan tarpeet. Aurinkolämpöä voitaisiin tuottaa Savilahden alueella noin 61200 MWh vuodessa, mikä vastaisi kokoluokalta 3/4 koko alueen tulevasta lämmöntarpeesta. Yksittäisille kiinteistöille aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmät on kuitenkin taloudellisesti järkevämpää mitoittaa kompensoimaan kiinteistöjen omaa sähkönkulutusta, jolloin asennettava aurinkoenergiajärjestelmän koko olisi suurinta mahdollista järjestelmäkokoa pienempi.

Paneelien ja keräimien optimaalinen kallistuskulma vuosienergiantuotannon maksimiseksi olisi noin 45 astetta etelään päin suunnattuna. Aurinkoenergiajärjestelmät ovat kuitenkin kannattavia myös näistä arvoista poikkeavista kallistuksilla. Noin 20 asteen kallistuskulmaan asentaminen 45 asteen sijaan pienentää tuotantoa vuositasolla noin 5 %, ja paneelien tai keräimien kohdistaminen koilliseen tai kaakkoon vähentää vuotuista säteilymäärää noin 6 % suhteessa etelään päin kohdistettuun järjestelmään.

Savilahden alueella aurinkosähköjärjestelmät voivat tuottaa noin 45 asteen kallistuskulmaan asennettuna noin 900 kWh/vuosi yhtä asennettua wattia kohden, eli yhdellä tyypillisellä 250 Wp:n paneelilla voitaisiin tuottaa noin 225 kilowattituntia sähköä vuodessa. Oman sähkönkulutuksen mukaan optimoidut aurinkosähköjärjestelmät maksavat itsensä takaisin tämän työn lähtöoletuksilla 23-26 vuodessa käytettäessä 2 % laskentakorkoa ja 250 Wp yksikkötehon paneeleita 20 asteen kalliskulmalla, vaikka aurinkosähköjärjestelmän hankintaan ei saataisi erillistä tukea.

Aurinkolämpöä voitaisiin Savilahden alueella tuottaa optimikulmaan asennettuna noin 440 kWh vuodessa jokaista keräinneliömetriä kohden noin 45 asteen kaltevuuskulmaan asennettuna. Aurinkolämmön houkuttelevuutta Savilahden alueella rajoittaa alueella saatavilla oleva kohtuullisen halvan lämmitysenergian mahdollistava kaukolämpöverkko. Aurinkolämpöinvestoinnit nykytekniikalla eivät välttämättä maksaisi itseään takaisin käyttöikänsä aikana, sillä näiden järjestelmien takaisinmaksuaika oli tämän työn lähtöoletuksilla ilman tukia vähintään 32 vuotta, kun aurinkolämpöjärjestelmän käyttöikä on arviolta noin 30 vuotta.

Julkiset toimijat voivat myös hakea aurinkoenergiainvestoinneille TEM:n energiatukea, joka on aurinkosähköhankkeille tyypillisesti 25 % ja aurinkolämpöhankkeille 20 % hankintakustannuksista. Tällöin voidaan päästä tämän selvityksen oletuksilla noin 21 vuoden takaisinmaksuaikaan aurinkosähköjärjestelmille ja noin 24 vuoden takaisinmaksuaikaan aurinkolämpöjärjestelmille energiatuki huomioiden. On huomattavaa, että takaisinmaksuaikaan vaikuttaa kuitenkin laskentaan käytettävä

Copyright © Pöyry Finland Oy

korkokerroin sekä käytetty paneeli- tai keräintyyppi, ja esimerkiksi 1 % laskentakorolla ja käyttämällä 260 Wp yksikkötehon paneeleita voidaan aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajaksi saada jopa vain 15 vuotta TEM:n 25 % energiatuki huomioon ottaen.

Työssä annettiin lisäksi suositukset kaavoitukseen ja rakennusvalvontaan aurinkoenergian ja passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseen. Alueen aurinkoenergiapotentiaalia kasvattaa erityisesti uusien asuinrakennusalueiden kattopintojen kallistuksien etelään päin suuntaaminen, ja Pöyryn näkemyksen mukaan erityisesti Savisaaren, Marikon rannan ja Varikon alueen asuinrakennusalueilla tulisi suosia etelään päin suunnattuja kattopintoja. Kattojen optimikallistuskulma suhteessa vaakatasoon olisi noin 45 astetta aurinkoenergiantuotannon maksimoimiseksi.

Tällä hetkellä lähtökohtaisesti kerrostalo-osakeyhtiöiden ja rivitalo-osakeyhtiöiden aurinkopaneelit katsotaan kuuluvan kiinteistösähkön kulutuksen piiriin, jolloin aurinkopaneelien tuottama sähköntuotanto kompensoisi vain kiinteistösähkön (pumput, kiinteistövalaistus, hissit, jne.) sähkönkulutusta. Aurinkosähköjärjestelmien osalta jatkoselvitystarpeena nähtiin erityisesti taloyhtiöiden asuntokohtaisen sähkönkulutuksen kompensoimisen mahdollistaminen taloyhtiön aurinkosähköjärjestelmillä. Aurinkolämmön osalta selvitystarpeena on erityisesti se, millä rajauksilla kiinteistöissä tuotettua aurinkolämpöä voitaisiin siirtää kulutushuippuina alueen kaukolämpöverkkoon.

Copyright © Pöyry Finland Oy

9 LÄHTEET JA VIITTEET

Ahoranta, J. 2015. Aurinkokenno. Alustava oppikirjamateriaali.

Andrews, R.W., Pearce, J.M., Pollard, A. 2013. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance. Solar Energy, Vol 92.

ENE Solar Systems Oy www-sivut. <http://www.enesolarsystems.fi/fi/aurinkopuistot>. 7.1.2015.

Energiateollisuus ry. 2011. Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämisestä. 16.12.2011.

Energiateollisuus ry. 15.12.2015. Sähkönkulutuksen kuukausitilasto – Monthly statistics of energy consumption.

Fingrid Oyj. 8.3.2016. Aurinkovoimalan sijoittuminen Fingrid Oyj:n voimajohtojen ympäristöön. Lausunto.

FInZEB –hanke. Rakennusteollisuus RT ry, Talotekniikkateollisuus ry, ympäristöministeriö. 2015. < http://www.finzeb.fi/>

Fraunhofer ISE. 2015. Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende.

Huld T., Müller R. ja Gambardella A. 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy, 86, 1803-1815.

IEA 2015: Photovoltaic Power Systems Programme. Annual Report 2014. – International Energy Agency.

Institute for Energy and Transport (IET) www-sivusto. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>. 7.1.2016.

Keravan Energia. 2016. <https://www.keravanaurinkovoimala.fi/fi/>. 10.3.2016

Pirinen ym. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja No. 2012:1, Ilmatieteen laitos.

Pöyry Management Consulting Oy 2013. Loppuraportti 52X116181 Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. 7.6.2013.

Copyright © Pöyry Finland Oy

ScienceAlert. 2016.
< http://www.sciencealert.com/france-is-planning-to-install-1-000-km-of-solar-panelled-roads-in-the-next-5-years>. 29.1.2016

SolarPower Europe. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019.
<http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf>. 7.1.2016.

Suomen tulli 2016.
<http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf>

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A.. 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Šúri 2007; Huld 2012. Solar radiation and photovoltaic electricity potential - country and regional maps for Europe. Institute for Energy and Transportation (IET).
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm> 7.1.2016.

Tahkokorpi, M. 2015. Aurinkoenergiajärjestelmien hintayhteenveto v.1.2 11.3.2015.
<http://www.finsolar.net/wp-content/uploads/2015/03/aurinkosc3a4hkc3b6jc3a4rjestelmien_hintayhteenveto_11032015.pdf>. 7.1.2016.

TEM 2016.
<http://tem.fi/tuen-enimmaismaarat>

Tengbom Eriksson Arkkitehdit Oy. 23.10.2015. Savilahden maankäytön yleissuunnitelmaehdotus.

Wirth H. 2016. Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE
< https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

World Energy Council, 2016. E-storage: Shifting from cost to value. Wind and solar applications.

Yle uutiset. 16.9.2016. ”Kokeilu: Halvempaa aurinkosähköä taloyhtiöille – verottaja esteenä?”
<http://yle.fi/uutiset/3-9156789>

Copyright © Pöyry Finland Oy